



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ПІВНІЧНО-СХІДНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР  
ТРАНСПОРТНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ**

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ  
УКРАЇНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

*Випуск 142*

**Харків 2013**

## УДК 656.2.004.18

У збірнику відображені матеріали та наукові розробки вчених і спеціалістів залізничного транспорту, наукових установ і промисловості з вирішення сучасних завдань та проблем організації перевезень та управління на транспорті, рухомого складу і тяги поїздів, транспортного будівництва та залізничної колії, автоматики, телемеханіки та зв'язку.

Збірник призначений для інженерно-технічних працівників, магістрантів, студентів і науковців залізничного транспорту та промисловості.

З електронною версією збірника можна ознайомитися на сайті: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe).

Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus (Польща).

## ISSN 1994-7852

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 8617 видане 06.04.2004 р. Друкується за рішенням вченої ради академії, протокол № 8 від 29.10.2013 р.

Збірник включено до переліку № 1 наукових фахових видань України, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Постанова президії ВАК України № 1-05/4 від 26 травня 2010 р.).

## РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧА РАДА

### Члени ради:

д.т.н., професор М.І.Данько	– голова ради	д.т.н., професор – В.І.Мойсеєнко
д.т.н., професор Д.В.Ломотько	– заступник голови	д.т.н., професор – С.І.Приходько
к.т.н., професор А.О.Каграманян	– заступник голови	д.е.н., професор – Л.О.Позднякова
завідувач НДЧ	– заступник голови	д.т.н., професор – А.А.Плугін
д.т.н., професор – А.Б.Бойнік		д.т.н., професор – Ю.В.Соболев
д.т.н., професор – Т.В.Буцько		д.т.н., професор – Е.Д.Тартаковський
д.е.н., професор – В.Л.Дикань		д.т.н., професор – Л.А.Тимофєєва
д.т.н., професор – А.М.Котенко		д.т.н., професор – А.П.Фалендиш
д.т.н., професор – С.В.Лістровий		д.т.н., професор – Я.В.Щербак

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

### Рухомий склад залізниць

д.т.н., професор Е.Д.Тартаковський – головний редактор  
д.т.н., професор А.П.Фалендиш  
д.т.н., професор О.Б.Бабанін  
д.т.н., професор Я.В.Щербак  
д.т.н., професор В.Г.Пузир  
д.т.н., професор І.Е.Мартинов  
д.т.н., професор Ю.Є.Калабухін

### Експлуатація залізниць

д.т.н., професор Т.В.Буцько – головний редактор  
д.т.н., професор М.М.Бабаєв  
д.т.н., професор А.Б.Бойнік  
д.т.н., професор А.М.Котенко  
д.т.н., професор О.Г.Шибасєв  
д.т.н., професор В.Я.Негрей  
д.т.н., професор В.Н.Бобровський  
д.т.н., професор І.В.Жуковицький  
д.т.н., професор Є.С.Альошинський

### Телекомунікаційні системи та управління ними

д.т.н., професор С.І.Приходько – головний редактор  
д.т.н., професор Г.В.Альошин  
д.т.н., професор М.М.Бабаєв  
д.т.н., професор А.Б.Бойнік  
д.ф.-м.н., професор М.М.Горобець  
д.т.н., професор С.В.Лістровий  
д.т.н., професор В.І.Мойсеєнко  
д.т.н., професор С.В.Панченко  
д.т.н., професор О.А.Серков

### Будівельні матеріали та конструкції

д.т.н., професор А.А.Плугін – головний редактор  
д.х.н., професор А.М.Плугін  
д.т.н., професор М.Ю.Ізбаш  
д.т.н., професор В.С.Софронов  
д.т.н., професор Г.М.Шабанова  
д.т.н., професор О.М.Даренський  
д.т.н., професор Ю.О.Ландау  
к.т.н., доцент Г.Л.Ватуля

### Автоматизовані системи електричного транспорту

д.т.н., професор Я.В.Щербак – головний редактор  
д.т.н., професор Ю.І.Гусєвський  
д.т.н., професор Г.Г.Жемеров  
д.т.н., професор В.Б.Клепиков  
д.т.н., професор В.І.Омельяненко  
д.т.н., професор В.Г.Ягуп  
к.т.н., доцент С.І.Яцько

За загальною редакцією д.т.н., професора Д.В.Ломотько

ISSN 1994-7852

Зареєстровано 2 червня 2007 р.

у ISSN International Centre 20, Rue  
Bachumont, 75002 PAFIS, FRANCE

©Українська державна академія  
залізничного транспорту, 2013

## ЗМІСТ

### *Експлуатація залізниць*

<i>Огар О.М.</i> Формування керуючих дій на процес скочування відчепів з гірки	5
<i>Кулешов В.В.</i> Застосування методів моделювання для моніторингу перевезень власними парками операторських компаній	12
<i>Ломотько Д.В., Арсененко Д.В.</i> Розробка моделі функціонування пункту концентрації комерційної роботи в умовах реструктуризації залізничного транспорту	19
<i>Котенко А.М., Шапатіна О.О., Воропай М.О.</i> Оцінка ефективності роудрейлерних перевезень	24
<i>Запара Я.В.</i> Аналіз стану технології охорони вантажів на залізницях України	32
<i>Котенко А.М., Шилаєв П.С., Світлична А.В.</i> Розвиток контрейлерних перевезень вантажів на залізницях України	37
<i>Ломотько Д.В., Кривич О.Ю.</i> Сучасний стан впровадження логістики на залізничному транспорті України	44
<i>Петрушов В.В.</i> Перспективи організації мережі мультимодальних терміналів на території України	50

### *Рухомий склад залізниць*

<i>Устенко О.В.</i> Побудова динамічної моделі віртуального інформаційного простору	57
<i>Бабанін О.Б., Бульба В.І.</i> Прогнозування зношування колісних пар електропоїздів в експлуатації	60
<i>Жалкін Д.С.</i> Удосконалення екіпірування маневрових тепловозів	66
<i>Остапчук В.Н.</i> Разработка способов восстановления изношенных поверхностей деталей средств транспорта	72
<i>Братченко О.В.</i> Особливості оптимізаційного проектування технічних засобів транспорту з використанням математичного планування експерименту	81
<i>Бобрицький С.В.</i> Визначення характеристик зачеплення тягових зубчатих передач з реальними профілями зубців	87
<i>Ольховська Т.О.</i> Вибір постачальників у системі матеріально-технічного постачання на основі аналізу ієрархій	92
<i>Эльязов И.Ш.</i> Особенности оценки ремонтпригодности вагонных конструкций	99
<i>Чубикало М.Б.</i> Гідравлічний насос з регульованою подачею для транспортних засобів	108
<i>Мартинов К.І.</i> Дослідження динамічних якостей вагона з пневматичними ресорами	111
<i>Бондаренко В.В., Скуріхін Д.І., Гончаренко М.В.</i> Фотоелектрична система пасажирського вагона	119
<i>Кузінок О.О.</i> Удосконалення проведення ревізії букс пасажирських вагонів засобами діагностики	124

<i>Придубков П.Я.</i> О взаимном влиянии электромагнитных векторов движущихся электрических систем	129
--	-----

### ***Автоматизовані системи електричного транспорту***

<i>Щербак Я.В., Семененко Ю.О.</i> Аналіз динамічних характеристик комбінованого фільтра тягової підстанції	137
<i>Плахтий О.А.</i> Обзор схем трехфазных активных выпрямителей с коррекцией коэффициента мощности для тяговой подстанции постоянного тока	144
<i>Ивакина Е.Я.</i> Анализ динамических процессов системы автоматического регулирования напряжения преобразователя с ШИМ	151

### ***Будівельні матеріали та конструкції***

<i>Даренский А.Н.</i> Результаты экспериментальных исследований относительной изгибной жесткости рельсов в зоне стыков	157
<i>Плугин А.Н., Шабанова Г.Н., Киселева С.А.</i> Исследование особенностей процесса гидратации извести растворами электролитов	162
<i>Воронін С.В., Сафонюк І.Ю., Олійник А.В.</i> Вплив частоти коливань електричного поля на процес коалесценції води в робочій рідині	169
<i>Плугин Ал.А., Плугин А.Н., Плугин А.А., Конев А.А., Забияка А.А.</i> Трещинообразование в обводненном бетоне при воздействии постоянного электрического тока	173
<i>Глазунов Ю.В.</i> Експериментальні дослідження сталобетонних колон при навантаженні на центральний стиск	181
<i>Шраменко В.П., Фаст Д.А., Богданова О.В.</i> Дослідження напружено-деформованого стану дерев'яної шпали метрополітену за допомогою програмного комплексу «ЛІРА»	188
<i>Штомпель А.М., Нятягова Л.А., Портянкін М.В.</i> Шляхи підвищення строку служби рейкових плітей при експлуатації безстикової колії	194
<i>Романенко О.В.</i> Особливості технології виробництва залізобетонних шпал	200
<i>Омаров А.Д., Саржанов Т.С., Мусаева Г.С.</i> Промерзание грунтов оснований железных дорог Казахстана	209
<i>Омарова К.Т.</i> Типы грунтов земляного полотна железных дорог Казахстана	214
<i>Поздеев С.В., Словинский В.К., Омельченко А.М., Кропива М.А.</i> Оценка огнестойкости железобетонной колонны экспериментально-расчетным методом на основе ее огневых испытаний	220

### ***Телекомунікаційні системи та управління ними***

<i>Хронеос А.І., Вовк Р.В., Гресь В.Ю.</i> Самодифузія кисню в апатитах	229
<i>Волков О.С., Жученко О.С., Полянська Н.В., Чітак К.В., Цапенко К.Е.</i> Дослідження принципів побудови цифрових систем комутації мереж оперативно-технологічного зв'язку	235

**ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЗАЛІЗНИЦЬ**

---

УДК 656.212.5

**ФОРМУВАННЯ КЕРУЮЧИХ ДІЙ НА ПРОЦЕС СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ З ГІРКИ**

Д-р техн. наук О.М. Огар

**ФОРМИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРОЦЕСС  
СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ С ГОРКИ**

Д-р техн. наук А.Н. Огарь

**FORMING CONTROL INFLUENCES ON PROCESS OF RUNNING SET OF CARS  
FROM HUMPS**

Doct. of techn. sciences O. Ogar

*Удосконалено інформаційно-керуючу систему сортувальної гірки. Розроблено процедуру формування керуючих дій при гальмуванні відцепів на гальмових позиціях сортувальної гірки.*

**Ключові слова:** сортувальна гірка, керуючі дії, автоматизація, гальмування відцепів, система підтримки прийняття рішень.

*Усовершенствована информационно-управляющая система сортировочной горки. Разработана процедура формирования управляющих воздействий при торможении отцепов на тормозных позициях сортировочной горки.*

**Ключевые слова:** сортировочная горка, управляющие воздействия, автоматизация, торможение отцепов, система поддержки принятия решений.

*The information control system of sorting hump was improved. The procedure of forming control influences during braking set of cars on the brake points of sorting humps was worked out. The procedure of accurate definition meaning of main specific resistance to car movement was proposed. The recommendations about distribution of magnetic sensors on the ordnance yard were given.*

**Key words:** sorting hump, control influences, automatization, braking set of cars, expert support system of making decisions.

**Вступ.** Висока якість процесу розформування составів може бути досягнута шляхом застосування систем комплексної автоматизації вказаного процесу і систем підтримки прийняття рішень для оперативного персоналу залізниць. Це доведено досвідом експлуатації сучасних автоматизованих

сортувальних гірок, системи автоматизації яких суттєво відрізняються підходами до формування керуючих дій на процес скочування відцепів з гірки. Застосування окремих систем в країнах СНД вказало на необхідність доопрацювання наукових підходів до розрахунку параметрів

гальмування відчепів і їх реалізації в реальному масштабі часу.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Основною проблемою при формуванні керуючих дій на процес скочування відчепів з гірки є проблема розрахунку раціональних параметрів гальмування відчепів і їх реалізації при відсутності інформації про стан колісних пар вагонів, нестабільності коефіцієнта тертя між колесами вагона і шинами вагонних уповільнювачів, складності визначення ходових характеристик вагонів і прогнозування величини додаткових питомих опорів від стрілок і кривих, середовища та вітру, які мають випадкову природу. Удосконалення методів управління процесом розформування составів, пристроїв гіркової автоматики і структур локальної інформаційно-керуючої системи сортувальних гірок на сьогоднішній день не дозволило суттєво покращити якісні показники сортувального процесу. Слід відзначити, що створення вітчизняної високоефективної системи автоматизації гіркових технологічних процесів є одним із основних завдань Укрзалізниці.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Створенню та удосконаленню методів розрахунку параметрів гальмування відчепів і способів їх реалізації в реальному масштабі часу присвячені праці Бобровського В.І., Божка М.П., Жуковицького І.В., Загарія Г.І., Ковальова С.М., Козаченка Д.М., Лебединської О.М., Шабельнікова О.М., Шелухіна В.І., Шепілової О.Г. та ін. [1-7].

Двохетапний метод, що запропоновано у [1], вирішує задачу скорочення енергетичних витрат на регулювання швидкості скочування відчепів з гірки, але в метеорологічних умовах, параметри яких задано константами. Останнє характерно для всіх відомих імітаційних моделей

сортувального процесу і певним чином відображається на точності розрахунку додаткового питомого опору від середовища і вітру.

У праці [2] адаптивне регулювання розглянуто тільки у загальному вигляді.

У працях [3, 4] в більшій мірі враховано фактори, що впливають на процес гальмування відчепів, однак не вирішено задачу координатного регулювання швидкості скочування відчепів.

Процедуру адаптивного керування гальмуванням на парковій гальмовій позиції запропоновано у [5]. Слід відзначити, що доцільність застосування м'якого режиму гальмування, який пропонується авторами, потребує додаткових досліджень.

Розробкою та впровадженням систем підтримки прийняття рішень при управлінні вагонними уповільнювачами займався О.М. Шабельніков [6]. Ним була запропонована композиційно-динамічна модель. Вказана модель призначена для автоматизації експертної підтримки прийняття рішень в інформаційних системах динамічного типу. Слід зауважити, що моделювання прогнозу в моделі здійснюється з урахуванням лише п'яти факторів. Вплив від параметрів метеорологічних умов, профіль гірки, фактичні інтервали між відчепами, стан і реальні гальмові характеристики вагонних уповільнювачів взагалі не враховуються. При такому підході в реальних умовах експлуатації достатньо складно забезпечити виконання вимог інтервального і прицільного регулювання. Такий же недолік властивий і моделі, що запропонована у [7].

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою даної роботи є підвищення ефективності сортувального процесу шляхом формування керуючих дій на процес скочування відчепів з гірки. До задач дослідження слід віднести удосконалення інформаційно-керуючої

системи сортувальної гірки та розробку процедури формування керуючих дій при гальмуванні відчепів на гальмових позиціях сортувальної гірки.

### Основна частина дослідження.

Ефективне функціонування системи підтримки прийняття рішень гірковими операторами може бути забезпечено тільки за рахунок використання відповідного комплексу пристроїв гіркової автоматики. Для системи, що запропонована у [8], вказаний комплекс повинен складатися з обмеженого числа елементів у порівнянні з гірковими автоматизованими комплексами, а саме: магнітних датчиків, метеорологічних датчиків і системи контролю заповнення колій сортувального парку.

Об'єднання запропонованої системи підтримки прийняття рішень і наведеного комплексу пристроїв гіркової автоматики дозволило створити локальну інформаційно-керуючу систему сортувальної гірки з новим підходом до формування керуючих дій (рис. 1). Відмінність підходу від існуючих полягає у технології функціонування створеної системи, а саме:

1) перед початком розпуску состава із станційного технологічного центру (СТЦ) в головний сервер надходить інформація про число вагонів ( $m_{ваг.}$ ) і число відчепів ( $n_{відч.}$ ) у составі, число вагонів у відчепі ( $m_{відч.}$ ), вагу вантажу у кожному вагоні ( $q_{вант.}$ ), номери вагонів ( $N_{ваг.}^0$ ) та колії їх призначення ( $N_{приз.}^0$ ). На підставі цих даних визначається номер стрілки розділення суміжних відчепів ( $N_{р.стр.}$ ), довжина відчепів по крайніх осях ( $l_{відч.}^{кр.ос.}$ ), їх вага ( $Q_{відч.}$ ) і координата центра ваги ( $X_{ЦВ}$ );

2) з моменту відриву кожного відчепу від состава, що фіксується магнітними датчиками, які розташовуються до ВГ, моделюється його умовно-оптимальне гальмування (при середніх значеннях швидкості і напрямку вітру, які

розраховуються на основі даних метеорологічних датчиків, середньому значенні основного питомого опору руху відчепу, яке визначається виходячи з вагової категорії вагонів даного відчепу, і ідеальному стані колісних пар). При цьому на екран головного монітора виводиться план скочування відчепу, що забезпечує збереження енергоресурсів;

3) уточнюється значення основного питомого опору руху відчепу (рис. 2), з урахуванням якого здійснюється перше корегування параметрів умовно-оптимального гальмування на II ГП і ПГП та будується скорегований план скочування. Вказана процедура є успішною для тих відчепів, які на дільниці КТ1-КТ2 були у стані вільного руху. Якщо в момент відриву відчепу перша вісь знаходилась в межах дільниці КТ1-КТ2, точність розрахунку основного питомого опору руху відчепу зменшується. Для відчепів, що відриваються від состава за КТ2 уточнення вказаного опору неможливе. Реалізовується процедура уточнення при відомих моментах входу першої осі відчепу на КТ1 і КТ2 з урахуванням динаміки зміни параметрів метеорологічних умов (швидкості та напрямку вітру) від моменту відриву відчепу до моменту входу на КТ2. Необхідна інформація для уточнення зберігається у головному сервері. Процедура першого корегування параметрів гальмування на II ГП і ПГП здійснюється з моменту входу відчепу на КТ2;

4) за допомогою нейронної мережі здійснюється корегування параметрів умовно-оптимального гальмування на I ГП і друге корегування – на II ГП і ПГП. Додатковою інформацією для корегування є величина запасу інтервалу між даним і попереднім відчепом на перших уповільнювачах гальмових позицій спускної частини та фактична довжина пробігу даного відчепу від ПГП до вагонів, що накопичуються на сортувальній колії.

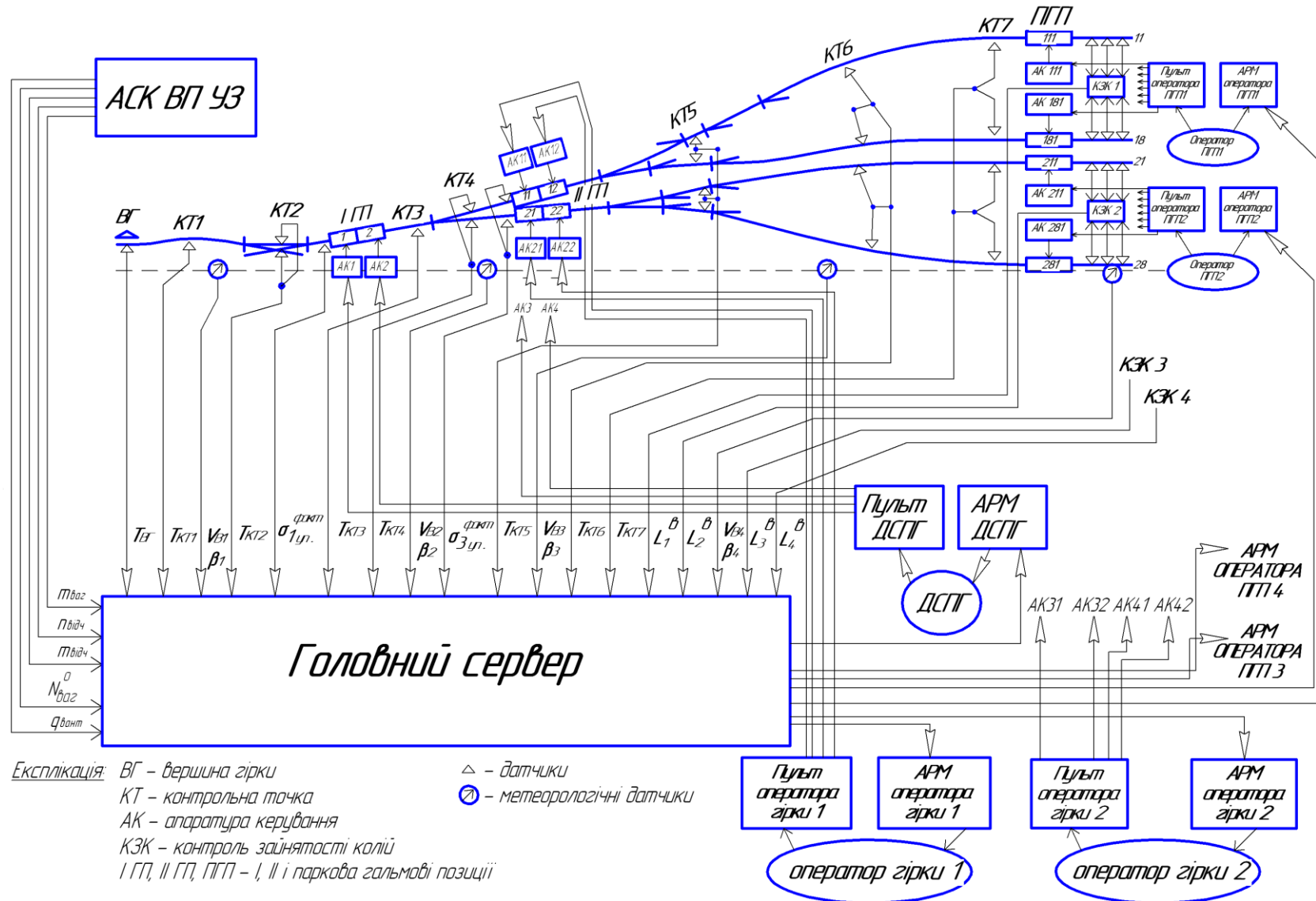


Рис. 1. Структура локальної інформаційно-керуючої системи сортувальної гірки



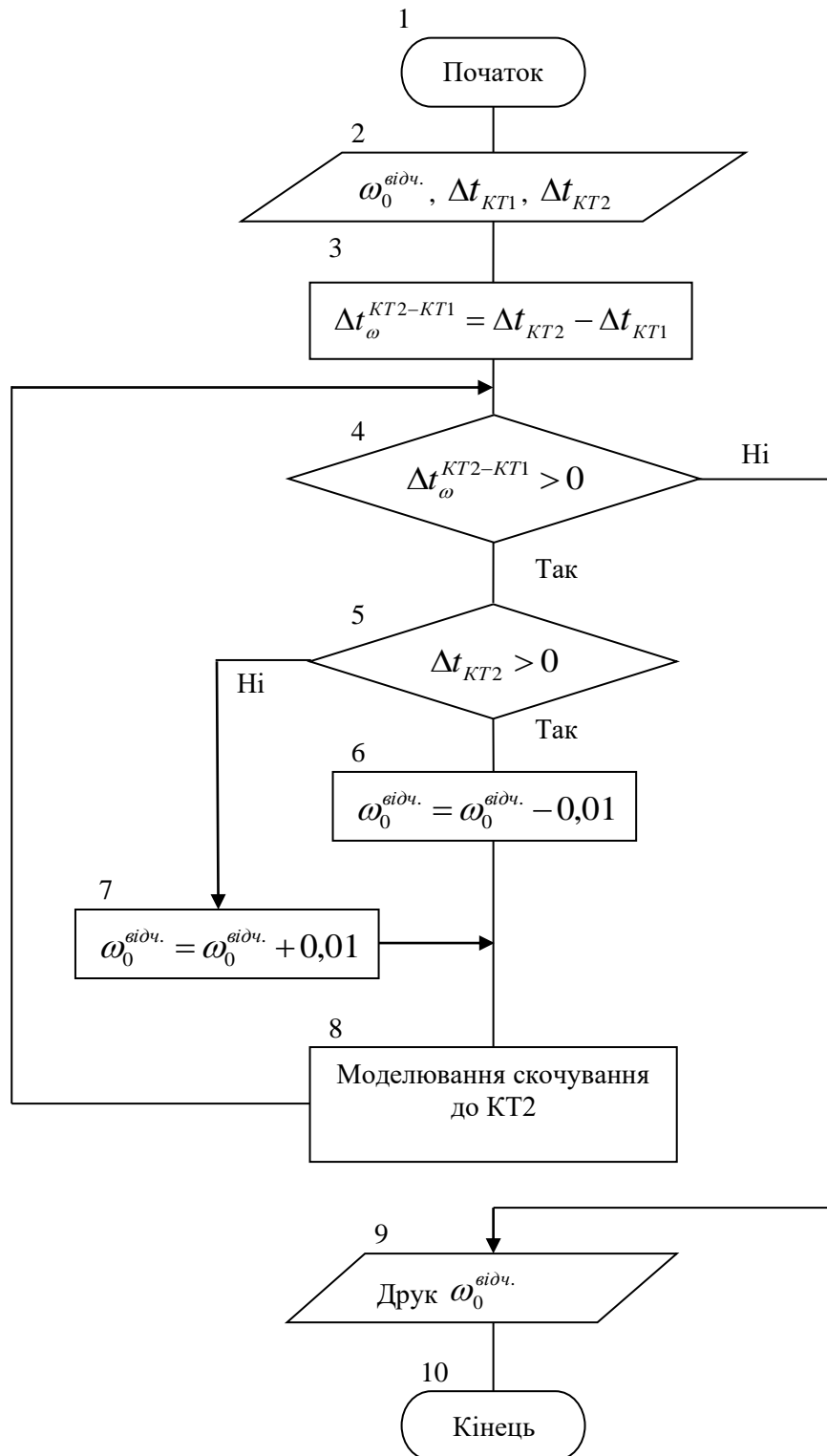


Рис. 2. Процедура уточнення значення основного питомого опору руху відчепа

Запаси інтервалів розраховуються на підставі даних про число осей і моменти входу відчепів на вказані уповільнювачі та виходу з них, а фактична довжина пробігу – на підставі даних, що надходять з КЗК і зберігаються у головному сервері. Процедура корегування параметрів гальмування на I ГП здійснюється з моменту входу відчепа на КТ2, а другого корегування на II ГП і ПГП – відповідно з моменту входу на КТ4 і КТ7. Оскільки для формування рішення можуть бути потрібними дані про моменти входу першої осі відчепа на КТ3, КТ5 і КТ6, вказані дані фіксуються у головному сервері;

5) скореговані параметри гальмування з'являються у вигляді підказок на екранах моніторів операторів гірки, а на головному моніторі відображаються криві тривалості реального скочування відчепів.

Уточнення значень основного питомого опору руху відчепа здійснюється у наступній послідовності. Вводяться різниці модельної і фактичної тривалостей його руху відповідно до КТ1 і КТ2 ( $\Delta t_{КТ1}$ ,  $\Delta t_{КТ2}$ ) та середнє значення вказаного опору ( $\omega_0^{відч.}$ ) (блок 2). Розраховується складова різниці модельної і фактичної тривалостей руху відчепа відповідно від КТ1 до КТ2, що створюється внаслідок похибки розрахунку питомих сил опору руху відчепа (блок 3). Якщо вказана складова більше нуля (блок 4), то визначається нове значення основного питомого опору з урахуванням знаку  $\Delta t_{КТ2}$  (блоки 5-7). Після цього повторюється моделювання скочування відчепа до КТ2 (блок 8) з урахуванням реальних залежностей швидкості і напрямку вітру від часу, які мали місце в точках маршруту скочування відчепа від моменту його відриву до моменту входу на КТ2. Якщо умова, що наведена у блоці 4, не виконується, здійснюється друк  $\omega_0^{відч.}$ .

При розташуванні магнітних датчиків на полігоні необхідно керуватися реакцією

людини, швидкодією ПЕОМ і вагонних уповільнювачів, можливістю оцінки ходових якостей максимального числа відчепів. Виходячи з цього, відстань від КТ2, КТ4 і КТ7 до відповідних гальмових позицій може бути визначена за такою формулою:

$$L = V \cdot (t_k + t_p + t_z + \delta),$$

де  $V$  – максимальна швидкість відчепа, яка може бути досягнута на вході в гальмову позицію, м/с;

$t_k$  – час, необхідний на корегування параметрів гальмування, с;

$t_p$  – час, необхідний на реакцію оператора і реалізацію підказок системи підтримки прийняття рішень, с;

$t_z$  – час, необхідний на переведення гальмових шин вагонних уповільнювачів у загальмований стан, с;

$\delta$  – час, що враховує можливі відхилення  $t_k$ ,  $t_p$  і  $t_z$  від їх середніх значень, с.

КТ1 бажано розташовувати таким чином, щоб відрив відчепів з трьох-чотирьох вагонів відбувався до моменту їх входу на вказану точку.

Розташування КТ3 залежить від типу гіркової горловини. Якщо I ГП розташовується до першої розділової стрілки, то вказану точку бажано розміщувати від кінця I ГП на відстані, що обмежується трьома-чотирма умовними вагонами; якщо після першої розділової стрілки – на відстані, що обмежується одним-двома умовними вагонами.

КТ5 доцільно розміщувати між другим і третім стрілочними переводами розподільчої зони, де основна маса відчепів буде знаходитись у стані вільного руху, а КТ6 – на початку сортувальних колій в районі граничних стовпчиків останніх розділових стрілок.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Запропонований підхід

до управління процесом скочування відчепів з гірки дозволить підвищити енергозбереження і якість сортувального процесу при порівняно низьких капіталовкладеннях в пристрої гіркової автоматики за рахунок відсутності необхідності встановлення радіолокаційних вимірювачів швидкості, вимірювачів ходових якостей і ваги вагонів та інших пристроїв.

Слід також відзначити, що у роботі вперше вирішено проблему обчислення

приблизного значення основного питомого опору руху відчепа за рахунок відтворення реальних характеристик руху повітряних мас в будь-якій точці маршруту прямування відчепа.

Запропонований науковий підхід до формування керуючих дій на процес скочування відчепів з гірки може бути адаптований в гіркові автоматизовані комплекси з можливістю безпосереднього втручання оператора гірки в процес розпуску.

### Список використаних джерел

1. Бобровский, В.И. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст]: монография / В.И. Бобровский, Д.Н. Козаченко, Н.П. Божко, Н.В. Рогов, Н.И. Березовый, А.В. Кудряшов. – Днепропетровск: Изд-во Маковецкий, 2010. – 260 с.
2. Лебединская, Е.Н. Разработка адаптивной автоматической системы управления работой сортировочной горки [Текст] / Е.Н. Лебединская, Н.Н. Новгородов, Л.В. Пальчик, Е.Г. Шепилова // Вестник ВНИИЖТа. – 1999. – №3. – С. 32-34.
3. Жуковицкий, И.В. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Часть 1. Модель системы [Текст] / И.В. Жуковицкий, Г.И. Загарий, Н.И. Луханин // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – № 5. – С. 19–25.
4. Жуковицкий, И. В. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Часть 2. Модель системы [Текст] / И.В. Жуковицкий, Г.И. Загарий, Н.И. Луханин // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2002. – № 4. – С. 17–20.
5. Шелухин, В.И. Прицельное торможение на базе адаптивных алгоритмов [Текст] / В.И. Шелухин, И.Н. Малышев, Д.А. Милехин // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – №2. – С. 9-11.
6. Шабельников, А.Н. Разработка теории и методов автоматизации управления сложными процессами на сортировочной станции [Текст]: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 / А.Н. Шабельников. – М., 2005. – 344 с.
7. Ковалев, С.М. Нечетко-темпоральные модели структурного анализа и идентификации динамических процессов в слабо формализованных задачах принятия решений [Текст]: дисс... д-ра техн. наук : 05.13.01, 05.13.17 / С.М. Ковалев. – Таганрог, 2002. – 337 с.
8. Огар, О.М. Інтелектуальна підтримка процесів прийняття рішень при регулюванні швидкості скочування відчепів з гірки [Текст] / О.М. Огар // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 5-6. – С. 39-44.

---

Огар Олександр Миколайович, д.т.н., професор кафедри залізничних станцій та вузлів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

E-mail: ogar-07@yandex.ru

Ogar Alexander, Ph.D., professor chair rail stations and nodes Ukraine State Academy of Railway Transport.

Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar-07@yandex.ru

---

УДК 656.212:656.225

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ  
ВЛАСНИМИ ПАРКАМИ ОПЕРАТОРСЬКИХ КОМПАНІЙ**

Канд. техн. наук В.В. Кулешов

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА  
ПЕРЕВОЗОК СОБСТВЕННЫМИ ПАРКАМИ ОПЕРАТОРСКИХ КОМПАНІЙ**

Канд. техн. наук В.В. Кулешов

**APPLICATION OF DESIGN METHODS FOR MONITORING OF TRANSPORTATIONS  
OWN PARKS OF OPERATOR COMPANIES**

Cand. of Techn. Sciences V. Kuleshov

*Виконаний аналіз кількості та структури інвентарного і парків вантажних вагонів операторських компаній державної та інших форм власності в Україні станом на 01.08.2013 р., а також вантажних вагонів в управлінні Українського транспортно-логістичного центру. Моделювання моніторингу перевезень власними вагонами парку операторських компаній у взаємодії з інфраструктурою можливо реалізувати у вигляді системи імовірнісних автоматів Мура з детермінованими функціями виходів.*

**Ключові слова:** вагон, власний парк, залізнична адміністрація, метод імовірнісно-автоматного моделювання, операторська компанія, парк вагонів, перевезення.

*Выполнен анализ количества и структуры инвентарного и парков грузовых вагонов операторских компаний государственной и других форм собственности в Украине по состоянию на 01.08.2013 г., а также грузовых вагонов в управлении Украинского транспортно-логистического центра. Моделирование мониторинга перевозок собственными вагонами парка операторских компаний во взаимодействии с инфраструктурой возможно реализовать в виде системы вероятностных автоматов Мура с детерминированными функциями выходов.*

**Ключевые слова:** вагон, собственный парк, железнодорожная администрация, метод вероятностно-автоматного моделирования, операторская компания, парк вагонов, перевозки.

*The analysis of the number and structure of the inventory and freight car fleet operating companies and other forms of state property in Ukraine as of 01.08.2013. Also, the freight cars in the management of Ukrainian transport and logistics center. The issue of improving fleet management systems of their own freight cars is important for further reform of the railway sector in Ukraine. Simulation of traffic monitoring own rolling stock operating companies in conjunction with the infrastructure could be implemented as a system of probability Moore automata with deterministic output functions. The use of modeling techniques for monitoring traffic own parks operating companies in conjunction with the infrastructure in the new conditions possible on the basis of agency agreements with the owners of rolling stock for freight. The Railway Administration may act as a guarantor of quality obligations of agreements (contracts and contracts of carriage of*

vehicles) as part of the timely organization of cargo transportation and for the submission of the rolling stock for loading.

**Keywords:** car, a private park, the railway administration, the method of probability-automatic modeling, of operating companies, wagons, carriage.

**Вступ.** Обсяг вантажоперевезень залізниць України за 9 місяців 2013 р. скоротився на 5,3% (до 324,55 млн т) у порівнянні з аналогічним періодом 2012 р. Обсяг транзитних вантажів зменшився на 20% (до 25,1 млн т), а імпорتنих – на 0,7% (до 25,7 млн т). Обсяг вантажних перевезень у внутрішньому сполученні за цей же період скоротився на 6,3% (до 168,9 млн т), але експорт залишився без змін – до 105 млн т. Відомо, що за 2013 р. через скорочення вантажних перевезень неодержано близько 3 млрд грн.

Загальний парк вагонів в Україні станом на 01.08.2013 р. складав 184,7 тис. ваг. Інвентарний парк 45,9 тис. ваг, або 24,9% від загального. Майже 10,4 тис. ваг належить державним операторським компаніям (ОК). Парк у розпорядженні УЗ фактично складав 35,5 тис. ваг. Власний парк – 138,8 тис. ваг, або 75,1% від загального. В Росії утворені 85 дочірніх залежних товариств залізничного транспорту, послуги із надання вагонів під перевезення виконують більше 2200 власників. Частка власного парку складає 91%.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Питання удосконалення системи управління парком власних вантажних вагонів є важливим для подальшого реформування залізничної галузі України. Компаніями «УВЗ-Логістик», Rail Garant та «Спеценерготранс» з метою підвищення ефективності керування створене спільне підприємство та об'єднані парки піввагонів. Деякі операторські компанії розглядають можливість злиття з кептивними операторами.

Вдалий досвід консолідації парку рухомого складу (сьогодні більше

210 тис. од.) проведений в середині 50-х років минулого століття, коли створена компанія Trailing Train Company (ТТС), у яку залізничні перевізники США і Мексики здають свої вагони в керування, повернувши частку вантажів з автомобільного транспорту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В нормативних документах [1-2] при організації перевезень докладно не враховані застосування методів моделювання для транспортного моніторингу перевезень власним парком операторських компаній. Тому у попередніх дослідженнях [3-7] були розглянуті сучасні підходи до удосконалення технології перевезень парком вагонів операторських компаній. Але потребують розв'язання питання застосування методів моделювання для транспортного моніторингу перевезень власним парком операторських компаній. Адже показники використання власного парку гірші внаслідок неефективних технологій перевезень.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Мета та задачі дослідження - застосування методів моделювання для моніторингу перевезень власними парками операторських компаній у взаємодії з інфраструктурою і парком вагонів УТЛЦ.

**Основна частина дослідження.** Загальний парк вагонів в Україні станом на 01.08.2013 р. складав 184,7 тис.ваг, у т.ч.: відповідно, криті – 9,0 тис. ваг, або 4,9%, платформи – 6,9 тис. ваг, або 3,7%, напіввагони – 93,6 тис. ваг, або 50,7%, цистерни – 25,7 тис. ваг, або 13,9%, рефрижераторні – 0,5 тис. ваг, або 0,3%, інші – 49,0 тис. ваг, або 26,5%. Інвентарний парк 45,9 тис. ваг, або 24,9% від загального, у т.ч.: відповідно, криті – 1,4 тис. ваг, або 15,2%, платформи – 5,9 тис. ваг, або 85,4%, напіввагони – 8,8 тис. ваг, або 9,4%,

цистерни – 9,2 тис. ваг, або 35,8%, рефрижераторні – 0,1 тис. ваг, або 25,4%, інші – 20,5 тис. ваг, або 41,9%. Майже 10,4 тис. ваг належить державним ОК: ДП «Український державний центр з експлуатації спеціалізованих вагонів» «Укрспецвагон» (УСВ), ДП «Український державний Центр залізничних рефрижераторних перевезень «Укррефтранс» (УРТ), ДП «Український Державний центр транспортного сервісу Ліски» (Ліски), Головне управління колії (ЦП), ДП «Дарницький вагоноремонтний завод» (ДВРЗ), ДП «Стрийський вагоноремонтний завод» (СВРЗ). Таким чином, парк у розпорядженні УЗ фактично складає 35,5 тис.ваг.

Власний парк – 138,8 тис. ваг, або 75,1% від загального, у т.ч.: відповідно, криті – 7,7 тис. ваг, або 84,8%, платформи – 1,0 тис. ваг, або 14,6%, напіввагони – 84,7 тис. ваг, або 90,6%, цистерни – 16,5 тис. ваг, або 64,2%, рефрижераторні – 0,4 тис. ваг, або 74,6%, інші – 28,5 тис. ваг, або 58,1%. Майже 75,2 тис. ваг, або 40,7% від загального парку належить державним ОК, у т.ч.: відповідно, криті – 7,2 тис. ваг, або 79,5%, платформи – 0,6 тис. ваг, або 8,4%, полувагони – 47,3 тис. ваг, або 50,5%, цистерни – 1,2 тис. ваг, або 4,7%, рефрижераторні – 0,3 тис. ваг, або 73,1%,

інші – 18,6 тис. ваг, або 38,0%. Майже 75,2 тис. ваг, або 40,7% від загального парку належить державним ОК. Всього іншим приватним власникам належить 63,6 тис. ваг, або 34,4% від загального парку. Аналіз кількості інвентарного і власного парків вагонів в Україні станом на 01.08.2013 р. наведений на рис. 1. Всього в управлінні операторських компаній в Україні станом на 01.08.2013 р. 36,2 тис.ваг.

Парк власних вагонів в управлінні операторських компаній в Україні станом на 01.08.2013 р.: ТОВ «Лемтранс» 14238 ваг, або 39,4%, ТОВ «Металургтранс» 3989 ваг, або 11,0%, ПАТ «Укренерготранс» 3585 ваг, або 9,9%, ДП «Трансгарант-Україна» 3557 ваг, або 9,8%, ДП «Укрспецвагон» 3054 ваг, або 8,4%, ТОВ «ЕвразТрансУкраїна» 2348 ваг, або 6,5%, ТОВ «Интерлизинвест» 2224 ваг, або 6,1%, ТОВ «ЕксІмТранс» 1043 ваг, або 2,9%, ТОВ «Украинская новая перевозочная компания» 710 ваг, або 2,0%, ТОВ «Центротранс» 447 ваг, або 1,2%, ТОВ «Металлургическая транспортная компания» 273 ваг, або 0,8%, ТОВ «Украинское Промышленное Агентство» 256 ваг, або 0,7%, ТОВ «ТНТК» 177 ваг, або 0,5%, ТОВ «Укрметалургтранс» 159 ваг, або 0,4%, ТОВ «ТЕК «Енерготранс» 113 ваг, або 0,3%.

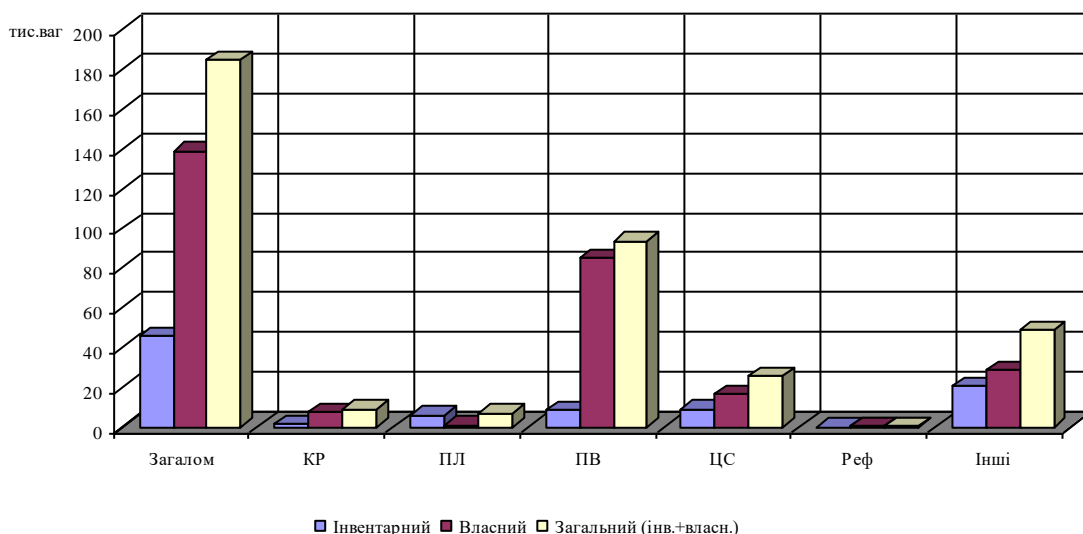


Рис. 1. Аналіз кількості та структури інвентарного і власного парків вагонів в Україні станом на 01.08.2013 р.

Аналіз кількості та структури парку вагонів в управлінні операторських компаній в Україні станом на 01.08.2013 р. наведено та рис. 2. Керування вагонним парком в Україні здійснює Державне підприємство «Український транспортно-логістичний центр» (УТЛЦ). Паралельно із процедурами експлуатації і придбання нового вагонного парку замість списаного ведеться робота з наявними та новостворюваними операторами залізничного рухомого складу. Парк вантажних вагонів в

управлінні УТЛЦ станом на 01.08.2013 р. становить 59732 ваг, з них криті 6692 ваг, або 11,2%, напіввагони 44889 ваг, або 75,1%, цистерни 151 ваг, або 0,3%, рефрижераторні 35 ваг, або 0,1%, інші 7966 ваг, або 13,3%. У тому числі: УСВ 21957 ваг, або 36,8%, УРТ 9464 ваг, або 15,8%, Ліски 248 ваг, або 0,4%, ДВРЗ 24191 ваг, або 40,5%, СВРЗ 3871 ваг, або 6,5%. Аналіз кількості та структури парку вантажних вагонів в управлінні УТЛЦ станом на 01.08.2013 р. наведений на рис. 3.

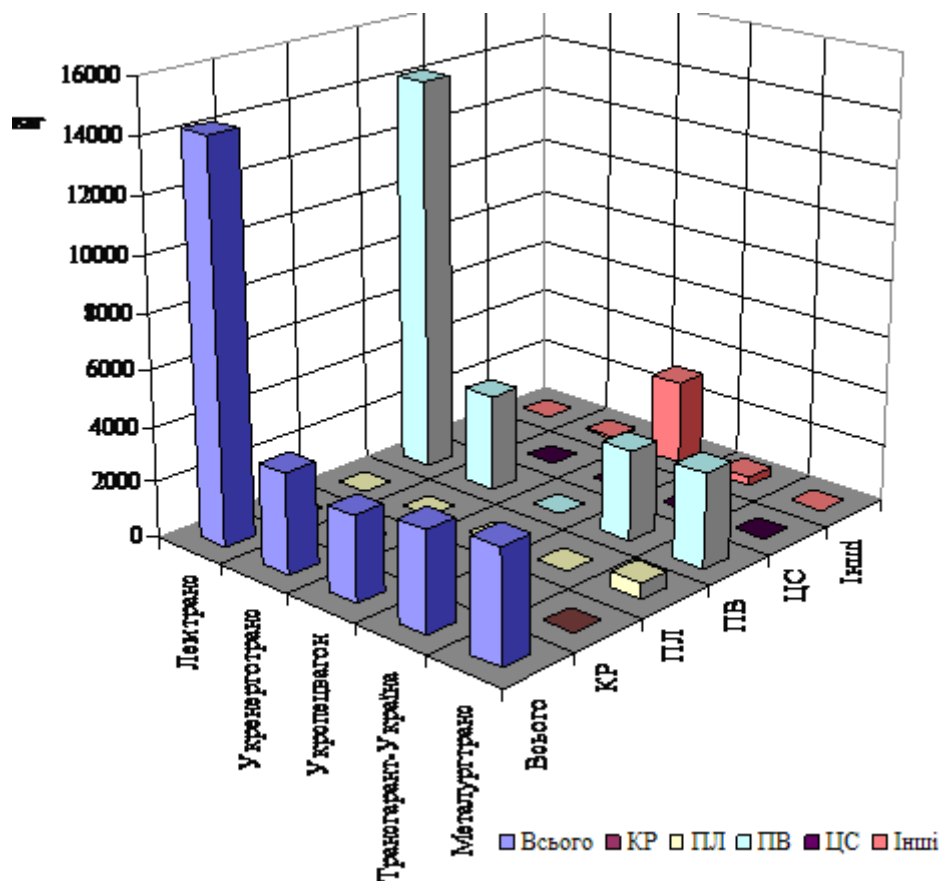


Рис. 2. Аналіз кількості та структури парку вагонів в управлінні операторських компаній в Україні станом на 01.08.2013 р.

Аналіз навантаження 20 операторських компаній України з найбільшими обсягами перевезень вантажів із 49, з якими укладені договори з Укрзалізницею, за 2010-2012 рр. наведений на рис. 4.

У 2012 р. не виконували перевезень: ЗАТ «Укренерготранс» ТОВ «ІНТЕРКАРТРАНС», ООО «Інтертранссервіс», ТОВ «Євратранс Україна». У той же час реорганізовані або уклали нові договори на перевезення 31 ОК, у т.ч. найбільші підприємства: ТОВ

## Експлуатація залізниць

«Інтерлізінвест», ТОВ «Євразтранс Україна», Корпорація «Міжрегіональний Промисловий Союз», ТОВ «Металургтранс», ТОВ

«Лемтранс», ПрАТ «Укренерготранс», ДП «Трансгарант-Україна».

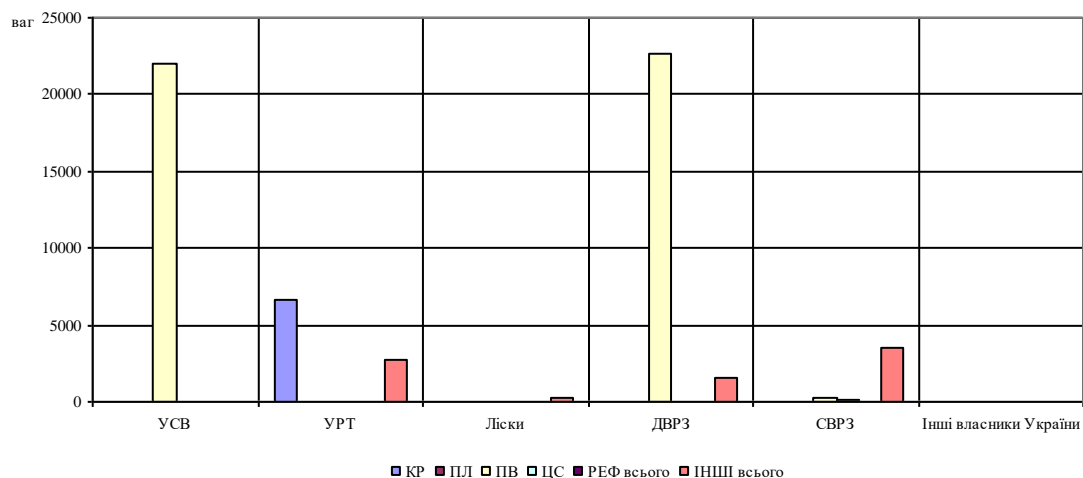


Рис. 3. Аналіз кількості та структури парку вантажних вагонів в управлінні УТЛЦ станом на 01.08.2013 р.

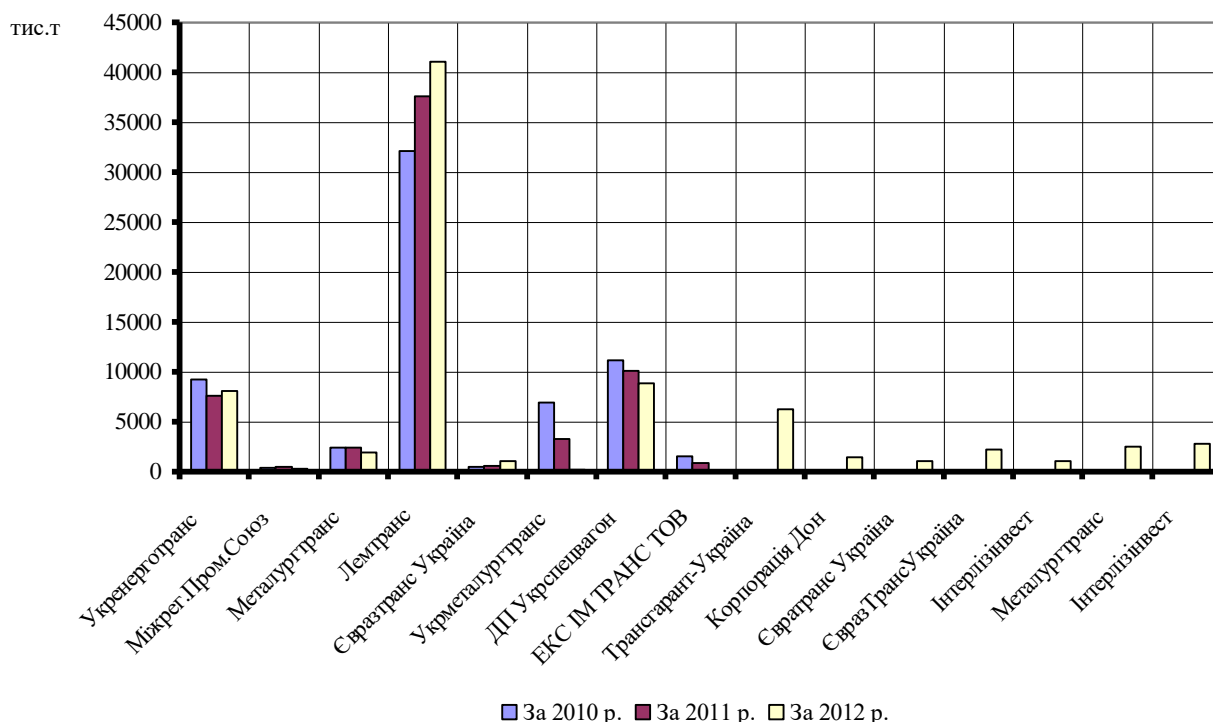


Рис. 4. Аналіз навантаження найбільших операторських компаній України за 2010-2012 рр.

Моделювання моніторингу перевезень власними вагонами парку операторських компаній у взаємодії з інфраструктурою і

парком вагонів УТЛЦ, операторів перевезень доцільно реалізувати у вигляді системи імовірнісних автоматів Мура з



детермінованими функціями виходів. [8] Основні рівняння системи, які визначають внутрішній стан автоматів у дискретні моменти часу  $t+1$  як функцій від внутрішнього стану і вхідних сигналів у момент  $t$ , записані у вигляді стохастичних рівнянь. Оскільки система належить до класу систем з невизначеною вартістю дефіциту навантажувальних ресурсів (вантажних вагонів операторів перевезень), то критерієм ефективності є величина забезпеченості системи під навантаження порожніми вагонами  $i$ -того виду

$$C^{(i)}(T) = \frac{Z(T)^{(i)}}{100 - D^{(i)}(T)}, \quad (1)$$

де  $Z(T)^{(i)}$  – математичне очікування витрат на пошук та перевезення на вантажний фронт  $i$ -того виду вагонів;  $D^{(i)}(T)$  – математичне очікування наявності на мережі залізниць  $i$ -того виду вагонів, у відсотках;  $T$  – тривалість входження системи в стаціонарний режим.

Функція  $C^{(i)}(T)$  визначається в моделі після входження системи у стаціонарний режим, якщо  $t \geq T$ .

Величина відносного дефіциту навантажувальних ресурсів (вантажних вагонів операторів перевезень)

$$D^{(i)}(T) = \frac{\overline{d^{(i)}}(T)}{\overline{\pi^{(i)}}(T)} \cdot 100, \quad (2)$$

де  $\overline{d^{(i)}}(T)$  – математичне очікування кількісного дефіциту  $i$ -того виду вагонів в системі;  $\overline{\pi^{(i)}}(T)$  – математичне очікування попиту  $i$ -того виду вагонів.

Всі величини в (1), (2) є середньодобовими.

Знаменник у формулі (1) показує забезпеченість системи вагонами  $i$ -того виду, а величина критерію  $C^{(i)}(T)$  –

вартість 1% забезпеченості системи. Мінімум критерію  $C^{(i)}(T)$  відповідає мінімуму витрат в єдиній системі управління парком вантажних вагонів при умові відносного дефіциту вагонів  $D^{(i)}(T)$  у межах 5% і за мінімумом  $C^{(i)}(T)$ .

Параметри системи: обсяги вхідних матеріальних потоків – інтенсивність (математичне очікування) потоку навантаження, дисперсія потоку (діапазон математичного очікування величини обсягу вантажів  $i$ -того виду), період між надходженням; параметри складів вантажовласників – величини мінімальних і максимальних запасів (оптимальні нормативи запасів на складах), місткість накопичувачів складів.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Об'єднання парків різних операторів – серйозний інструмент керування витратами й прибутками. До вигід можна віднести розширення вантажної та клієнтської баз, що дозволяє проводити оптимізацію вагонопотоків, скорочувати витрати і домагатися синергетического ефекту, поліпшення технології роботи, а також удосконалення структури парку рухомого складу.

Розвиток технології гальмує недостатня технічна оснащеність підприємств-вантажовіправників та операторів перевезень. Необхідно побудувати модель фінансування галузі, ввести довгострокову тарифну політику, вирішити питання оптимізації та субсидування збиткових видів діяльності, визначитися із цільовою моделлю ринку.

Варіанти оптимізації керування вагонним парком: поліпшення технологій керування руху рухомого складу, консолідація вантажної бази і користувачів залізничних послуг, спрямована на укрупнення відправлень, маршрутизацію і скорочення порожніх пробігів.

### Список використаних джерел

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року. Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1555-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www/URL: http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/](http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/) 10.12.2009. – Загол. з екрану.
2. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки. В редакції постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2011 р. № 1106 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www/URL: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1106-2011-p](http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1106-2011-p). – Загол. з екрану.
3. Бодюл, В.И. Система управління перевозками грузов для операторов железнодорожного подвижного состава [Текст] / В.И. Бодюл, А.Н. Феофилов // Наука и техника транспорта. – 2012. – Вып. 1. – С. 57-62
4. Данько, М.І. Визначення парку вагонів операторських компаній для забезпечення перевезень вантажів залізничним транспортом [Текст] / М.І. Данько, В.В. Кулешов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вып. 57. – С. 121-128.
5. Данько, М.І. Разработка организационно-технологической модели управления парком грузовых вагонов разной формы собственности [Текст] / М.І. Данько, Д.В. Ломотько, В.В. Кулешов // Инновационный транспорт. Научно-публицистическое издание. – 2012. – №4(5). – С. 8-13.
6. Данько, М.І. Побудова моделі оцінки інвестицій у залізничну інфраструктуру при взаємодії залізничних адміністрацій та операторів перевезень [Текст] / М.І. Данько, Д.В. Ломотько, В.В. Кулешов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вып. 134. – С. 7-13.
7. Кулешов, В.В. Удосконалення технології перевезень парком вагонів операторських компаній на станціях вузла [Текст] / В.В. Кулешов, О.Ю. Толбатов, Т.Р. Чурилик // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вып. 135. – С. 107-113.
8. Яровицкий, Н.В. Вероятностные и имитационное моделирование [Текст] / Н.В. Яровицкий, Н.И. Костина // Кибернетика и системный анализ. – 1993. – № 3. – С. 20–30.

Рецензент д-р техн. наук, професор Є.С.Альошинський

---

Кулешов Валерій Вячеславович, канд. техн.наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: [kharkov-kuleshov@mail.yandex.ua](mailto:kharkov-kuleshov@mail.yandex.ua)

Valery Kuleshov V., Ph.D., dotsent кафедра railway stations and junctions Ukraine State Academy of Railway Transport.. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: [kharkov-kuleshov@mail.yandex.ua](mailto:kharkov-kuleshov@mail.yandex.ua)

УДК 656.212:656.2.001.73

**РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПУНКТУ КОНЦЕНТРАЦІЇ  
КОМЕРЦІЙНОЇ РОБОТИ В УМОВАХ РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

Д-р техн. наук Д.В. Ломотько, здобувач Д.В. Арсененко

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПУНКТА КОНЦЕНТРАЦИИ  
КОММЕРЧЕСКОЙ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Д-р техн. наук Д.В. Ломотько, соискатель Д.В. Арсененко

**FUNCTIONAL MODEL DEVELOPMENT OF CONCENTRATION POINT OF  
COMMERCIAL WORK IN CONDITIONS OF RAILWAY TRANSPORT  
RESTRUCTURIZATION**

**Dr. of Techn. Sciences D.V. Lomotko, competitor D.V. Arsenenko**

*Ми представляємо алгоритм розробки моделі функціонування пункту концентрації комерційної роботи, яка має забезпечувати виконання усіх виробничих задач змінимальним використанням ресурсів.*

***Ключові слова:** реструктуризація, пункт концентрації, маневровий локомотив, корисна робота, логістична система.*

*Мы представляем алгоритм разработки модели функционирования пункта концентрации коммерческой работы, которая должна обеспечивать выполнение всех производственных задач с минимальным использованием ресурсов.*

***Ключевые слова:** реструктуризация, пункт концентрации, маневровый локомотив, полезная работа, логистическая система.*

*Taking into consideration the modern tendencies in perspectives of transport system development in a whole and the demand to be ready to integration into European transport system, the reformation of railway transport system becomes necessary.*

*The main task for reformation is the achievement of maximum production tasks using minimum quantity of resources. To realize the tasks set, the main step is the separation of commercial work's concentration points from the whole transport network. The task of these points is optimization of switch power and train locomotive's work in order to increase the effective work index, rational use of rolling stock. At this, the reduction of operational and human resources is being achieved that is the basis for performance of a quality reform on railway transport. In our article we propose an algorithm choice for optimal model of such points' work.*

***Keywords:** restructurization, concentrationpoint, switchpower, usefulwork, logisticssystem.*

**Вступ.** Задачі залізничного транспорту пов'язано з дефіцитом інвестицій в галузь, підвищенням економічної ефективності роботи залізничного

транспорту, інтегруванням у європейський транспортний простір, наростаючою конкуренцією в окремих видах перевезення з боку автомобільного транспорту та вимогами підвищення соціальних стандартів. Це вимагає проведення якісної та ефективної програми реструктуризації галузі. Першочерговим завданням на шляху вирішення цих питань є оптимізація кадрового та технічного потенціалу. Враховуючи в цілому ситуацію на транспорті, при вирішенні цих задач утворюється низка проблемних питань в роботі комерційного господарства.

**Постановка задачі у загальному вигляді, її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Відповідно до другого етапу «Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2015 роки» [1] планується оптимізація штату комерційного господарства прямо пропорційно обсягам вантажних перевезень та утворення пунктів концентрації виконання вантажних операцій з передаванням обов'язків станцій з меншим обсягом роботи на опорні станції цих пунктів. Таким чином, актуальним є питання організації комерційної роботи на принципах логістики в умовах реструктуризації з оптимальним використанням технічного потенціалу, виробничих витрат і за умов дотримання рівня безпеки руху.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Організація комерційної роботи завжди була пріоритетним напрямком в роботі залізниці. Над цим питанням працювали А.А. Смахов [2], А.М. Котенко [3], В.М. Запара [4]. З урахуванням динамічного росту ринку перевезень та вимог, які постають перед залізничним транспортом, останнім часом вважається за доцільне організація роботи на принципах логістики. У цьому напрямку працюють Т.В. Бутько, М.І. Данько [5] та багато інших.

### **Виклад основного матеріалу.**

Зважаючи на умови та функціональні обов'язки, покладені на пункти концентрації, розглянемо його як систему взаємодіючих одиниць, роль яких виконують станції або підприємства з великим обсягом вантажної роботи. Кожна ефективнодіюча одиниця системи для виконання оперативної вантажної роботи повинна відповідати оптимальним вимогам до керування запасами та відповідати таким функціям:

- максимально повно задовольняти потреби логістичної системи в матеріальних ресурсах і (або) попит на цільовому товарному ринку;

- сприяти мінімізації оборотних коштів, що направляють на формування й підтримку сукупних запасів;

- забезпечувати максимальну відповідність структури запасів якісним і асортиментним вимогам виробництва або ринку;

- зводити до мінімуму сукупні витрати з керування запасами;

- створювати умови для високої продуктивності живої праці.

Розроблення моделі технології роботи в межах окремого пункту концентрації на основі теорії управління запасами конкурентної системи полягає в правильному виборі вектора цільових показників, при яких можливо досягнення мінімізації часу на виконання комплексу вантажних операцій з вагоном та експлуатаційних витрат маневрового локомотива [6]. Враховуючи поставлені вище задачі та той факт, що сполучною ланкою пункту концентрації є робота маневрового локомотива, метою стає розроблення моделі роботи взаємодоповнюючої системи роботи станційного та диспетчерського локомотива на принципах ефективного використання та прогнозування вагонопотоку на конкретній дільниці.

### **Основна частина дослідження.**

Основним принципом, за яким планується

створення пунктів концентрації, є розроблення окремої укрупненої транспортної одиниці, яка самостійно виконує свої функціональні зобов'язання. Зважаючи на це кожен пункт концентрації повинен мати опорну станцію, яка має стати механізмом з управління логістичною системою керування запасами в межах свого пункту концентрації.

В частині комерційного господарства запасом є наявність вагонів для виконання вантажних операцій. Зважаючи на оперативний характер роботи залізниці та дефіцит вагонного парку оптимальним варіантом для забезпечення максимально ефективної роботи пункту концентрації є створення системи керування запасами з постійним контролем. Принцип роботи системи наведено на рис. 1.

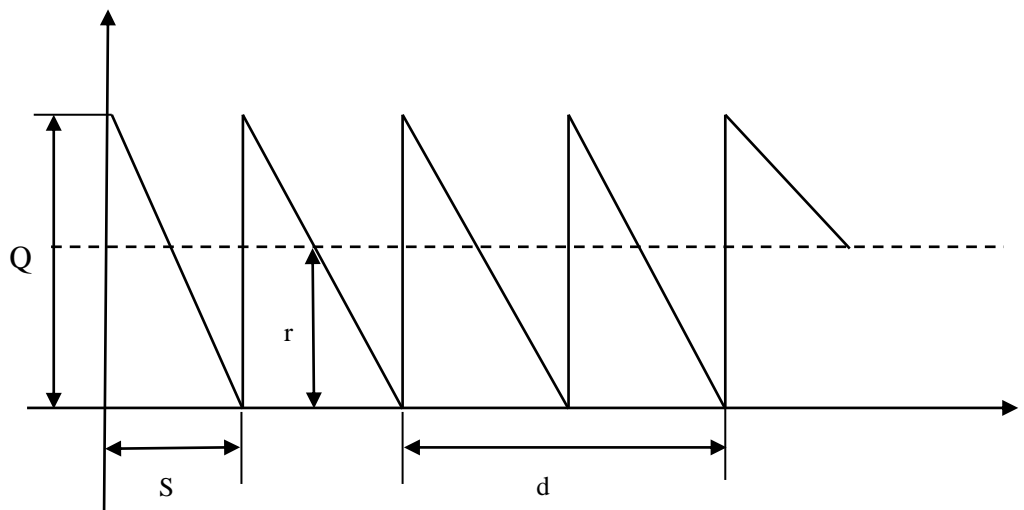


Рис. 1. Принципова схема зміни рівня запасів

Тут  $Q$  – необхідна кількість вагонів для виконання всіх вантажних операцій на момент розрахунку;  $r$  – рівень запасу, при якому потрібно збільшувати рівень запасу до  $Q$ ;  $s$  – періодичність замовлення;  $d$  – час доставки замовлення.

Тобто коли кількість вагонів падає до позначки  $r$ , система потребує поповнити запас до рівня  $Q$ . Простота використання цієї системи дозволяє наочно бачити ситуацію із вагонами на пункті концентрації в цілому, збільшити кількість корисної роботи та не потребує перепідготовки кадрів, що набуває особливої ваги в умовах реформування.

Зогляду на дане орієнтування цільову функцію системи можна визначити такі:

$$E = E_{nz} + E_{утр} + E_{дод} \rightarrow \min \quad (1)$$

де  $E_{nz}$  – витрати, пов'язані з організацією подачі – забирання вагонів на вантажний фронт з урахуванням витрат на маневрову роботу при підбиранні групи вагонів на витяжках формування у сортувальних парках, грн;

$E_{утр}$  – витрати, пов'язані з утриманням запасу вагонів на пункті концентрації, грн;

$E_{дод}$  – витрати, пов'язані з виникненням перебоїв у навантаженні при незабезпеченні логістичної системи (втрати від дефіциту), а також у випадку відмови вантажоодержувачів від вже відвантаженої партії вантажу, грн.

Зобразимо пункт концентрації комерційної роботи як граф, де вершини графу – це станції з визначеною на момент розрахунку потребою у технологічних

операціях з опорною станцією А, а ребра графу – відстань між ними.

Роботу пункту концентрації розглянемо як полігон для вирішення задачі комівояжера [7]. Вибір саме цього методу пов'язаний із тим, що як і в задачі, так і в нашому випадку в кінці циклу

локомотив повинен повернутися в початкову точку (в будь-якому пункті концентрації локомотив повинен бути «прив'язаний» до конкретної станції з метою можливості виконання технологічних операцій).

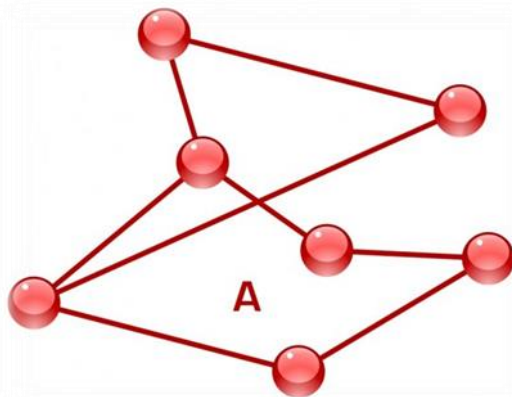


Рис. 2. Схематичне розташування станцій пункту концентрації на прикладі неорієнтованого графу

Для розрахунку вибору оптимального маршруту маневрового локомотива припустимо, що вершинами графу є станції, на яких на прогнозний момент часу планується будь-яка вантажна робота, а ребрам графу надамо вагу відповідно до фактичної відстані між цими вершинами.

Точками звіту кожного із циклів можна вважати початок робочої зміни, час закінчення деповського ремонту,

дозаправкою паливом та закінченням попереднього циклу (див. таблицю). Цільова функція задачі комівояжера в загальному вигляді являє собою вибір найкоротшого маршруту за умови виконання усіх вихідних даних. В нашому випадку вихідні дані це наявність виконання операцій із вагонами на кожній із станцій.

Таблиця

Відстані між станціями пункту концентрації

Вантажна станція	$i_1$	$i_2$	$i_3$	$i_4$	$i_5$
$j_1$	$\infty$	9	8	4	10
$j_2$	6	$\infty$	4	5	7
$j_3$	5	3	$\infty$	6	2
$j_4$	1	7	2	$\infty$	8
$j_5$	2	4	5	2	$\infty$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість станцій, на яких планується виконання вантажних операцій;

$C_{ij}$  – відстань між кожною парою станцій де повинен курсувати маневровий локомотив;

$x_{ij}$  – показник, який набуває значення 0 або 1.

Обмеження цільової функції:

$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1$  – умова в'їзду на станцію  $j$  лише один раз;

$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1$  – умова виїзду зі станції  $i$  лише один раз;

$u_i - u_j + (n - 1)x_{ij} \leq n - 2$ , де  $i \neq j$ ,  $i, j = 2, \dots, n$  – спеціальна умова, яка забезпечує усування декількох незв'язаних між собою маршрутів та циклів.

**Висновки.** Запропонована логістична модель в умовах, які формуються на шляху реструктуризації залізничного транспорту, дозволяє розробити оптимальну технологію роботи пункту концентрації із оптимальним використанням вагонного парку і роботи маневрового локомотива з урахуванням усіх вимог транспортної мережі. Наведені принципові підходи дозволяють зменшити експлуатаційні витрати маневрового локомотива, зменшити обіг місцевого вагона та термін доставки вантажу. Дана технологія дозволяє прогнозувати місцезнаходження маневрового локомотива з групою вагонів за родом та станом в кожен проміжок часу, що дозволить суттєво збільшити показник корисної роботи на дільниці.

#### Список використаних джерел

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року №1390 «Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2015 роки» [Текст].
2. Смехов, А.А. Управление грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте [Текст] / А.А. Смехова. – М.: Транспорт, 1990. – 352 с.
3. Котенко, А.Н. Удосконалення технології доставки вантажу від відправника до одержувача [Текст] / А.Н. Котенко // Зб. наук. праць Української Державної академії залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 112. – С.34-42.
4. Запара, В.М. Оперативне прогнозування виконання простою місцевого вагона на станції [Текст] / В.М. Запара // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 46-48.
5. Бутько, Т.В., Концепція формування логістической системы на железных дорогах Украины [Текст] / Т.В. Бутько, Д.В. Ломотко. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 110. – С. 61-63.
6. Федосова, І.В. Моделі управління запасами в логістичних системах [Текст]: дис... канд. екон. наук: 08.03.02 / І.В. Федосова. – Донецьк: Донецький національний ун-т, 2004. – 167 с.
7. Мудров, В.И. Задача о коммивояжере [Текст] / В.И. Мудров. — М.: «Знание», 1969. — С. 62.

Ломотко Денис Вікторович, д-р техн. наук, професор кафедри управління вантажною та комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел: (057) 730-10-85.

Арсененко Данил, здобувач кафедри управління вантажною та комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел: (057) 730-10-85.

Lomotko Denis Viktorovich, dr. sc. sciences, professor Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-85.

Arsenenko Danil, spylog applicants Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-85.

УДК 656.073.23

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОУДРЕЙЛЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Д-р техн. наук А.М. Котенко, асп. О.О. Шапатіна, магістрант М.О. Воропай

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РОУДРЕЙЛЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Д-р техн. наук А.Н. Котенко, асп. О.А. Шапатина, магістрант М.А. Воропай

## PERFORMANCE EVALUATION OF ROADRAILER TRANSPORT

Doctor of technical sciences A. M. Kotenko, graduate O.O. Shapatina, M.O. Voropai

*У статті обґрунтовується доцільність застосування роудрейлерних (бімодальних) перевезень в Україні. Запропоновано перевезення вантажів транспортними засобами, що обладнані змінною залізничною та автомобільною ходовою частиною (візками). Наведено математичні моделі організації технологій перевезень вантажів залізничним та роудрейлерним транспортом. Побудовано графи станів, на підставі яких складена система диференціальних рівнянь Колмогорова. Запропоновано економічну оцінку ефективності роудрейлерних перевезень.*

**Ключові слова:** інтермодальні перевезення, роудрейлерні (бімодальні) перевезення, математичні моделі, графи станів.

*В статье обосновывается целесообразность применения роудрейлерных (бимодальных) перевозок в Украине. Предложены перевозки грузов транспортными средствами, оборудованными сменной железнодорожной и автомобильной ходовой частью (тележками). Приведены математические модели организации технологий перевозок грузов железнодорожным и роудрейлерным транспортом. Построены графы состояний, на основании которых составлена система дифференциальных уравнений Колмогорова. Предложена экономическая оценка эффективности роудрейлерных перевозок.*

**Ключевые слова:** интермодальные перевозки, роудрейлерные (бимодальные) перевозки, математические модели, графы состояний.

*In connection with the development of technologies that ensure compatibility with various modes of transport and railways with excellent standards in international transport of goods transit potential of Ukraine is not used in full. The article explains the usefulness of roadrailer (bimodal) transportation in Ukraine. Proposed freight vehicles equipped with a removable train and automobile chassis (bogies). It is possible to avoid major problems in the implementation of intermodal transport (including piggyback) - "dead weight" in the form of a moving car that always goes with the body of the car. The mathematical model of the organization of rail freight technologies and roadrailer transport. Graphs of states, which is made on the basis of a system of differential equations of Kolmogorov. We propose an economic evaluation of roadrailer traffic.*

**Keywords:** intermodal transport, roadrailer (bimodal) transport, mathematical models, state graphs.

**Вступ.** У зв'язку із недостатнім розвитком технологій, що мають забезпечувати сумісність різних видів транспорту, а також залізниць з відмінними

стандартами при міжнародних перевезеннях вантажів транзитний потенціал України використовується не в повній мірі.



**Постановка проблеми у загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** За останні роки інтермодальні перевезення знайшли широке застосування в країнах Європи. Розвитку такої нової форми транспорту сприяло, насамперед, об'єднання в одній системі найкращих якостей автомобільного та залізничного транспортів. Серед найкращих ознак автомобільного транспорту слід зазначити:

- еластичність, гнучкість, маневреність завдяки щільності автомобільних доріг і транспортних точок;
- можливість вибору маршрутів і схем доставки;
- можливість безпосередніх поставок вантажу з кожного місця відправки;
- підбір засобів транспорту залежно від категорії вантажу.

Що стосується залізничного транспорту, то тут слід було б відзначити:

- відносно низьку ціну перевезення на середні та дальні відстані;
- високу швидкість доставки на великі відстані;
- незалежність від кліматичних умов;
- значну частоту і регулярність сполучень.

Залізничний транспорт характеризує також меншу кількість пошкоджень вантажів, ніж автомобільний транспорт. Також має значення той факт, що залізничний транспорт, який реалізує сполучення на великі відстані, менше забруднює навколишнє середовище. До передумов щодо розвитку комбінованого транспорту слід ще додати зростаючі з кожним роком зменшення пропускної спроможності європейських автошляхів, а також порівняно довгий час очікування на кордонах ЄС з іншими країнами Європи. Враховуючи перераховані вище фактори, очевидним є інтенсивний розвиток комбінованого транспорту в Європі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями удосконалення змішаних, комбінованих, інтермодальних

перевезень у міжнародному сполученні займалися такі вчені: Аветикян М.А., Бутко Т.В., Гаджинський А.М., Галабурда В.Г., Данько М.І., Донченко А.В., Дьомін Ю.В., Загарій Г.І., Кірпа Г.М., Котенко А.М., Ломотько Д.В., Мироненко В.К., Миротин Л.Б., Мямлін С.В., Павленко А.П., Пшінько О.М., Савчук О.М., Тітов Н.Ф., Троцький М.В., Шибаєв О.Г., Яновський П.О. та інші вітчизняні та закордонні вчені [1,2,3].

**Метою статті** є обґрунтування доцільності застосування інтермодальних перевезень, зокрема, роудрейлерних.

**Виклад основного матеріалу.** У США та Канаді інтермодальні перевезення вантажів здійснюються більше 60 років. Донині їхній обсяг складає близько чверті перевезень, що виконуються залізничним транспортом. Зростає обсяг автомобільно-залізничних перевезень і в країнах Західної Європи. Особливо високими темпами розвиваються контрейлерні перевезення в міжнародному сполученні. Це явище є результатом інтеграційних процесів, які інтенсивно поширюються Європою [4].

Головні тенденції у вантажних перевезеннях на залізницях світу пов'язані з розширеним застосуванням спеціалізованого рухомого складу та збільшенням перевезень за змішаними схемами (контрейлерні та роудрейлерні перевезення) переважно в міжнародному сполученні. Інтермодальні перевезення, безумовно, один із найперспективніших напрямків розширення спектра транспортних послуг [5].

В статті розглянута доцільність перевезення вантажів транспортними засобами, що мають змінну залізничну та автомобільну ходову частини (візки) - роудрейлерна технологія. При цьому можна уникнути основної проблеми при здійсненні інтермодальних перевезень (зокрема, контрейлерних) – «мертвої ваги» у вигляді автомобільної рухомої частини, що постійно прямує з кузовом вагона.

Розглянемо математичну модель технології перевезень вантажів залізничним

та роудрейлерним транспортом. Для цього побудуємо графи станів та складемо систему диференціальних рівнянь Колмогорова. На підставі цих математичних моделей роудрейлерного та залізничного поїзда визначимо методику ефективності їх застосування.

Модель організації технології перевезень вантажів роудрейлерними поїздами можна подати у вигляді рис. 1. Математичну модель роудрейлерного поїзда подамо у вигляді графа станів (рис. 2).

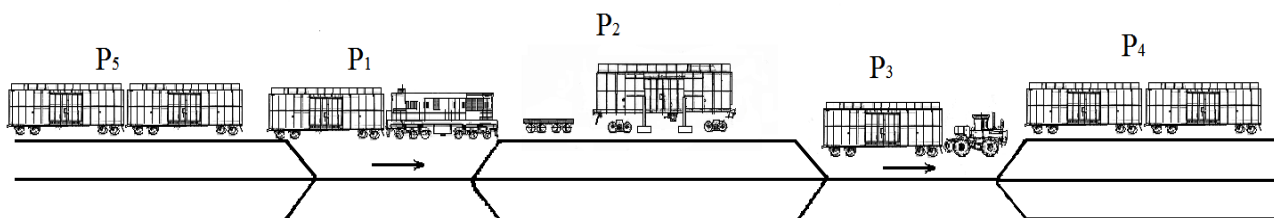


Рис. 1. Організація руху роудрейлерного поїзда

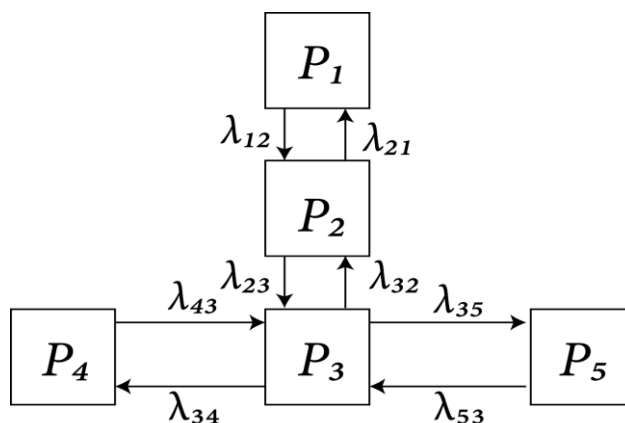


Рис. 2. Граф станів руху роудрейлерного поїзда

Згідно з графом станів (рис. 2) введені такі позначення:

$P_1$  - на шляху прямування до вантажної станції у складі вантажного поїзда;

$P_2$  - перевантаження залізничної рухомої частини на автомобільну та навпаки;

$P_3$  - на шляху прямування до вантажної станції у складі автомобільного вантажного модуля;

$P_4$  - знаходження під вантажними операціями у вантажоодержувача;

$P_5$  - знаходження під вантажними операціями у вантажовідправника;

$\lambda_{12}$  - інтенсивність переходу із стану прямування до вантажної станції у складі вантажного поїзда до стану перевантаження залізничної рухомої частини на автомобільну;

$\lambda_{21}$  - інтенсивність переходу із стану перевантаження автомобільної рухомої частини на залізничну до стану прямування до вантажної станції у складі вантажного поїзда;

$\lambda_{23}$  - інтенсивність переходу із стану перевантаження залізничної рухомої частини на автомобільну до стану прямування до вантажної станції у складі автомобільного вантажного модуля;

$\lambda_{32}$  - інтенсивність переходу із стану прямування до вантажної станції у складі автомобільного вантажного модуля до стану перевантаження автомобільної рухомої частини на залізничну;

$\lambda_{34}$  - інтенсивність переходу із стану прямування до вантажної станції у складі автомобільного вантажного модуля до стану знаходження під вантажними операціями у вантажоодержувача;

$\lambda_{43}$  - інтенсивність переходу із стану знаходження під вантажними операціями у вантажоодержувача до стану прямування

до вантажної станції у складі автомобільного вантажного модуля;

$\lambda_{35}$  - інтенсивність переходу із стану прямування до вантажної станції у складі автомобільного вантажного модуля до стану знаходження під вантажними операціями у вантажовідправника;

$\lambda_{53}$  - інтенсивність переходу із стану знаходження під вантажними операціями у вантажовідправника до стану прямування до вантажної станції у складі автомобільного вантажного модуля.

Оскільки потік заявок для роудрейлерних перевезень задовольняє три умови: відсутність післядії, стаціонарність та ординарність [6], тоді система диференціальних рівнянь Колмогорова для наведеного графа (рис. 2) запишеться у виразі

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1}{dt} = \lambda_{21}P_2 - \lambda_{12}P_1 \\ \frac{dP_2}{dt} = \lambda_{32}P_3 + \lambda_{12}P_1 - P_2(\lambda_{21} + \lambda_{23}) \\ \frac{dP_3}{dt} = \lambda_{23}P_2 + \lambda_{53}P_5 + \lambda_{43}P_4 - P_3(\lambda_{32} + \lambda_{35} + \lambda_{34}) \\ \frac{dP_4}{dt} = \lambda_{34}P_3 - \lambda_{43}P_4 \\ \frac{dP_5}{dt} = \lambda_{35}P_3 - \lambda_{53}P_5 \end{array} \right. , \quad (1)$$

Нормувальна умова

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1.$$

За допомогою програмного забезпечення кафедри УЕР виконані розрахунки імовірності для граничних значень інтенсивності  $\lambda$ .

На підставі цього імовірності станів роудрейлерних перевезень в стаціонарному режимі наведені на рис. 3.

Модель організації технології перевезень вантажного поїзда також представимо у вигляді (рис. 4). Математичну модель вантажного поїзда представимо у вигляді графа станів (рис. 5).

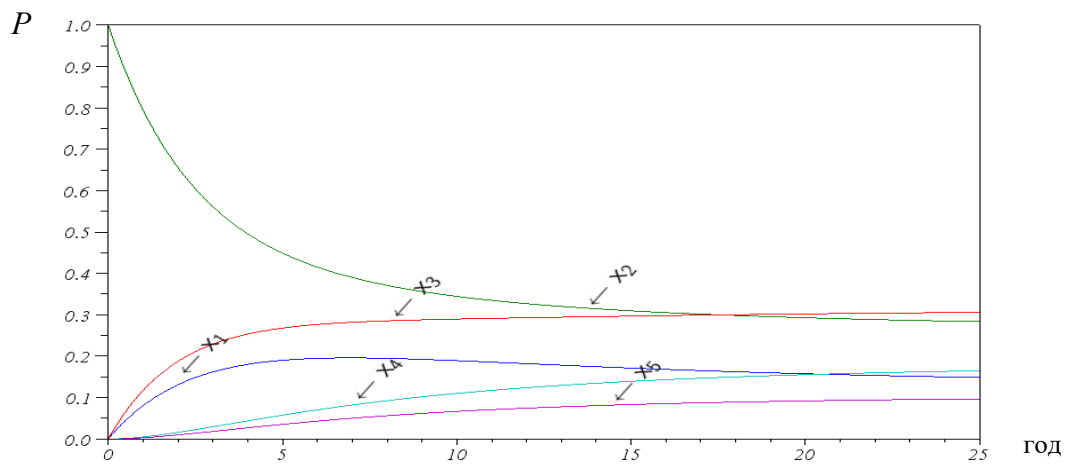


Рис. 3. Імовірності станів роудрейлерних перевезень в стаціонарному режимі

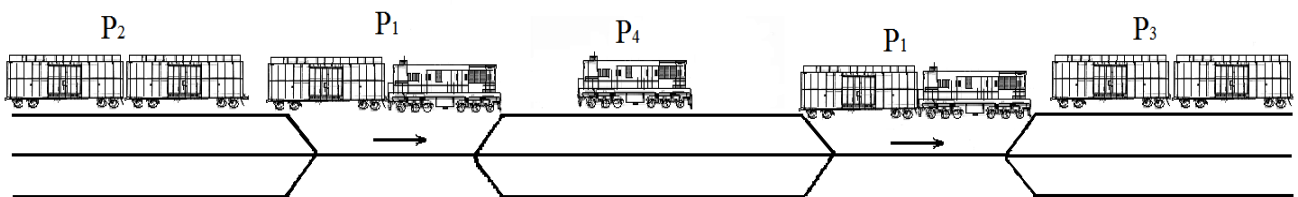


Рис. 4. Організація руху вантажного поїзда

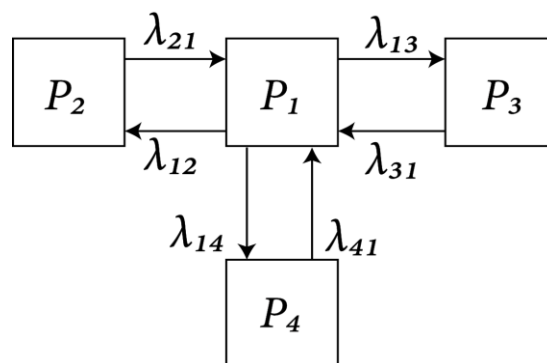


Рис. 5. Граф станів руху вантажного поїзда

Згідно з графом станів (рис. 5) введені такі позначення:

$P_1$  - на шляху прямування до вантажної станції;

$P_2$  - знаходження під вантажними операціями на станції відправлення;

$P_3$  - знаходження під вантажними операціями на станції призначення;

$P_4$  - обслуговування на технічній станції;

$\lambda_{12}$  - інтенсивність переходу із стану прямування до вантажної станції до стану знаходження під вантажними операціями на станції відправлення;

$\lambda_{21}$  - інтенсивність переходу із стану знаходження під вантажними операціями на станції відправлення до стану прямування до вантажної станції;

$\lambda_{13}$  - інтенсивність переходу із стану прямування до вантажної станції до стану знаходження під вантажними операціями на станції призначення;

$\lambda_{31}$  - інтенсивність переходу із стану знаходження під вантажними операціями на станції призначення до стану прямування до вантажної станції;

$\lambda_{14}$  - інтенсивність переходу із стану прямування до вантажної станції до стану обслуговування на технічній станції;

$\lambda_{41}$  - інтенсивність переходу із стану обслуговування на технічній станції до стану прямування до вантажної станції.

Аналогічно система диференціальних рівнянь Колмогорова для наведеного графа (рис. 5) запишеться у виразі

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1}{dt} = \lambda_{31}P_3 + \lambda_{21}P_2 + \lambda_{41}P_4 - P_1(\lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{12}) \\ \frac{dP_2}{dt} = \lambda_{12}P_1 - \lambda_{21}P_2 \\ \frac{dP_3}{dt} = \lambda_{13}P_1 - \lambda_{31}P_3 \\ \frac{dP_4}{dt} = \lambda_{14}P_1 - \lambda_{41}P_4 \end{array} \right. , \quad (2)$$

Нормувальна умова

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1.$$

Імовірності станів перевезень вантажного поїзда в стаціонарному режимі наведені на рис. 6.

Цільова функція ефективності використання кожної з технологій перевезень має такий вигляд:

$$C_{\text{повд}} = 0,15C_1 + 0,3C_2 + 0,3C_3 + 0,15C_4 + 0,1C_5 \rightarrow \min , \quad (4)$$

де  $C_1$  - експлуатаційні витрати на транспортування вантажів у складі вантажного поїзда, грн;

$$C_{\text{тр}} = \sum (C_i P_i) \rightarrow \min , \quad (3)$$

де  $C_i$  - відповідні експлуатаційні витрати;

$P_i$  - імовірності  $i$ -станів перевезень.

Тоді цільова функція при роудрейлерній технології перевезень може бути визначена (згідно зі стаціонарним режимом на рис. 3)

$C_2$  - експлуатаційні витрати, що пов'язані із перевантаженням залізничної

рухомої частини на автомобільну та навпаки, грн;

$C_3$  - експлуатаційні витрати на транспортування вантажів у складі автомобільного вантажного модуля, грн;

$C_4$  - експлуатаційні витрати, що пов'язані із виконанням вантажних операцій у вантажоодержувача, грн;

$C_5$  - експлуатаційні витрати, що пов'язані із виконанням вантажних операцій у вантажовідправника, грн.

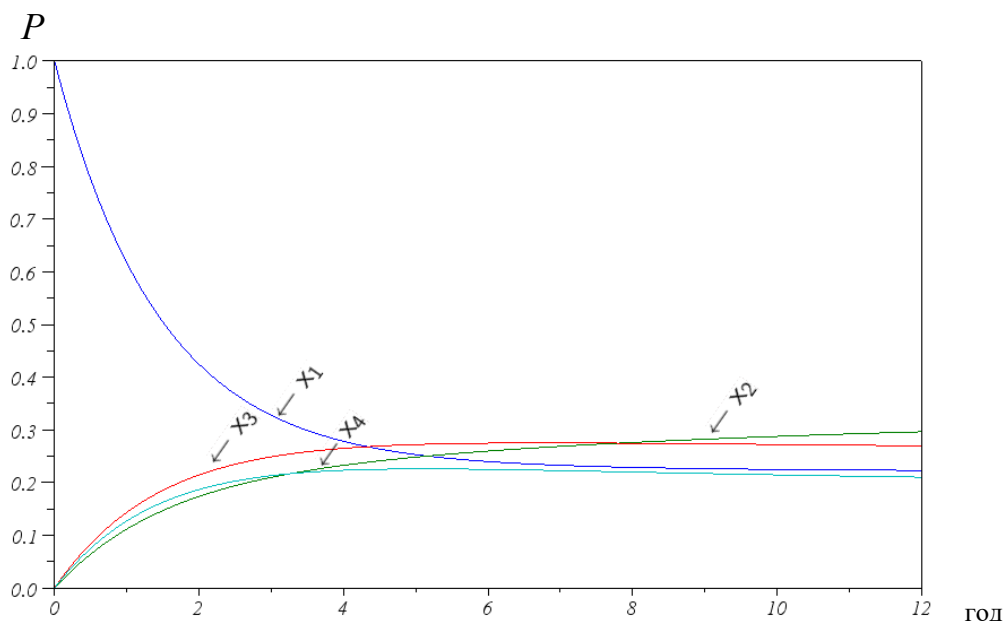


Рис. 6. Імовірності станів перевезень вантажного поїзда в стаціонарному режимі

Цільова функція при перевезенні у вантажному поїзді визначається за

формулою (згідно зі стаціонарним режимом на рис. 6)

$$\tilde{N}_{\text{дод}} = 0,2\tilde{N}_6 + 0,2\tilde{N}_7 + 0,3C_8 + 0,3C_9 \rightarrow \min, \quad (5)$$

де  $C_6$  - експлуатаційні витрати на транспортування вантажів, грн;

$C_7$  - експлуатаційні витрати, що пов'язані із виконанням вантажних операцій на станції відправлення, грн;

$C_8$  - експлуатаційні витрати, що пов'язані із виконанням вантажних операцій на станції призначення, грн;

$C_9$  - експлуатаційні витрати, що пов'язані із обслуговуванням на технічній станції, грн.

Ефективність запровадження рудрейлерної технології може бути визначена таким чином з урахуванням капітальних витрат на організацію руху:

$$\Delta E = \sum (C_{\text{пруд}} \cdot N_i) - \sum K, \quad (6)$$

де  $C_{роуд}$  - експлуатаційні витрати при роудрейлерних перевезеннях вантажів, грн;

$N_i$  - загальна кількість транспортних одиниць, що знаходяться в оберті, од.;

$K$  - капітальні витрати, що пов'язані з утриманням терміналів для організації роудрейлерних перевезень, грн.

### Висновки

1. Спосіб перевезення вантажів транспортними засобами, що мають змінну залізничну та автомобільну ходову частини (візки), – роудрейлерна технологія дозволяє уникнути основної проблеми при здійсненні інтермодальних перевезень – «мертвої ваги» у вигляді автомобільної

рухомої частини, що постійно прямує з кузовом вагона.

2. На підставі математичної моделі організації технології перевезень вантажів роудрейлерним поїздом, що подана у вигляді графу станів та рішення систем диференційних рівнянь, можливо моделювати граничні зони їх ефективності.

3. У свою чергу, застосування роудрейлерної технології перевезень дозволить значно зменшити транспортні витрати, що пов'язані з перевезенням, знаходженням під вантажними та іншими операціями шляхом моделювання інтенсивностей станів організації перевезень.

### Список використаних джерел

1. Котенко, А.М. Підвищення ефективності комбінованих перевезень. Удосконалення вантажної і комерційної роботи на залізницях України [Текст] / А.М. Котенко, В.Г. Кушнірчук // Зб.наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 62. – С.50-55.

2. Костюк, М.Д. Техніко-технологічне забезпечення інтермодальних та інтеперабельних перевезень [Текст] / М.Д. Костюк, Ю.В. Дьомін // Залізничний транспорт України. – 2009. – №3. – С.3-7.

3. Матюшин, Л.Н. Комбинированные перевозки – технология будущего [Текст] / Л.Н. Матюшин, Б.Н. Стрекалов // Вестник ВНИИЖТ. – 1998. – №3. – С.28-32.

4. Кирпа, Г.Н. О возможных путях развития комбинированных перевозок грузов на Украине [Текст] / Г.Н. Кирпа, Ю.В. Демин // Труды ЗНЦ ТАУ – Проектирование, производство и эксплуатация автотранспортных средств. – Львов, 1995. – Т. 2. – С.64-66.

5. Інтермодальні перевезення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://uz.gov.ua/cargo\\_transportation/intermodal\\_transportation/](http://uz.gov.ua/cargo_transportation/intermodal_transportation/). – Загол. з екрану.

6. Вентцель, Е.С. Исследование операций [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.

---

Котенко Анатолій Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри управління вантажною і комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-85.

Шапатіна Ольга Олександрівна, асистент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-85.

Воропай Максим Олександрович, магістрант 13-6-ОПУТм Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-85.

Kitten Anatoly PhD, professor the department management trucks and commercial work Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-85.

Shapatina Olga, assist. of management by commercial work Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-85.

Voropay Maksym, 13-6-OPUTm Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-85.

---

УДК 656.073

## АНАЛІЗ СТАНУ ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ВАНТАЖІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Канд. техн. наук Я.В. Запара

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОХРАНЫ ГРУЗОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

Канд. техн. наук Я.В. Запара

## ANALYSIS OF TECHNOLOGY OF GOODS ON RAILWAYS OF UKRAINE

Candidate of techn. sciences Y. Zapara

*Проведення аналізу стану технології охорони вантажів залізницями України дозволило виявити її недосконалість в окремих аспектах, які можуть стати підґрунтям для розроблення комплексної низки заходів, що будуть спрямовані на якісну організацію роботи охорони вантажів.*

***Ключові слова:** незбереження перевезень, комерційна робота, комерційна несправність, контроль за станом вантажу, розкрадання, охорона вантажу.*

*Проведение анализа состояния технологии охраны грузов железными дорогами Украины позволило выявить её несовершенство в отдельных аспектах, которые могут стать основой для разработки комплексного ряда мероприятий, какие будут направлены на качественную организацию работы охраны грузов.*

***Ключевые слова:** несохранность перевозок, коммерческая работа, коммерческая неисправность, контроль за состоянием груза, хищения, охрана груза.*

*The research status and providing quality technology of goods against theft during transportation by rail Ukraine, the example of the Southern Railway. In particular, the report analyzes the size of losses by type of goods, causes unsaved traffic and responsibilities among departments railway, which will offer relevant suggestions for improvement of safety of goods.*

*We found that a significant impact on the safety of cargo has the technical condition of rolling stock and personal characteristics of goods, the highest percentage size distribution losses accounted for the transportation of light oil, steel and other non-food goods, the highest percentage of responsibility for neshoronnist goods falls to the lot of departmental militarized security and left on the balance rail. All this points to the need to improve the technology of transportation on railways of Ukraine.*

***Keywords:** nonconservation of transportation, commerce, commercial failure, monitoring of cargo theft, cargo security.*

**Вступ.** Залізничний транспорт – галузь, що виконує перевезення великих обсягів вантажів широкої номенклатури. В цьому процесі схоронності та безпеці виконання перевезень постійно приділяється увага. Оскільки, в забезпеченні першого показника (схоронності) зацікавлені клієнти, які

обрали та довірили залізничному транспорту своє майно, а залізнична галузь поважає цю довіру, то другий показник – забезпечення безпеки перевезення – це напрямок, якого повинні дотримуватися всі учасники перевізного процесу, оскільки його забезпечення гарантує цілісність та схоронність не тільки вантажу та



транспортних засобів, а і здоров'я тих, хто бере участь в організації їх обслуговування та транспортування.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Відповідно до Державної програми реформування залізничного транспорту на 2008-2015 роки та наказу Міністерства внутрішніх справ України і Міністерства транспорту та зв'язку України за № 404/624, для забезпечення зниження обсягів збитків, пов'язаних з охороною вантажів (розкрадання), поліпшення технології охорони вантажів при перевезенні залізницями України, на підставі аналізу стану охорони вантажів з урахуванням особливостей вантажу та умов перевезення, є необхідність розроблення пропозицій щодо забезпечення охорони вантажів та недопущення їх розкрадань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями забезпечення схоронності вантажів при перевезенні залізничним транспортом у різні часи займалися відомі вчені, такі як В.М. Запара, Д.В. Ломотько, А.М. Котенко, А.О. Поляков, А.О. Смахов та багато інших. Серед останніх робіт, присвячених цьому питанню, слід відзначити [1]. У працях недостатньо уваги приділено взаємодії залізниці та суміжних органів, зокрема воєнізованої охорони і працівників міліції.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою роботи є проведення досліджень щодо стану та забезпечення якісної технології охорони вантажів проти розкрадань при перевезенні залізницями України. Задачі дослідження полягають у проведенні аналізу розмірів збитків за видами вантажів, причинами виникнення незбережених перевезень та відповідальністю серед підрозділів залізниці, що дозволить запропонувати відповідні пропозиції для покращення показників схоронності вантажів.

**Основна частина дослідження.** При виконанні умов договору перевезення

основні зобов'язання, що покладаються на залізницю, – це вчасно та в повному обсязі доставити вантаж до пункту призначення. Для деякої номенклатури вантажів наявність відсотка втрат є показником постійним, який однак можна намагатися зменшувати, враховуючи характер основних причин, що його обумовлюють. Так, при перевезенні сипучих вантажів причини втрат можна узагальнити так: невідповідність рухомого складу, який надається для перевезення вантажу, особливо при тривалій експлуатації вагона, що має вплив на його технічний стан; недостатнє використання надійних та економічних заходів, які запобігають втратам вантажу в умовах експлуатації залізниць.

При перевезенні сипучих вантажів на відкритому рухомому складі мають місце три види втрат: витікання вантажу в конструктивні зазори; видування дрібних фракцій повітряними потоками; осипання частин вантажу з верхньої частини штабеля, що завантажений вище рівня бортів напіввагона (платформи).

Незважаючи на різноманіття факторів, що впливають на втрату сипучих вантажів при транспортуванні, головними є: швидкість руху поїзда, вологість, конструкція вагона, його технічний стан, дальність перевезення, спосіб завантаження – ступінь ущільнення, висота над рівнем бортів та ін. [3].

Основні причини незбереження перевезень штучних вантажів у критих вагонах: механічні пошкодження (проколи, проломи, потертості) в результаті зсуву, розвалу і зміщення вантажу; приймання вантажу в неякісній і нестандартній тарі; неправильне укладання вантажу у вагони та інші причини.

До того ж, причини виникнення втрат вантажу в умовах експлуатації залізниць можуть бути розділені і за характером виникнення на технічні, технологічні та комерційні.

## Експлуатація залізниць

Побудовано гістограму відповідності розподілів збитків за видами причин виникнення незбережених перевезень на Південній залізниці за період 2009-2012 рр. (рис. 1), а також гістограму відповідності розподілу збитків за видами вантажів (рис. 2).

Згідно з нормативною документацією та службовими інструкціями порядок дій працівників, що беруть участь в роботі з вантажами на різних стадіях їх транспортування, спрямований на забезпечення обробки, обліку та забезпечення схоронності вантажів.

Загальне керівництво та організація роботи щодо забезпечення збереженості вантажів, їх охорони на станціях здійснюється начальником станції. Контроль за станом вантажів, які прибувають на станцію в поїздах і відправляються зі станції, виконується працівниками станції на пунктах комерційного огляду (КО).

У випадках, коли завантаження виконується силами та засобами

відправника вантажу, як на території станції, так і на під'їзних коліях, прийомоздавач може виконати лише перевірку цілісності кузова вагона, надійності закриття люків і дверей, прибирання "старих" закруток, ЗПП, розміток; а також звірити відповідність номера вагона, кількість ЗПП та відбитків на корпусі ЗПП з даними, що внесені в перевізні документи [4].

Забезпечення збереженості вантажів у вагонах, відчеплених від поїздів на вантажних станціях для усунення несправностей, які загрожують збереженості вантажів, або для попередження їх виникнення, покладаються на працівників технічного обслуговування вагонів на коліях технічного обслуговування (ПТО) та працівників комерційного обслуговування на пунктах комерційного огляду (ПКО) або на коліях усунення комерційних несправностей.

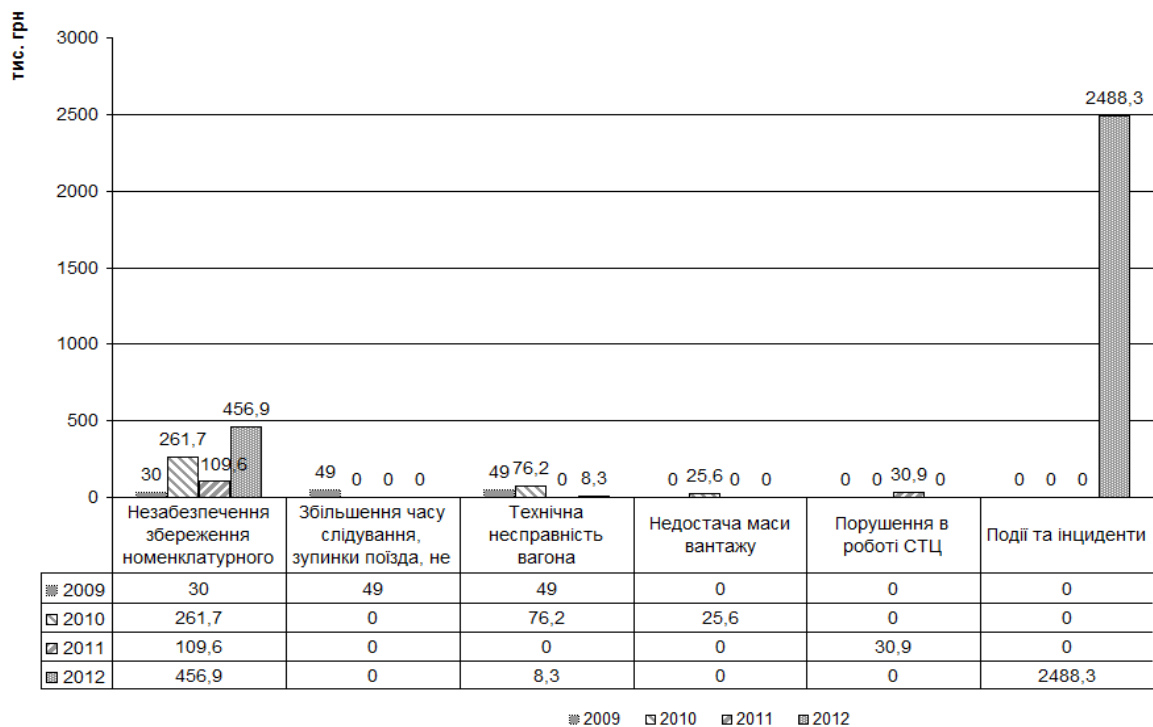


Рис. 1. Гістограма відповідності розподілу розмірів збитків за видами причин виникнення незбережених перевезень

## Експлуатація залізниць

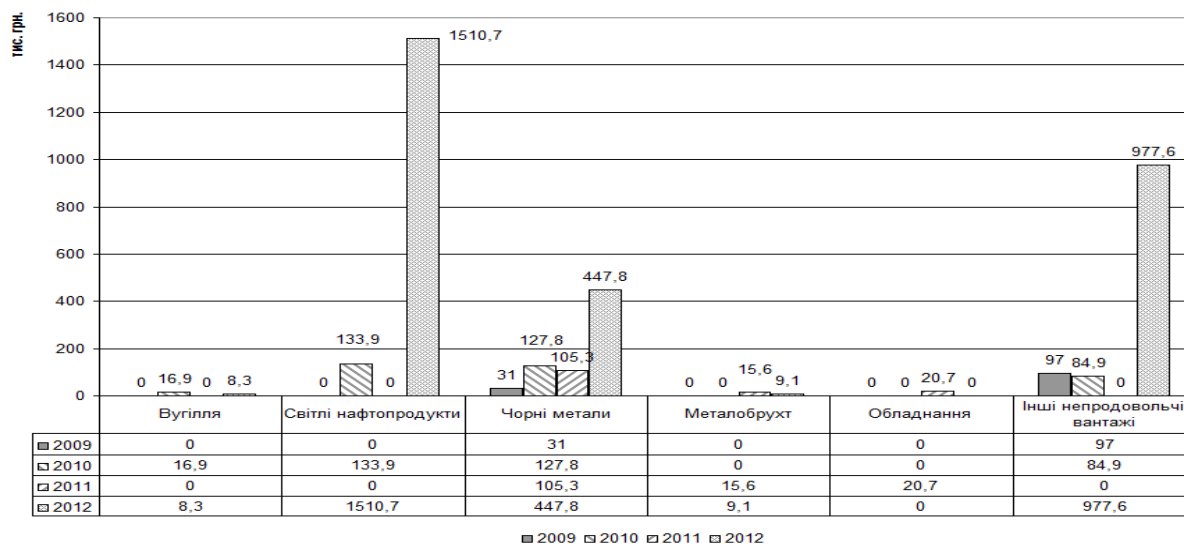


Рис. 2. Гістограма відповідності розподілу розмірів збитків за видами вантажів при незбережених перевезеннях

Технологія роботи ПКО має забезпечувати якісний КО усіх поїздів і вагонів за час, зазначений у технологічних процесах роботи ПКО. Розроблення Технологічних процесів виконується відповідно до Типового технологічного процесу роботи ПКО [5].

Контроль за станом вантажів виконується працівниками станції згідно з

Правилами комерційного огляду поїздів та вагонів [6].

Відповідно до даних за оперативними обставинами та проведеною роботою на Південній залізниці за період 2009 - 2012 рр. побудовано гістограму відповідності розподілів збитків по відповідних підрозділах залізниці (рис. 3).

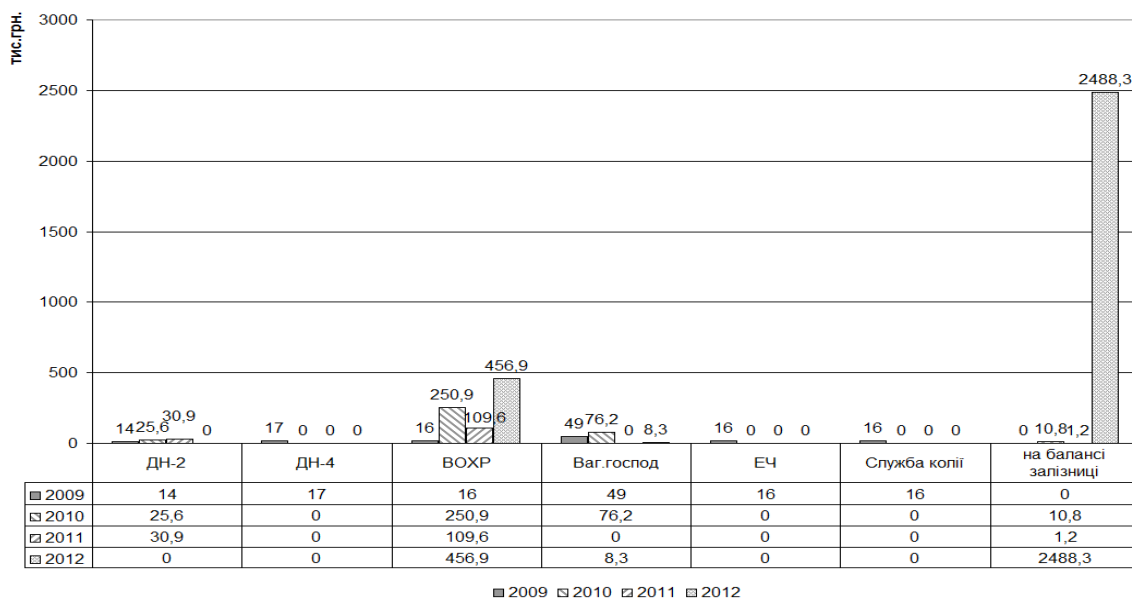


Рис. 3. Гістограма відповідності розподілу розмірів збитків по відповідним підрозділах залізниці

Усунення комерційних несправностей здійснюється, як правило, без відчеплення вагонів від поїзда. Однак відчеплення вагонів допускається, якщо усунення несправностей за час стоянки поїзда, передбаченої технологічним процесом роботи станції, неможливе або за необхідності перевірки стану та кількості вантажу (за 2012 рік по УЗ було відчеплено 6417 ваг., в т.ч. по Південній залізниці 120 ваг.).

При виявленні вагонів із ознаками розкрадання вантажу негайно інформується воєнізована охорона залізниці й органи внутрішніх справ на транспорті. Огляд вагонів, що підлягають супроводженню воєнізованою охороною залізниць, здійснюється разом з працівниками станції [5].

Для здійснення охорони вантажів в парках станцій та на шляху прямування робота виконується стрілецькими командами. Вантажі, що перевозяться згідно з Правилами перевезень вантажів залізничним транспортом у супроводі провідників відправників (одержувачів), охороняються цими провідниками без участі працівників станції і працівників відомчої воєнізованої охорони.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** В результаті аналізу основних причин незбережених перевезень,

що можуть виникнути з деякими групами вантажів, професійними обов'язками працівників, причетних до забезпечення схоронності перевезень, а також відповідно до даних на Південній залізниці за період 2009-2012 рр. зроблено такі висновки:

1. Значний вплив на схоронність вантажів має технічний стан рухомого складу та особисті характеристики вантажів;

2. Найбільший відсоток розподілу розмірів збитків на прикладі Південної залізниці за видами вантажів при незбережених перевезеннях за період 2009-2012 рр. припадає на перевезення світлих нафтопродуктів, чорних металів та інших непродовольчих вантажів.

3. Найбільший відсоток відповідальності за несхоронність вантажів припадає на частку відомчої воєнізованої охорони та залишається на балансі залізниці.

Отже, пропозиції щодо забезпечення якісної технології охорони вантажів проти розкрадань при перевезенні повинні розглядатися комплексно з урахуванням удосконалення нормативно-правового забезпечення та організаційно-технологічного аспекту діяльності причетних структур. Такі ж дослідження повинні бути виконані і для інших залізниць України.

### *Список використаних джерел*

1. Ломотько, Д.В. Підвищення рівня схоронності вантажів, що перевозять по залізницях України [Текст] / Д.В. Ломотько, М.М. Кузнецов, О.М. Пилипейко // Наука в транспортном измерении. – К.: ДНДЦ УЗ, 2006. – С. 67.
2. Смехов, А.А. Грузоведение, сохранность и крепление грузов [Текст] / А.А. Смехов, А.Д. Малов, А.М. Островский [и др.]; под. ред. А.А. Смехова. – М. : Транспорт, 1987. – 239 с.
3. Посібник прийомоздавальника вантажу та багажу (ЦМ-0016) [Текст]: нормативно-технічне видання; наказ Укрзалізниці № 388-Ц від 31.07.2007 р. – К. : Укрзалізниця, 2008. – 224 с.
4. Типовий технологічний процес роботи пункту комерційного огляду поїздів (ПКО) [Текст]: нормативно-технічне видання; наказ Укрзалізниці № 178-Ц від 28.03.2007 р. – К. : ТОВ “ВД “Мануфактура”, 2007. – 28 с.

5. Правила комерційного огляду поїздів та вагонів [Текст]: нормативно-технічне видання; наказ Укрзалізниці № 152-Ц від 26.04.2006 р. – К.: ТОВ “Швидкий рух”, 2006. – 32 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.М. Огар

---

Запара Ярослав Вікторович, кандидат техн. наук, старший викладач кафедри управління вантажною та комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85. E-mail: y.zapara@gmail.com

Zapara Yaroslav V. Ph.D., Senior Lecturer of freight and commercial work Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85. E-mail: y.zapara @ gmail.com

**УДК 656.073.235(1-83)**

## **РОЗВИТОК КОНТРЕЙЛЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ**

**Д-р техн. наук А.М. Котенко, канд. техн. наук П.С. Шилаєв, асп. А.В. Світлична**

## **РАЗВИТИЕ КОНТРЕЙЛЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ**

**Д-р техн. наук А.Н. Котенко, канд. техн. наук П.С. Шилаев, асп. А.В. Светличная**

## **DEVELOPMENT OF PIGGYBACK'S TRANSPORTATION OF LOADS ON RAILWAYS OF UKRAINE**

**Doct. of techn. sciences A.M. Kotenko, cand. of techn. sciences P.S. Shylayev, postgrad. A.V. Svetlichnaya**

*У статті обґрунтована економічна доцільність контрейлерних перевезень. Запропонована нова технологія контрейлерного терміналу. Наведені перспективні контрейлерні маршрути при вступі України до ЄС.*

**Ключові слова:** *термінал, транзит, контрейлерний термінал, контрейлерний поїзд.*

*В статье обоснована экономическая целесообразность контрейлерных перевозок. Предложена новая технология контрейлерного терминала. Приведены перспективные контрейлерные маршруты при вступлении Украины в ЕС.*

**Ключевые слова:** *терминал, транзит, контрейлерный терминал, контрейлерный поезд.*

*In this article the economic feasibility of a piggyback has been justified. The technology and the schematic of piggyback's terminal has been proposed. The perspective piggyback's routes have been shown when the Ukraine will enter to the EU. Location of network of piggyback's terminal has been proposed in prospect. Development of piggyback transport is a perspective direction in a building of the transport system of Ukraine, whereas it increases the volume of traffic through its territory with participation of the national transport companies. The main factors which constrain*

*the regular organization of the combined transportations in Ukraine have been prevented. The economic effect on railway transport at the organization of piggyback transportations will reach by economy on possibility of transportation of road trains the weight of everyone on 40 t without reloading operations.*

**Key words:** terminal, piggyback terminals, transit, piggyback train.

**Вступ.** Транспорт є найважливішою сферою інфраструктурного забезпечення населення та народного господарства України, складовою частиною її комунікаційної інфраструктури поряд із зв'язком і електропередачею. В середньому за рік в Україні перевозиться до 5,3 млн пасажирів і до 3,7 млрд т вантажів. [2] Темпи економічного розвитку та інтеграційні процеси в країнах Європи ведуть до зростання міжнародних зв'язків та підвищення обсягів торгівлі. Реалізація цих заходів веде до інтенсивного росту потужності вантажопотоків. Важливу роль в процесі реалізації торгових угод відіграє транспортне обслуговування за якістю.

Світовий досвід показує, що високий рівень якості транспортного обслуговування клієнтів забезпечується за умови надання комплексних транспортних послуг.

**Постановка проблеми у загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** З метою підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту в усіх розвинутих країнах здійснюється комплекс заходів, спрямованих на залучення додаткових обсягів залізничних перевезень за рахунок впровадження нових технологій перевезень, підвищення якості транспортних послуг, застосування гнучкої тарифної політики тощо. Контейнерні перевезення сприяють переключенню частини вантажопотоків з автомагістралей на залізницю, а також створенню більш збалансованої транспортної системи, що знижує екологічне навантаження і підвищує ефективність міжнародних перевезень.

Одна з головних проблем, яка пов'язана із вступом України до ЄС – різна ширина залізничної колії: європейська

колія має ширину 1435 мм, а українська – 1520 мм. Різниця в ширині колії викликає необхідність виконання перевантажувальних робіт, значні витрати, небереження вантажу, затримки в доставці та ін. З цієї причини значна частина вантажів перевозиться через прикордонні переходи автотранспортом, які прямують транзитом через Україну. Таким чином залізниця втрачають велику кількість вантажів. Обсяги перевезень автомобільним транспортом щорічно зростають на 15-20%. Вирішити це питання можливо двома шляхами. Перший – побудова залізниць з європейською шириною колії, на що потрібні значні кошти. Другий – розвиток комбінованих перевезень, що найбільш доцільно в даних умовах існування залізниць України. Це дозволить збільшити обсяги перевезень вантажів та зменшити вартість перевезень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням розвитку контейнерних перевезень та розробленню термінальних технологій присвячені наукові дослідження таких учених: Т.В. Бутько, М.І. Данько, Ю.В. Дьомін, А.М. Котенко, Г.М. Кірка, Д.В. Ломотько та ін. [3,4,5]. На даний час в Україні та за кордоном виконується ряд досліджень, пов'язаних з організацією контейнерних перевезень, а саме розробленням спеціального рухомого складу та термінальних технологій, проходженням митних кордонів.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою є аналіз розрахунків витрат на перевезення вантажу контейнерним способом; обґрунтування доцільності розвитку контейнерних перевезень.

**Основна частина дослідження.** Транзит становить суттєву частку (до 40 %) у структурі зовнішньоекономічних

вантажопотоків, що прямують через кордони України. Це обумовлено вигідним геополітичним розташуванням України, активним розвитком на її території міжнародних транспортних коридорів (МТК), активним розвитком перевезень у змішаному сполученні (інтермодальних, комбінованих), у т. ч. у напрямку Південь-Північ за участю поїздів комбінованого транспорту «Вікінг» та ZUBR. За період з 2007 по 2012 рр. обсяги перевезень, що здійснюються іншими видами транспорту, зросли більше, ніж удесятеро [1].

Основні вантажопотоки контрейлерних перевезень зосереджені на напрямках декількох транспортних коридорів, де діє більше 300 терміналів, розташованих на територіях 29 країн Європи, які надають близько 1100 видів послуг. Контрейлерні перевезення на залізницях України характеризуються високою рентабельністю, представляючи сучасні технології «точно в строк» та забезпечуючи доставку вантажів «від дверей до дверей». За даними англійського інституту Rendall, Україна має найвищий коефіцієнт транзитності – 3,11, отже, переваги контрейлерних перевезень та їхнє технічне забезпечення особливо впливають на обсяги міжнародних перевезень [6]. Транзитні перевезення вантажів всіма видами транспорту за січень – червень 2013 р. складають 58120,21 тис. т, в тому числі залізницею – 16585,98 тис. т [9].

Контрейлерні перевезення – це перевезення за визначеними маршрутами автопоїздів, автопричепів, автомобілів, напівпричепів, знімних автомобільних кузовів (у навантаженому або порожньому стані), завантажених одним відправником на станції відправлення на адресу одного одержувача на одну або декілька станцій призначення без переробки на шляху прямування на сортувальних станціях.

Актуальність розвитку такого виду перевезень пов'язана із можливістю забезпечувати: доставку вантажів відповідно до графіка руху поїзда (just in

time); безпеку перевезення за будь-яких погодних умов; скорочення часу проходження прикордонного та митного контролів; збереження транспортного засобу та економію палива; збереження автомобільних доріг; збереження навколишнього середовища; зниження ймовірності дорожньо-транспортних випадків, поліпшення обміну обсягів перевезень між видами транспорту, зниження собівартості перевезень, що підвищить конкурентоспроможність національних перевізників.

Міжнародний досвід свідчить, що найбільшій популярності контрейлерні маршрути набули у Європі, і, зокрема, в країнах Євросоюзу.

Однією з основних переваг, яка зумовлює вибір контрейлерного способу доставки вантажів вітчизняними та зарубіжними перевізниками, є значно нижча собівартість цих перевезень в порівнянні з автомобільними.

Існують різні варіанти розрахунку витрат на перевезення вантажу контрейлерним способом. В роботі [8] автор підкреслює, що при порівнянні приведених витрат на перевезення автомобільним і залізничним транспортом частина витрат за обома варіантами однакова. Тому досить порівнювати додаткові витрати автоперевізника при передачі автомобіля на залізницю з економією експлуатаційних витрат автоперевізника за контрейлерним варіантом. Визначається економічний ефект у автомобілістів від застосування контрейлерних перевезень.

В роботі [6] автор детально визначає складові вартості контрейлерних перевезень: витрати, пов'язані із зберіганням та охороною вантажів і автомобіля на терміналі, витрати на охорону контрейлерного поїзда на всьому шляху курсування маршруту; на обслуговування контрейлерного поїзда на технічних станціях, витрати на операції під час руху та обслуговування постійних пристроїв залізниць. Визначається собівартість

залізничної частини контрейлерних перевезень.

Зазначені вище варіанти розрахунку собівартості перевезень вантажів контрейлерним способом були зіставлені з вартістю перевезення вантажів автомобільним транспортом.

Розрахунок, запропонований в статті, дозволяє визначити вартість перевезень контрейлерним способом, а також перевезень вантажів в універсальних вагонах в залежності від маси вантажу та відстані, він враховує перевантаження вантажу з автотранспорту у вагон на станції відправлення та у зворотньому напрямку.

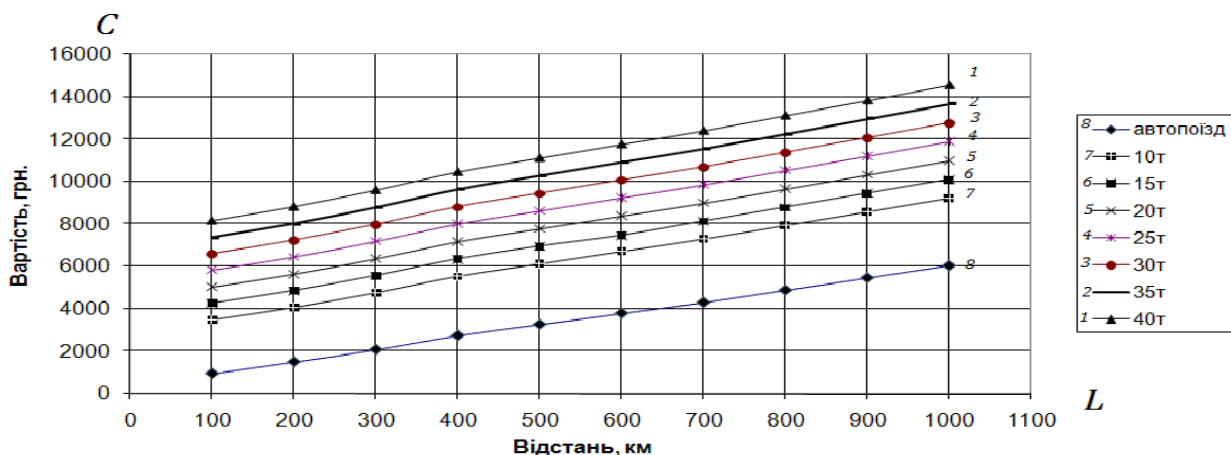


Рис. 1. Вартість перевезення вантажів контрейлерним способом та в універсальних вагонах

На рис. 1 подано графік вартості перевезення вантажів в універсальних вагонах масою від 10 до 40 т і автопоїзді масою 40 т. Дані для розрахунку вартості перевезень вантажів були взяті із [7]. Можна зробити висновки, що перевезення вантажів в автопоїзді значно економічніше, ніж в універсальних вагонах за рахунок непотреби перевантаження вантажу як при використанні універсальних вагонів. Економічний ефект на залізничному транспорті при організації контрейлерних перевезень досягається економією на можливості перевезення автопоїздів масою кожного по 40 т без перевантажувальних операцій.

Розрахунки виконані за формулою

$$\dot{A}_{\dot{a}\dot{o}\dot{o}} = g (n_{\dot{a}} \cdot C_1 + n_{\dot{o}\dot{o}} \cdot \tilde{N}_2) + \tilde{N}_{\dot{o}} \cdot K_{\dot{i}.. \dot{o}.},$$

де  $g$  – маса вантажу, що переміщується, т;

$n_e \cdot n_{np}$  – кількість вантажних операцій, що виконуються відповідно на станціях відправлення і призначення, грн;

$C_1, C_2$  – вартість виконання вантажних операцій на станціях відправлення і призначення, грн;

$\tilde{N}_o$  – вартість перевезення залізницями;

$K_{i..o.}$  – коефіцієнт підвищення тарифів.

Згідно з графіком найбільш економічним є варіант перевезень вантажів із застосуванням контрейлерних технологій.

В порівнянні з іншими технологіями горизонтального навантаження запропонована технологія в роботі [4] найбільш зручна, проста у використанні, а також сприяє можливості швидкого навантаження / розвантаження усього состава. При необхідності можливо завантажувати не весь залізничний поїзд, а тільки окремі платформи. В одному із варіантів горизонтального



завантаження / розвантаження з використанням торцевої рампи термін завантаження одного вантажного модуля складає близько 20 хв. Час вертикального перевантаження складає 4-5 хв. Але така технологія вимагає використання порталних кранів із спеціальними захватами або спеціально сконструйованих пневматичних стрілових навантажувачів великої вантажопідйомності. Вантажний модуль повинен мати спеціальні фітінги або канти для захоплення їх при завантаженні, а його конструкція повинна бути посилена.

В умовах зростаючого попиту на організацію перевезень в міжнародному сполученні важливе місце займає створення багатофункціональних мультимодальних термінальних комплексів, на території яких може виконуватись цикл технологічних операцій з передачі вантажу з одного транспортного засобу на інший, а також комплекс послуг експедиційного сервісу і вимог до вантажу комерційного та адміністративного характеру – митні операції, страхування та ін.

Контрейлерний термінал – технологічний комплекс, розташований на місцях загального / незагального користування, включає в себе необхідні елементи інженерної, транспортної та адміністративної інфраструктури для організації і обслуговування контрейлерних поїздів, який дозволяє на основі реалізації сучасних логістичних технологій надати власникам автотранспортних засобів і вантажів широкий спектр послуг із зберігання, підготовки, завантаження, розвантаження автопоїздів, автомобілів, автопричепів, напівпричепів та знімних автомобільних кузовів при організації контрейлерних перевезень.

В Україні побудова контрейлерних терміналів необхідна в великих транспортних вузлах зі зручним розташуванням під'їзних колій для різних видів транспорту (рис. 2): Київ, Одеса,

Львів, Дніпропетровськ, Луганськ, Донецьк, Харків і ін., а також в містах, які мають порти з виходом у Чорне та Азовське моря. На прикордонних станціях є теж необхідною побудова терміналів з митною обробкою вантажів. Це забезпечить прискорення проходження митного огляду, надання послуг зі збереження вантажів, а також необхідний сервіс і комплексність послуг.

Економічний ефект від використання термінального способу досягається за рахунок використання великотоннажних перевізних засобів, де питомі витрати енерго- та матеріалоємних ресурсів зведені до мінімуму. Завдяки цьому термінальний спосіб дозволяє використовувати ресурсозберігаючі технології, які зменшують витрати на транспортування і забезпечують стабільні ціни на вітчизняних та міжнародних перевезеннях.

На рис. 3 наведена схема запропонованого контрейлерного терміналу, який складається із зони в'їзду, зони накопичення, зони навантаження, зони вивантаження, зони виїзду та адміністративно-господарської зони.

Зона в'їзду призначена для накопичення АТЗ до терміналу, попереднього огляду та відеофіксації. Також розташовані спеціальні місця для контролю габариту і зважування транспортних засобів. Зона в'їзду включає зовнішню автостоянку, зону попереднього перегляду і ворота в'їзду автотранспорту з відео контролем. Організація руху в цій зоні здійснюється за допомогою дорожньої розмітки і регулювальних світлофорів.

Зона накопичення призначена для накопичення і підготовки АТЗ до навантаження для забезпечення навантаження-розвантаження у відведений нормативний час. Зона накопичення складається з навантажувальної рампи, а також автомобільних підходів до навантажувальної рампи.



Рис. 2. Залізничні маршрути Транс'європейської центральної транспортної осі (Україна)

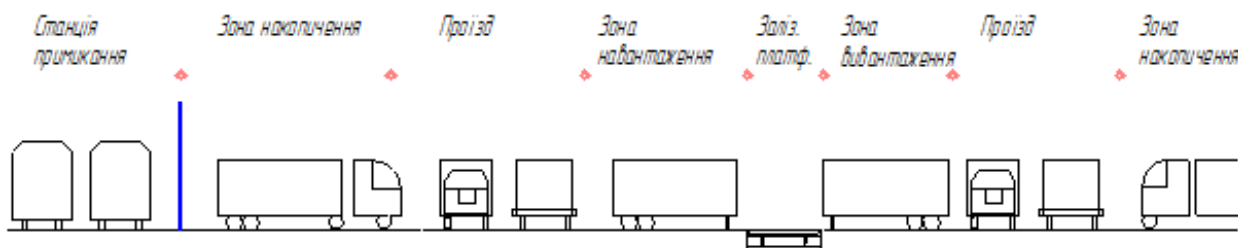


Рис. 3. Схема контрейлерного терміналу

У зоні навантаження розташовуються тільки АТЗ, які будуть навантажені на поїзд, який прибуває, що забезпечує швидке навантаження усього состава. Зона навантаження знаходиться вище платформи в порожньому стані для зручності переїзду на платформу.

Зона вивантаження призначена для вивантаження транспортних засобів з регулярного контрейлерного поїзда. Вона складається з торцевої рампи на всю довжину фронту навантаження/вивантаження і автомобільних під'їздів до неї.

Зона виїзду об'єднана із зоною в'їзду і включає в себе: автомобільні ворота, під'їзди до них. Організація руху в зоні виїзду здійснюється за допомогою дорожньої розмітки і регулювальних світлофорів.

Пропускна спроможність і стан автомобільних підходів повинні забезпечити транспортну доступність до терміналу з урахуванням нерівномірності прибуття автотранспорту впродовж доби і з урахуванням існуючої інтенсивності руху на цих ділянках.

**Висновки з досліджень і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Підвищення ефективності контейнерних перевезень буде забезпечено шляхом формування розвинутої мережі терміналів в Україні, які будуть розташовані в залежності від залізничних маршрутів Транс'європейської центральної транспортної осі. Наведена схема контейнерного терміналу.

Визначена вартість перевезень автопоїздів контейнерним способом, а також перевезень вантажів в універсальних вагонах в залежності від маси вантажу та відстані. Економічний ефект на залізничному транспорті при організації контейнерних перевезень досягається економією на можливості перевезення автопоїздів масою кожного по 40 т без перевантажувальних операцій.

### *Список використаних джерел*

1. Модернізаційні пріоритети реформування транспортно-дорожнього комплексу в Україні [Текст]. – К.: НІСД, 2013. – 32 с.
2. Соціально-економічна географія України [Текст] / за ред. О. Шаблія. – Львів, 1995.
3. Котенко, А.М. Визначення доцільності та моделювання контейнерних перевезень [Текст] / А.М. Котенко, П.С. Шилаєв, А.В. Світлична // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 137. – С. 11-17.
4. Котенко, А.М. Концепція організації контейнерних перевезень «на просторі 1520 і 1435 мм» [Текст] / А.М. Котенко, П.С. Шилаєв, А.В. Світлична // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 134. – С. 22-27.
5. Костюк, М.Д. Техніко-технологічне забезпечення інтермодальних та інтероперабельних перевезень [Текст] / М.Д. Костюк, Ю.В. Дьомін // Залізничний транспорт України. – 2009. – №3. – С. 3-10.
6. Сич, Є.М. Економічні аспекти контейнерно-контейнерного обслуговування клієнтури залізничного транспорту [Текст] / Є.М. Сич, Н.І. Богомоллова, М.М. Андрієнко, В.М. Кислий. – К., 2007. – 391 с.
7. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги [Текст] / під ред. М.В.Макаренка, В.В. Чорного, Ю.А.Меркулова. – К., 2009. – 198 с.
8. Шапкин, А.С. Выбор технико-технологических параметров системы контейнерных перевозок на железнодорожных направлениях сети [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.08 / А.С. Шапкин. М., 2005. – 24 с.
9. Транзитні перевезення вантажів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2013/tz/tranz/tranz\\_u/tranz0213\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2013/tz/tranz/tranz_u/tranz0213_u.htm).

---

Котенко Анатолій Миколаєвич, д-р техн. наук, професор кафедри управління вантажною і комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-85.

Світлична Аліна Володимирівна, аспірант кафедри управління вантажною і комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-85.

Шилаєв Павел Сергійович, кандидат техн. наук, асистент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-85.

Kitten A.M., PhD Professor of Management trucks and commercial work Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-85.

Svetlichnaya A.V., graduate of the Department of trucks and commercial work Ukraine State Academy of Railway Transport. tel. (057) 730-10-85.

Shylayev P.S., Ph.D.. Assistant of the Department of trucks and commercial work Ukraine State Academy of Railway Transport. tel. (057) 730-10-85.

---

УДК 656.13:339.13

## СУЧАСНИЙ СТАН ВПРОВАДЖЕННЯ ЛОГІСТИКИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ

Д-р техн. наук Д.В. Ломотько, асп. О.Ю. Кривич

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ЛОГИСТИКИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ УКРАИНЫ

Д-р техн. наук Д.В. Ломотько, асп. О.Ю. Кривич

## CURRENT STATUS OF IMPLEMENTATION OF LOGISTICS OF THE RAILWAYS OF UKRAINE

Dr. techn. science D. Lomotko, postgraduate O. Krivich

*Було проаналізовано роботу «УТЛЦ» (Український транспортно-логістичний центр) за дев'ять місяців 2013 року, виділені основні недоліки та шляхи подальшого підвищення ефективності використання рухомого складу.*

**Ключові слова:** логістика, логістичне управління, логістичний центр, матеріальний потік, інформаційний потік, ринкова економіка, якість транспортного обслуговування, господарська діяльність, інтеграційний підхід.

*Проанализирована работа «УТЛЦ» (Украинский транспортно-логистический центр) за девять месяцев 2013 года, выделены основные недостатки и пути дальнейшего повышения эффективности использования подвижного состава.*

**Ключевые слова:** логистика, логистическое управление, логистический центр, материальный поток, информационный поток, рыночная экономика, качество транспортного обслуживания, хозяйственная деятельность, интеграционный подход.

*The operation of "UTLC" (Ukrainian transport and logistics center) for the first 9 months of 2013 was analyzed, was found the main shortcomings and ways to further improve the using of rolling stock. During the first 9 months of 2013 in carriages with a sign SE "UTLC" was transported 105.6 million tons, more than the previous year by 0.4%. It should be noted that last year was a time of formation UTLC and period of conversion the property of the state railway companies. Today in operating UTLC is: over 45 thousand of gondola, more than 6 thousand - covered carriages, including working park - over 5 thousand carriages.*

**Keywords:** logistics, logistics management, logistics center, material flow, information flow, market economy, quality of service and transport, economic activity, the integration approach.

**Вступ.** Сучасною тенденцією розвитку і вдосконалення транспортної системи стало поширення логістики, логістичного управління, тобто всього комплексу послуг зі швидкої та якісної доставки товарів. Зростаюча вартість факторів виробництва, зокрема робочої сили, інфраструктури, в багатьох країнах

призводить до неефективності виробництва на національному рівні та сприяє переведенню його в інші країни. Визначальною стратегією діяльності на світових ринках є чіткість та висока швидкість оформлення угод. Іншими словами, ключовим моментом діяльності в

розвинених суспільствах стає посилена роль логістики.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** У число факторів, що визначають конкурентоспроможність продукції, крім ціни, входить організація швидких поставок, і це нерідко виявляється важливішим ціни. Відсутність гарантії на своєчасну доставку продукції призводить до відмови від угод незалежно від інших умов, у тому числі цінових. Відбулася зміна акцентів у ринковому попиті з більш низьких цін і значних запасів продукції на фактор часу, широку номенклатуру продукції, якісні показники. Конкурентні переваги компаніям дає логістичне управління, тобто повний пакет послуг при супроводі товару, що включає також інформацію про стан, місцезнаходження товару в реальний момент часу. При цьому вартість послуги (продукції) зростає через відсутність або затримки інформації [1].

Вичерпання потенціалу ефективності багатьох галузей пояснюється значним тимчасовим інтервалом між видобутком сировини і реалізацією продукції. Так, у промисловості країн Західної Європи він становить близько 2 % загального часу виробництва, на транспорті – 5 %, 93 %, що залишилися, припадають на різні стадії зберігання і переробки. Логістичний ланцюжок дозволяє подолати розрив, інтегруючи в загальний виробничий процес транспортно-закупівельну функцію [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останніми роками з'явилося чимало публікацій, які присвячені проблемам формування і функціонування логістичних систем. Під якісно новим кутом зору аналізується логістика професором МПТУ (м. Москва) Ф.М. Трихунковим [3]. Суть досліджень Т.В. Бутько полягає у розв'язанні задачі оптимального розміщення у вузлі логістичного центру та виборі його параметрів [4]. Питання оптимізації

логістичних підходів розкриті у численних публікаціях А.М. Гаджинського [5], В.Я. Негрея [6].

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою публікації є аналіз існуючого стану впровадження логістики на залізничному транспорті, адже розгляд підприємства з точки зору логістичної організації допомагає керувати процесами створення цінностей з прийнятними для споживача витратами.

**Основна частина дослідження.** З початку XXI століття на українських залізницях зі створення логістичних центрів проводиться інтенсивна робота. Логістичні центри – це організаційно-підприємницькі структури з найбільш прогресивними способами надання вантажовідправнику повного комплексу транспортних послуг [7].

Державне підприємство "Український транспортно-логістичний центр" (ДП "УТЛЦ"), що було створене у листопаді 2011 року, на підставі договорів з власниками рухомого складу і вантажовідправниками здійснює оперування парком вагонів державних вагонних компаній на території України. Пріоритетним завданням для нього є задоволення всіх заявок на перевезення, що надходять від вантажовласників, а також оптимізація перевізного процесу для мінімізації порожнього пробігу і обороту вагонів [8].

За дев'ять місяців 2013 року у вагонах із ознакою ДП «УТЛЦ» було перевезено 105,6 млн т, що більше минулорічного показника на 0,4 %.

Станом на 30.09.2013 року укладено 999 договорів, у тому числі:

- про надання послуг з організації перевезень вантажів у власних напіввагонах – 522;
- про надання послуг з організації перевезень вантажів у власних критих вагонах – 331;

- про надання послуг з організації перевезень вантажів на власних транспортерах – 18;

- про надання послуг з організації перевезень транзитних вантажів територією України у власних напіввагонах – 61;

- про надання послуг з організації перевезень транзитних вантажів територією України у власних критих вагонах – 51 [8].

На сьогоднішній день в оперуванні УТЛЦ знаходиться: понад 45 тис. напіввагонів, з них у робочому парку - більше 32 тис., понад 6 тис. - криті вагони, у тому числі в робочому парку - понад 5 тис. вагонів [9].

На рис. 1 наведені дані щодо навантаження вагонів УТЛЦ на Південній залізниці за основними видами номенклатури вантажів.

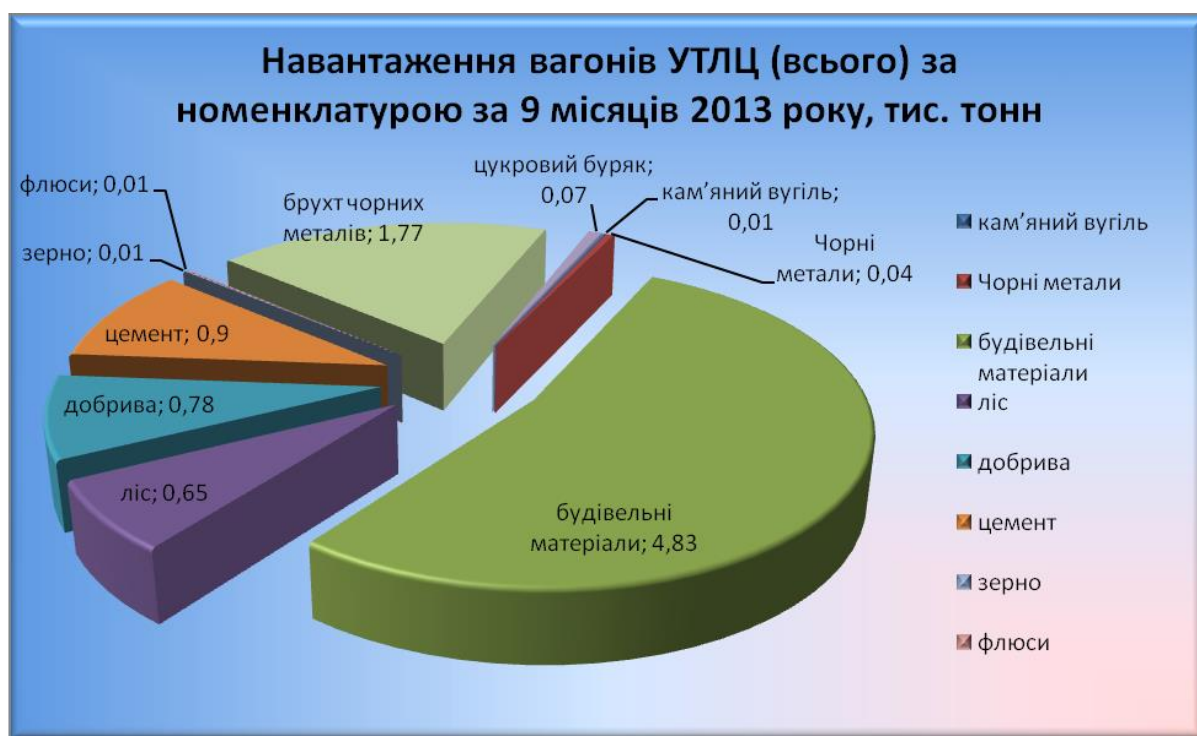


Рис. 1. Навантаження вагонів за номенклатурою вантажів, тис. т

Найбільша частка припадає на будівельні матеріали, ліс, брухт, цемент та добрива.

Слід зауважити, що минулий рік був часом становлення УТЛЦ та періодом переведення рухомого складу у власність державних вагонних компаній. Адже створювалася безліч всіляких логістичних схем для найбільш ефективного використання вагонів. Всі ці схеми мають тенденцію до зміни, адже логістика українських підприємств постійно розвивається, відповідно необхідне коригування напрямків перевезень. Також у

цей період відбувалося переведення рухомого складу у власність державних вагонних компаній. Іншими словами, формувався парк, яким сьогодні оперує центр [9].

Так, власниками українських напіввагонів став ДП "Дарницький вагоноремонтний завод" (ДП "ДВРЗ") та ДП "Український державний центр з експлуатації спеціалізованих вагонів" (ДП "Укрспецвагон"), які разом з вагонами отримали також у своє розпорядження серйозну ремонтну базу, дислоковану в регіоні масового навантаження на

Донецькій і Придніпровській залізницях. Крім того, підприємства мають ліцензії на будівництво нового рухомого складу і необхідні потужності для його виробництва [8].

Більше 10 тисяч критих вагонів знаходяться у власності Державного підприємства "Український державний центр залізничних рефрижераторних перевезень "Укррефтранс" (ДП УДЦЗРП "Укррефтранс"), який виконує плановий і капітальний види ремонтів цих вагонів з продовженням їх терміну служби, а також виконує програму зі збільшення парку власних критих вагонів [8].

Спеціалізований рухомий склад, а саме мінераловози, хопер - цементовози, вагони - термоси і цистерни знаходяться у власності ДП "Стрийський вагоноремонтний завод" (ДП "СВРЗ").

Власні транспортери знаходяться у власності Державного підприємства

"Український державний центр транспортного сервісу "Ліски" (ДП "УДЦТС "Ліски") [8].

Одним із важливих комплексних якісних показників роботи залізниці є обіг вагона, який відображає результати технічної, економічної та організаторської діяльності усіх ланок залізниці.

На рис. 2 подано обіг вагона УТЛЦ у розрізі всіх його складових за дев'ять місяців 2012 та 2013 років (дані наведені по Південній залізниці).

З нижченаведеного рисунка видно, що загалом обіг вагона УТЛЦ на Південній залізниці уповільнений на 0,25 доби за рахунок уповільнення обігу порожнього вагона. У той час як обіг навантаженого вагона скорочений за рахунок усіх його складових (обігу місцевого та транзитного вагона).

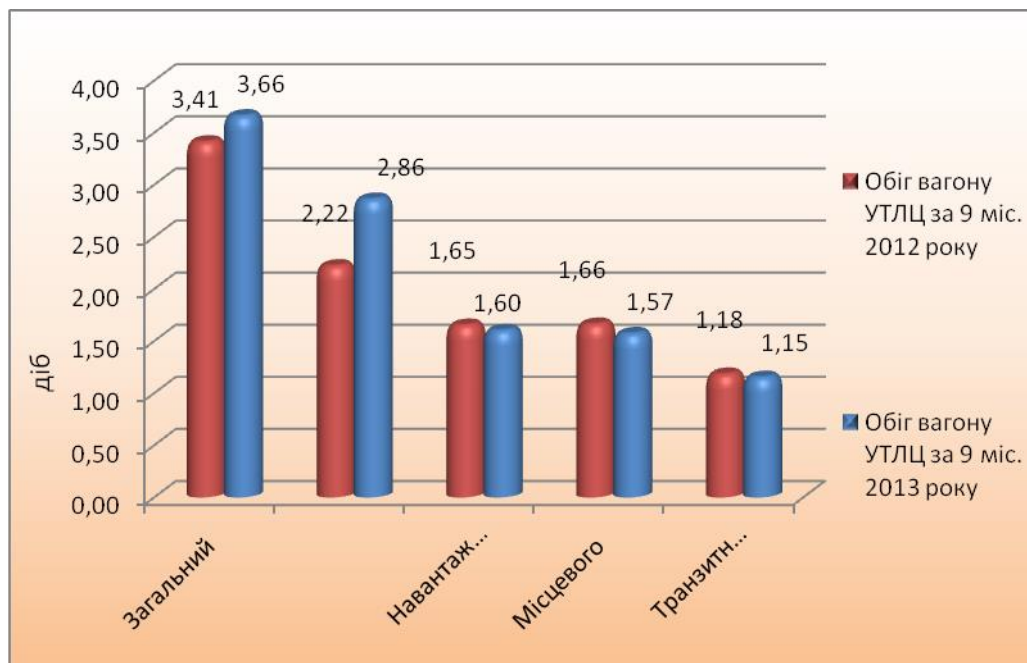


Рис. 2. Обіг вагона за дев'ять місяців 2012 та 2013 років, сер./доб

Обіг порожнього вагона – це час знаходження вагона у порожньому стані на підрозділі. Він визначається як частка від ділення робочого парку порожніх вагонів

на роботу порожніх, тобто на суму навантаження та здавання порожніх вагонів до сусідньої залізниці [10]:

$$\vartheta_{\text{пор}} = \frac{n_{\text{пор}}}{U_{\text{пор}}} = \frac{n_{\text{пор}}}{U_{\text{н}} + U_{\text{зд}}}, \quad (1)$$

де  $\vartheta_{\text{пор}}$  – обіг порожнього вагона;

$n_{\text{пор}}$  – кількість порожніх вагонів у робочому парку;

$U_{\text{пор}}$  – робота порожніх вагонів;

$U_{\text{н}}$  – навантаження;

$U_{\text{зд}}^{\text{пор}}$  – здавання порожніх вагонів.

За умови незмінності усіх інших складових обігу порожнього вагона зниження утримання робочого парку порожніх вагонів у порівнянні з 2012 роком на 14,5% призвело до прискорення обігу порожнього вагона на 0,32 доби. У той час як зменшення навантаження на 37,3% уповільнило обіг порожнього вагона на 0,43 доби, а зменшення здачі порожніх вагонів на 30,8% – на 0,47 доби.

Тож можна зробити висновок, що частка впливу роботи порожнього вагона (навантаження та здавання порожніх) є більшою за робочий парк, і саме зменшення роботи, головним чином, призвело до уповільнення обігу.

Кількість перевитрачених вагоно-годин у зв'язку із збільшенням обігу вагона можна визначити за формулою [10]

$$П = U (\vartheta' - \vartheta''), \quad (2)$$

де  $U$  – робота залізниці;

$\vartheta'$  – фактичне виконання обігу вагона (год);

$\vartheta''$  – планове завдання обігу вагона (год);

$$П = 564(87,84 - 81,84) = 3384 \text{ ваг.год.}$$

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Прискорення обігу

вагона – найважливіше завдання у боротьбі за поліпшення роботи залізничного транспорту. Шляхи подальшого прискорення обігу вагона - скорочення навантаженого рейсу вагона шляхом усунення нераціональних перевезень; скорочення порожнього пробігу вагонів; комплексна механізація навантажувально-розвантажувальних робіт і скорочення простою вагонів під вантажними операціями; подальше підвищення швидкості руху вантажних поїздів; скорочення їх простоїв на станціях; формування поїздів з максимальною вантажною масою, вдосконалення всієї системи управління залізничним транспортом.

Підвищити ефективність роботи насамперед допоможе забезпечення максимальної маршрутизації з боку вантажовідправників. Хоч на теперішній день усі традиційні напрямки максимально маршрутизовані, але ще залишається резерв – прискорити обіг вагона дозволить формування східчастих маршрутів з декількох пунктів навантаження. Окрім того, необхідно посилити уже наявну маршрутизацію порожніх вагонів, оскільки вона не завжди відбувається оптимально-розбірні поїзди з включенням порожніх вагонів нерідко йдуть з переробкою на одній-двох, а іноді й трьох гірках сортувальних станцій, що затримує вагони у русі [9].

На нинішньому етапі дуже важливо, щоб постійні напрямки перевезень клялися на жорсткі графікові нитки. Це дасть можливість усім учасникам перевезень чітко розуміти, коли рухомий склад відправиться з пункту навантаження і коли прибуде в пункт вивантаження. Таким чином, жорстка графікова дисципліна дозволить уникнути непродуктивного простою вагонів. Такий захід, з одного боку, підвищить ефективність роботи, а з іншого – «УТЛЦ», як державний перевізник, продемонструє вантажовід-



правникам свої можливості щодо терміналів доставки вантажів.

Також однією з головних задач є забезпечення контролю за вірогідністю

електронних заявок клієнтів на подачу вагонів під навантаження та адресне їх забезпечення [9].

### *Список використаних джерел*

1. Плужников, К.И. Транспортные условия контрактов, транспортная продукция и цена товара [Текст] / К.И. Плужников, Ю.А. Чунталова // Бюллетень транспортной информации (БТИ). – 2002. – № 7. – С. 45.
2. Левиков, Г.А. Глобализация мировой экономики и логистика [Текст] / Г.А. Левиков // Бюлл. транспортной информации (БТИ). – 2002. – № 8. – С.112.
3. Трихунков, Ф.М. Транспортное производство в условиях рынка. Качество и эффективность [Текст] / Ф.М. Трихунков. – М.: Транспорт, 2003.
4. Бутько, Т.В. Удосконалення процесу забезпечення групами порожніх вагонів припортового залізничного вузла [Текст] / Т.В. Бутько, О.О. Берко // зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 112. – С. 1-8.
5. Гаджинский, А.М. Практикум по логистике [Текст] / А.М. Гаджинский. – М.: Издательско-книго-торговый центр «Маркетинг», 2001.
6. Негрей, В.Я. Комплексная механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных и складских работ на железнодорожном транспорте [Текст]: учеб. пособие / В.Я. Негрей, Н.П. Берлин, Н.П. Негрей; [М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.]. – Гомель: БелГУТ, 2010. – 227 с.
7. Гриценко, С.И. Логистическое инновационное обеспечение стратегии развития железнодорожного транспорта Украины [Текст] / С.И. Гриценко // Российское предпринимательство. – 2006. – № 1 (73). – С. 73-78.
8. Транспортно-логістичний центр [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www/URL: http://www.pz.gov.ua](http://www.pz.gov.ua).
9. Андреева, Л.А. Жизнь от «колеса» // Магистраль. – № 69 (1855), 11-17 вересня 2013 р. – С. 5.
10. Вергун, О.Ф. Рекомендації з техніко-економічних розрахунків експлуатаційної роботи залізниць [Текст] / Розроб.: О.Ф.Вергун, Н.В.Липовець, Л.Ю.Гаркуша. – К.: Транспорт України, 2002. – 64 с.

---

Ломотко Денис Вікторович, д-р техн. наук, професор, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел. (057) 771-46-83. E-mail: den@kart.edu.ua

Кривич Ольга Юріївна, аспірант кафедри управління вантажною та комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-85. E-mail: oljushka\_k@mail.ru

Lomotko Denis V., dr sc., professor, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057) 771-46-83. E-mail: den@kart.edu.ua

Krivich Olga, postgraduate chair of management of freight and commercial work Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-85. E-mail: oljushka\_k@mail.ru

УДК 656.212.7.073

**ПЕРСПЕКТИВИ ОРГАНІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТЕРМІНАЛІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ**

Канд. техн. наук В.В. Петрушов

**ПЕРСПЕКТИВЫ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛОВ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ**

Канд. техн. наук В.В. Петрушов

**PROSPECTS OF ORGANIZATION NETWORK OF MULTIMODAL TERMINALS IN UKRAINIAN AREA**

Candidate tehn. sciences V. Petrushov

*У статті наведено аналіз сучасного стану комбінованих перевезень в Україні, розглянута технологія взаємодії різних видів транспорту при використанні логістичних принципів, а також можливість організації мережі мультимодальних терміналів.*

**Ключові слова:** мультимодальні термінали, логістичний ланцюг, технологічний графік, інтермодальні перевезення.

*В статье приведен анализ современного состояния комбинированных перевозок в Украине, рассмотрена технология взаимодействия разных видов транспорта при использовании логистических принципов, а также возможность организации сети мультимодальных терминалов.*

**Ключевые слова:** мультимодальные терминалы, логистическая цепочка, технологический график, интермодальные перевозки.

*The article is an analysis of the current state of combined transport in Ukraine. The technology of the interaction of different types of transport using logistic principles, as well as the possibility of organizing a network of multimodal terminals.*

*The questions about the development of a single graphics technology that optimizes the time to file and cleaning vehicles. Also developed a classification of multi-modal terminals, depending on the volume of work performed.*

**Keywords:** multi-modal terminals, the supply chain, process chart, intermodal transportation.

**Вступ.** У сучасних умовах розвитку ринкової економіки та міжнародної торгівлі транспорт відіграє дуже важливу роль. На передній план виходять логістичні принципи: доставлення «від дверей до дверей», «точно в строк» та «у повному обсязі». Однак для більшості клієнтів виконати ці принципи за допомогою перевезень одним видом транспорту (унімодальні перевезення) не можливо. Тому високих темпів набирає розвиток

комплексних перевезень, тобто мультимодальних та інтермодальних. Ці перевезення передбачають забезпечення чіткої взаємодії між різними видами транспорту, які беруть участь у процесі транспортування вантажу. Тому існує потреба в організації єдиних центрів, які будуть координувати цю взаємодію, тобто логістичних або мультимодальних терміналів [1].

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Перевезення, які здійснюються різними видами транспорту, але за одним перевізним документом, набувають зараз значного поширення. Такий спосіб дає змогу економити час на оформлення документів при перевалці вантажів. Однак виникають певні труднощі: існуючі перевалочні комплекси важко назвати мультимодальними терміналами у повному сенсі цього слова, швидше це великі

складські комплекси, у яких є під'їзні шляхи та відповідні технічні засоби. Однак немає основного – узгодженого технологічного процесу, який дав би змогу оптимізувати обмінні операції між різними видами транспорту для скорочення простоїв рухомого складу.

Аналіз часу знаходження транспортних одиниць на існуючих терміналах показує, як він розподіляється за кожними технологічними операціями (рисунок).

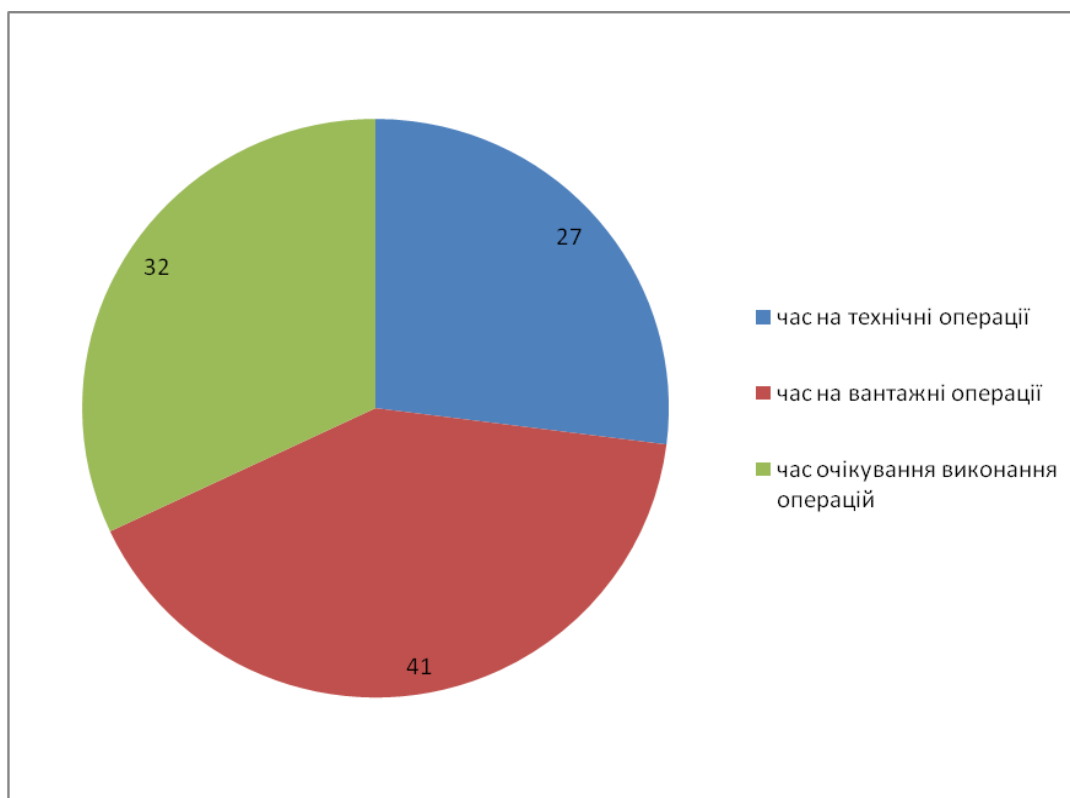


Рис. 1. Розподіл часу на технологічні операції на сучасному терміналі

Виходячи з наведених даних бачимо, що третину часу рухомий склад перебуває в очікуванні подавання для виконання вантажних операцій. Це відбувається через те, що графік виконання технологічних операцій розробляється для кожного з видів транспорту окремо.

Однак проаналізувавши розробки, які були виконані у цьому напрямку, можна зробити такі висновки:

- логістичні центри та їх різновид «сухі порти» не розглядаються у розрізі міжнародних перевезень та міжнародних транспортних коридорів;

- логістичні ланцюги розглядаються, як правило, для кожного виду транспорту окремо;

- при оптимізації основну увагу приділяють навантажувально-розвантажувальним операціям, а технологія перевезень та простої транспортних

одиниць через нетехнологічні операції розглядаються лише поверхнево;

- на даний момент усі варіанти єдиного технологічного процесу недостатньо враховують взаємодію різних видів транспорту (розроблені лише контактні графіки для взаємодії під'їзних та магістральних колій або лише взаємодія атомобільного транспорту та залізниці).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У деяких сучасних розробках [2,3] запропонована ідея логістичного центру «сухий порт». У класичному змісті [4] ця технологія передбачає винесення операцій з контейнерами, вагонами або автомобілями за межі морського або річкового порту. Це дає можливість вивільнити припортові території від транспортних одиниць, які простоюють в очікуванні обробки, зменшити витрати на обслуговування та скоротити час на нетехнологічні операції. Однак у сучасних умовах [5] «сухий порт» починає розглядатися як термінал, відділений від водного порту. Це дає можливість більш вільно використовувати цей термін, причому він усе частіше характеризує взаємодію атомобільного та залізничного транспорту.

Ідея подання мультимодального терміналу як логістичного центру наведена у [6]. У цій роботі аналізуються потужності контейнерних терміналів та можливості покращення обслуговування при використанні логістичних принципів у процесі узгодження роботи різних видів транспорту (залізничного, атомобільного, морського).

**Визначення мети та задачі дослідження.** Проаналізувавши існуючу ситуацію, можна сформулювати мету дослідження як розроблення моделі організації мережі мульти- та інтермодальних терміналів. Задачі полягають у розробленні єдиного технологічного графіка роботи такого терміналу, визначенні його потужності та розташування на транспортній мережі України.

### Основна частина дослідження.

Технологічний графік повинен враховувати особливості виконання вантажних операцій з відповідними рухомими одиницями транспорту для кожного виду транспорту. Найбільші проблеми виникають через різну вантажомісткість транспортних засобів. Так, середня вантажопідйомність атомобіля складає 10 т, залізничного вагона – 60 т, а корабля – від 5 000 т. Звичайно це призводить до того, що час на виконання вантажних операцій буде різний. У загальному вигляді цей час можна розрахувати таким чином:

$$t_{вант} = \frac{m_{мз}}{m_{нав}}, \quad (1)$$

де  $m_{мз}$  - вантажомісткість транспортного засобу, т;

$m_{нав}$  - навантажувальна потужність терміналу для відповідного виду транспорту, т/год.

Тому кількість транспортних засобів, які можуть бути завантажені протягом доби, складає

$$N = \left\lceil \frac{24 - t_{мех}}{t_{вант}} \right\rceil, \quad (2)$$

де  $t_{мех}$  - час на виконання операцій, які не пов'язані з навантаженням та вивантаженням.

Виходячи з вищевказаного можна зробити висновок, що кількість транспортних засобів різного виду транспорту, які можуть бути оброблені протягом доби, не буде однаковою.

Виходячи з того, що майже третина часу на сучасному терміналі витрачається на очікування виконання вантажних операцій, необхідно розглянути більш детально, з яких елементів складається цей простій.

Час на очікування виконання операцій можна розділити на *технологічний* (тобто передбачений технологією роботи) і *нетехнологічний* (тобто простій, який виникає через неузгодженість у діях). До першого виду можна віднести: простої, пов'язані з необхідністю переміщення НРМ; час, що необхідний для подавання рухомих одиниць для виконання операцій; час на додаткові операції, пов'язані з оформленням необхідних документів перед виконанням операцій. Другий вид – це додаткові простої, що виникають через відсутність рухомих одиниць під навантаження, відсутність вантажу, зайві простої через неможливість подавання рухомих одиниць (наприклад, відсутність локомотива для подавання вагонів) і т.п. Саме через це виникають такі значні простої рухомих одиниць на сучасних перевантажувальних комплексах.

Така ситуація зумовлена у першу чергу самим принципом організації роботи. На терміналах, які працюють зараз на території України, як правило, застосовується принцип роздільного управління, тобто кожним видом транспорту керує окремий працівник. Звичайно, при такій схемі різко зростає можливість гнучкого реагування, а також «вмикається» принцип розділення відповідальності між цими керівниками. Щоб запобігти таким ситуаціям, необхідно використовувати принципи *а-модальності*, тобто єдиного диспетчерського управління.

Переваги, які надасть такий спосіб:

- 1) концентрація управління та відповідальності в одних руках;
- 2) скорочення витрат на утримання управлінського персоналу;
- 3) можливість більш швидкого та гнучкого реагування на проблеми, що виникають у роботі.

Результатом упровадження єдиного диспетчерського центру повинно стати скорочення нетехнологічних (а у перспективі і технологічних) простоїв рухомих одиниць.

Оскільки мультимодальні термінали призначені для обслуговування значних вантажних потоків, що курсують різними видами транспорту, найбільш раціонально розташовувати їх на місцях перетину транспортних потоків. Як найкраще для цього підходять транспортні вузли, які вже мають деяку інфраструктуру, яка дає змогу здійснювати взаємодію різних видів транспорту.

Міжнародний досвід організації мультимодальних терміналів у Європі, США, Китаї свідчить про те, що для забезпечення безперебійної взаємодії різних видів транспорту необхідно забезпечувати чітке виконання вантажних, технічних та комерційних операцій. На даний момент існують такі типи терміналів відповідно до видів транспорту:

- 1) автомобільно-залізничний;
- 2) автомобільно-водний;
- 3) залізнично-водний;
- 4) залізнично-автомобільно-водний;
- 5) залізнично-автомобільно-повітряний.

Виходячи з того, які види транспорту обслуговує термінал, він повинен мати відповідні пристрої для приймання рухомих одиниць (залізничні колії, автошляхи, портові пристані, злітно-посадочні смуги), пристрої для виконання вантажних операцій та для обслуговування клієнтів. Сучасні технології перевантаження передбачають два типи обслуговування:

- 1) крос-докінг, або пряме перевантаження;
- 2) перевантаження через склад.

Виходячи з того, яка технологія переважає в роботі терміналу, розраховуються необхідні складські площі, кількість навантажувально-розвантажувальних пристроїв та обслуговуючого персоналу. Тому термінал можна описати параметричною функцією

$$T = (P, N_{нрм}, N_{пр}), \quad (3)$$

де  $P$  – площа складських приміщень, яка являє собою сумарну площу платформ для прямого перевантаження та складів, що призначені для тривалого зберігання вантажу;

$N_{нрм}$  – кількість навантажувально-розвантажувальних машин;

$N_{пр}$  – кількість працівників терміналу, які обслуговують вантажопотік.

Основною проблемою існуючих терміналів з обслуговування різних видів транспорту є відсутність при їх управлінні логістичних принципів. Кожен вид транспорту обслуговується майже автономно і це призводить до значних простоїв рухомого складу, неповного використання потужностей та ускладнення процесу обробки вантажу. Тому для ефективної роботи терміналу необхідна організація логістичного центру, який буде координувати діяльність комплексу для отримання максимального прибутку.

Створення мережі мультимодальних терміналів спрямоване на прискорення процесу транспортування вантажу в логістичній моделі «від дверей до дверей». У такій системі перевізник, що здійснює доставлення вантажу, може надати більш якісні послуги та більш оперативно керувати процесом транспортування.

Для створення логістичного ланцюга необхідно вичленити основні операції, які здійснюються в процесі доставлення вантажу, і встановити зв'язки між ними. Це дає змогу організувати координацію дій усіх видів транспорту. Для чіткої взаємодії слід розробити графік єдиного технологічного процесу. Цей графік дасть змогу встановити час на виконання всіх необхідних операцій для кожного виду транспорту.

Система мультимодальних терміналів призначена для обслуговування вантажопотоків, які переміщуються по основних напрямках. У першу чергу необхідно забезпечити обслуговування міжнародних потоків, які переміщуються

через територію України. Тому основні термінали необхідно розташовувати на маршруті прямування основних транзитних потоків, що прямують через міжнародні транспортні коридори. Вони стануть віссю мультимодальної мережі терміналів, від якої будуть розподілятися менш значущі напрямки по інших регіонах.

Основними завданнями системи мультимодальних терміналів є:

1. Покращення взаємодії різних видів транспорту, які беруть участь у перевезенні вантажу.

2. Збільшення обсягів прямих змішаних перевезень як усередині країни, так і у міжнародному сполученні.

3. Концентрація роботи з вантажем у великих комплексах, що дає змогу зменшувати накладні витрати та забезпечувати більш розвинену інфраструктуру.

4. Створення єдиної системи документообігу усередині мережі, що дасть можливість прискорення обробки вантажів.

5. Створення «зеленого коридора» для транзитних вантажів, що перевозяться у рамках міжнародних транспортних коридорів.

6. Реалізація логістичних принципів «від дверей до дверей», «доставлення точно в строк» та «у повному обсязі».

Для реалізації цих завдань необхідно створити єдину мережу мультимодальних терміналів, поєднаних між собою технологічними та інформаційними зв'язками. Відповідно до функцій та розмірів термінали можна класифікувати таким чином:

1) термінали класу А – це термінали, які мають великі площі та переробляють значні вантажопотоки. У таких центрах є значні обсяги як перевантаження за прямим варіантом, так і складування вантажу;

2) термінали класу В. Такі термінали переробляють значні обсяги вантажопотоків, але мають незначні складські площі. Це означає, що більша

частина вантажу переробляється за прямим варіантом;

3) термінали класу С – це комплекси з відносно невеликими обсягами вантажу та складськими площами.

Виходячи з вищенаведеного можна зробити висновок, що термінали класу А повинні розташовуватися у місцях, де спостерігається концентрація вантажовідправників та вантажоодержувачів, тобто у великих транспортних вузлах (Харків, Донецьк, Дніпропетровськ). Термінали класу В найбільш доцільно розташовувати на перехрещенні значних транзитних вантажопотоків або у точках перевантаження з одного виду транспорту на інший, причому основним питанням є забезпечення технології крос-докінгу (вузли на входних точках мережі або у місцях, де відбувається інтенсивне перевантаження на інші види транспорту). Термінали останнього класу розташовуються у невеликих вузлах та у місцях концентрації потоків невеликих обсягів (переважно в аграрних районах).

Виходячи з вищенаведеного постає задача про визначення оптимальної конфігурації мережі. Для її вирішення пропонується використання теорії графів [7]. За вершини приймаються мультимодальні термінали, а за ребра – з'єднувальні шляхи (автомобільні, залізничні).

Теорія графів дає можливість сформулювати мережу таким чином, щоб досягнути мінімальних капітальних та експлуатаційних витрат. Для вирішення такої задачі доцільно використовувати граф типу «дерево», тобто граф, у якому вершини поєднані таким чином, що відсутні цикли. У такому випадку сумарна довжина шляхів буде мінімальною, тому і капітальні витрати будуть зведені до мінімуму.

Мережа мультимодальних терміналів може бути описана формулою

$$F(Q) = f(V_{\text{терм}}, L_3, t_{\text{пер}}) \rightarrow \max, \quad (4)$$

де  $Q$  – розмір вантажопотоку, який переробляється мережею мультимодальних терміналів, т;

$V_{\text{терм}}$  – кількість терміналів у мережі, які беруть участь у переробці вантажопотоку;

$L_3$  – довжина з'єднувальних колій між терміналами, км;

$t_{\text{пер}}$  – час на переміщення вантажопотоку між терміналами, од. часу.

Тобто задача полягає у створенні такої мережі мультимодальних терміналів, яка б забезпечила максимальну пропускну спроможність, тобто перевезення максимальної кількості вантажу. У той же час цю задачу можна інтерпретувати інакше: визначити максимальну кількість вантажу, яка може бути перевезена через існуючу кількість терміналів, або прокласти маршрут таким чином, щоб відстань перевезення була мінімальною. Такі задачі можна вирішувати за допомогою графа типу екстремального дерева.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** У підсумку можна зробити певні висновки:

1. Створення мережі мультимодальних терміналів на маршруті переміщення імпортного та експортного вагонопотоку дасть змогу прискорити його просування, а також покращити обслуговування клієнтів за рахунок надання комплексних послуг за схемами «доставлення від дверей до дверей», «точно в строк» та «у повному обсязі». Збільшення обсягів інтермодальних перевезень дасть змогу залучити додаткові обсяги вантажопотоків, що можливо досягнути за рахунок зменшення собівартості перевезення (за умови скорочення експлуатаційних витрат на обслуговування потоків у місцях перевантаження).

2. Вибір місця розташування мультимодального терміналу повинен здійснюватися не тільки виходячи з розвитку інфраструктури (як пропонується у багатьох роботах – у транспортних вузлах), а й урахуваючи переважні маршрути, які проходять по основних напрямках. Не виключені випадки, коли створення окремого терміналу є більш ефективним, ніж використання існуючих потужностей.

3. Нормальне функціонування мережі терміналів неможливе без створення єдиної інформаційно-керуючої системи, яка б

давала змогу координувати їх діяльність та перерозподіляти вантажопотоки.

4. Усі термінали можуть розподілятися на класи у залежності від обсягів роботи, які вони виконують. Залежно від того, до якого класу належить термінал, розробляється відповідна технологія роботи.

5. Для вирішення задачі щодо розташування терміналів на мережі доцільно використовувати граф типу екстремального дерева. Такий граф дає можливість також вирішувати задачу про максимальний обсяг вантажопотоку, який може бути перероблений мережею.

### *Список використаних джерел*

1. Ломотько, Д.В. Формування транспортного процесу залізниць України на базі логістичних принципів [Текст]: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.22.01/Ломотько Денис Вікторович. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 38 с.

2. Панкратов, В.І. Організація та управління системою промислового залізничного транспорту на основі принципів логістики [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.01/Панкратов Володимир Іванович. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – 20 с.

3. Бауліна, Г.С. Удосконалення роботи прикордонних передавальних станцій на основі автоматизованої технології управління вагонопотоками [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.01/Бауліна Ганна Сергіївна. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – 20 с.

4. Höltgen, D. Terminals, intermodal logistics centres and European infrastructure policy [Текст]/D. Höltgen //Dissertation, European Centre for Infrastructure Studies.

5. Панова, Ю.Н. Факторы строительства тыловых контейнерных терминалов [Текст] / Ю.Н. Панова, Е.К. Коровяковский // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2012. – № 1. – С. 103-112.

6. Нерман, А.А. Логистические методы и технологии организации и планирования работы контейнерного терминала [Текст]: автореф. дисс... канд. экон. наук / А.А. Нерман. – СПб., 2009. – 19 с.

7. Сигорский, В.П. Математический аппарат инженера [Текст] / В.П. Сигорский. – К.: Техника, 1975. – 766 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.В.Лаврухін

---

Петрушов Василь Володимирович, кандидат техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88. E-mail: [vv1\\_81@mail.ru](mailto:vv1_81@mail.ru)

Petrushov Vasily Vladimirovich, candidate tehn., assistant of management of the operational work of the Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-88. E-mail: [vv1\\_81@mail.ru](mailto:vv1_81@mail.ru)



---

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ

---

УДК 629.421.4

### ПОБУДОВА ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ВІРТУАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ

Д-р техн. наук О.В. Устенко

### ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВИРТУАЛЬНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

Д-р техн. наук А.В. Устенко

### CONSTRUCTION OF DYNAMIC MODEL OF VIRTUAL INFORMATIVE SPACE

Doct. of techn. sciences O. Ustenko

*Пропонується концепція інтегрованого управління ресурсами, що розроблена для конфігурації та переконфігурації інформаційних систем віртуального локомотиворемонтного підприємства, яка частково базується на інструментарії динамічного моделювання. Розглянуто переваги при побудові комплексної інтегрованої системи. Запропонована динамічна модель віртуального інформаційного простору та методи побудови Управління спільними віртуальними проектами.*

**Ключові слова:** віртуальне підприємство, комплексна інтегрована система.

*Предлагается концепция интегрированного управления ресурсами, разработанная для конфигурации и переконфигурации информационных систем виртуального локомотиворемонтного предприятия, которая частично базируется на инструментарию динамического моделирования. Рассмотрены преимущества при построении комплексной интегрированной системы. Предложена динамическая модель виртуального информационного пространства и методы построения Управления общими виртуальными проектами (УОВП).*

**Ключевые слова:** виртуальное предприятие, комплексная интегрированная система.

*Conception of computer-integrated management resources is offered, that developed for configuration and wears away configurations of the informative systems of virtual repair enterprises. She is partly based on the tool of dynamic design. The considered advantages are at the construction of the complex computer-integrated system. The dynamic model of virtual informative space and methods of construction of Management General Virtual Projects is offered.*

**Keywords:** virtual enterprises, complex computer-integrated system.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими та практичними завданнями.** Загальна схема робіт, пов'язаних зі створенням віртуальних підприємств (ВП) для

експлуатації і ремонту тягового рухомого складу, складається з трьох етапів:

1) розроблення наукових підходів і методичних рекомендацій зі створення віртуального підприємства;

2) побудова віртуального підприємства;

3) експлуатація віртуального підприємства.

Упровадженню конкретних віртуальних локомотиворемонтних підприємств передують роботи, які пов'язані із розробленням наукових підходів до створення таких підприємств і здійснюються на першому етапі. Окремі наукові і практичні результати можуть бути узагальнені і сформульовані у вигляді загальної теорії створення віртуальних підприємств на основі останніх досягнень науки управління й організації, а також на підставі наявного досвіду створення віртуальних підприємств різної орієнтації [1]. Теорія створення ВП охоплює питання визначення і класифікації віртуальних підприємств, принципи їх створення і функціонування, підходи до управління, економіко-математичні моделі і методи, типові компоненти і засоби організаційної, технічної та інформаційно-технологічної підтримки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивчаючи підприємства, було виявлено, що на більшості з них діє структура управління, що історично склалася, яка не відповідає сучасним вимогам організації виробництва і всіх видів фінансово-господарської діяльності. Рівень автоматизації управління на цих підприємствах обмежується вирішенням небагатьох локальних завдань обліково-звітного характеру на базі морально застарілих апаратно-програмних комплексів. Ситуація, що склалася, призводить до несвоечасного збору й обробки інформації, відсутності цілісної картини, що дає реальне уявлення про перебіг і результати виробничого процесу на підприємствах, а також про їх фінансове становище.

**Основна частина дослідження.** Очевидно, що вирішенням цієї проблеми є комплексний підхід до створення єдиної інтегрованої автоматизованої системи

управління проектами, і, як підсумок роботи, консолідація інформації, необхідної для управління всією організацією.

Обмін інформацією є життєво необхідним для управління будь-якою організацією, схильною до впливу динаміки ринку, яка постійно змінюється. За організаційних змін інформаційні системи всередині організації мають бути адаптовані до змін ринку і зростати разом з ними. Концепція інтегрованого управління ресурсами є інноваційним рішенням, розробленим для конфігурації і переконфігурації інформаційних систем будь-якого підприємства.

Частиною такого рішення є розроблення серії моделей, що використовують спільно з інструментарієм динамічного моделювання і побудови електронної моделі управління проектами. Кожна модель динамічна, що дає можливість і сприяє формуванню і запам'ятовуванню всіх стадій усередині організації, пов'язаних із зростанням і етапами еволюційного розвитку. Таким чином, досягається підтримка постійних оптимізаційних процесів усередині організації. При побудові комплексної інтегрованої системи у поєднанні з різними референтними моделями досягаються такі багаточисельні переваги, як [2]:

- прискорене впровадження.

Протягом декількох підходів досягається злиття бізнес-вимог з конкретною функціональністю в референтній моделі проекту або ж з додатковою специфікацією в розширеній бібліотеці бізнес-процесів;

- гнучкість. Для досягнення цілей конкретного інноваційного проекту і для задоволення зростаючих бізнес-вимог в умовах конкуренції можна визначити різні шляхи оптимізації за рахунок моделювання окремих стадій як окремих підпроектів;

- якість. Досягнення якісного підходу можливе завдяки здатності передбачати напрямок перебігу комплексних наукових і виробничих процесів.

Методологія сприяє швидкому і гнучкому впровадженню завдяки оптимізації впровадження, розбитій на фази, а також повнішому уявленню про модельовані бізнес-процеси.

Динамічна модель віртуального інформаційного простору базується на прийнятній розширеній бібліотеці бізнес-процесів. Для підтримки всіх вимог у тісній співпраці з консалтинговими партнерами і розвиненими компаніями в даній галузі, на основі концепції Динамічного моделювання віртуального підприємства розробляється бізнес-модель Управління спільними віртуальними проектами (УСВП) [1].

Управління видами робіт в організації здійснюється за допомогою дворівневої деталізації. Першим рівнем є управління роботами, що охоплюють планування, витрати і доходи (надходження). Другий рівень – це управління такими видами діяльності, як структурований план-графік робіт, устаткування і документація.

Ця модель надає три ключові переваги:

- спільна інтеграція зі всіма бізнес-процесами;
- оперативний і надійний інформаційний потік;
- підвищений ступінь управління і контролю, що дає зниження тимчасових і матеріальних витрат за проектом.

Навіть якщо цілі, що стоять перед кожним проектом, відрізняються, необхідні бізнес-функції практично схожі. Типовий порядок процесів проекту містить такі заходи щодо проекту:

- планування і розподіл ресурсів;
- первинний аналіз виконання проекту;
- спільне планування робіт за проектом;
- підготовка до робіт за проектом;
- реєстрація та управління роботами за проектом;
- оцінка проектних робіт і їх пряма передача;

- постачання устаткування;
- допоміжні роботи (управління матеріальними потоками і документообігом).

Функціональність комплексного забезпечення, що стосується економічних питань організації, підтримує всі вимоги фінансової системи і бухгалтерського обліку. Так, програмне забезпечення системи управління поряд з повною інтегрованою системою подає інтегровану модель управління ресурсами підприємства як зручну функцію, інтегровану у сигнально-інформаційну систему. Всі плануючі і управлінські структури проекту завдяки графічному відображенню в спеціальній діаграмі можуть легко розпізнати джерела помилок і неполадки, прийняти відповідні запобіжні засоби (“система раннього запобігання”) з усунення помилок, а також дослідити всі без винятку кроки аж до первинного джерела. Завдяки Enterprise Performance Manager значні відхилення від бюджету можуть бути показані відразу ж, залежно від визначення коефіцієнта. Всі повідомлення і коефіцієнти можуть бути складені без попереднього програмування, а також подані графічно, відповідно до мети і необхідного рівня структуризації [3].

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Методи побудови моделі УСВП, зазвичай, можуть бути різними. Сьогодні можна виділити основні напрямки їх створення:

1. Створення моделі конкретного підприємства, що відповідає його індивідуальним потребам “ власними силами ” або із залученням підрядних організацій за участю фахівців підприємства.

2. Поступова інтеграція вже розроблених систем автоматизації підприємства з готовими пакетами, що вирішують окремі функціональні завдання підприємства.

3. Розроблення моделі конкретного підприємства за його індивідуальним замовленням фірмою-розробником програмних систем із застосуванням алгоритмічних мов високого рівня (CASE-технології).

4. Придбання потужної системи комплексної автоматизації класу ERP, що складається з багатьох функціональних модулів, які працюють в єдиному

інформаційному середовищі системи і частково адаптовані до особливостей підприємства.

Кожний напрямок підтримується різними програмними продуктами, спирається на різні методи і технології комплексної автоматизації, вимагає різних витрат підприємства і приводить до різних кінцевих результатів.

### *Список використаних джерел*

1. Мельниченко, С.В. Вплив інформаційних технологій на маркетинг туристичних підприємств [Текст] / С.В. Мельниченко // Вісн. Київ. нац. торг.-екон. ун-ту. – 2007. – № 5. – С. 68-74.

2. Зелінський, С. Віртуальний партнер [Текст] / С. Зелінський // М. Гроші і технології. – 2001. – № 1-2. – С. 32-35.

3. Васильовський, М. Ключові зони інформації в логістиці підприємств [Текст] / М. Васильовський // Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2001. – № 424. – С. 274-279.

---

Устенко Олександр Вікторович, доктор технічних наук, професор, декан механічного факультету Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-09. E-mail: [ai@kture.kharkov.ua](mailto:ai@kture.kharkov.ua)

Ustenko Alexander, doct. of techn. sciences, professor, dean of the faculty of mechanical Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-09. E-mail: [ai@kture.kharkov.ua](mailto:ai@kture.kharkov.ua)

**УДК 629.424.1**

### **ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОШУВАННЯ КОЛІСНИХ ПАР ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

**Д-р техн. наук О.Б. Бабанін, асп. В.І. Бульба**

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Д-р техн. наук А.Б. Бабанин, асп. В.И. Бульба**

### **FORECASTING OF DETERIORATION OF WHEEL PAIRS ELECTRIC TRAINS IN OPERATION**

**Doct. of techn. sciences A. Babanin, postgraduate V. Bulba**

*У статті запропоновано метод прогнозування зношування колісних пар електропоїздів, що дає змогу одержати математичне рівняння зносу та визначити інтервал роботи даного вузла, у якому необхідно приймати відповідні дії з їх обточування або заміни.*

**Ключові слова:** відмова, експлуатація, знос, крива зносу, модель, накопичення, параметр, прогнозування, процес, реалізація, рівняння.

*В статті пропонується метод прогнозування износа колесних пар електропоездів, який дозволяє отримати математичне рівняння износа і визначити інтервал роботи даного вузла, в якому необхідно приймати відповідні заходи по їх обточці або заміні.*

**Ключевые слова:** отказ, эксплуатация, износ, кривая износа, модель, накопление, параметр, прогнозирование, процесс, реализация, уравнение.

*In clause the analysis of existing methods of definition of wear process of wheel pairs electric trains on the basis of which the model of process of deterioration is offered is resulted. Initial parameters for modeling are statistical data on deterioration of a circle of driving of wheel pairs in two intervals of run. As a result of this are made exhibitors the equations for the bottom, basic and top borders of intervals of wear process. Extrapolation of this equation on limiting value of deterioration enables to receive size of predicted run of wheel pair in which it is necessary to accept corresponding actions on her turning or replacement.*

**Keywords:** Refusal, Operation, Deterioration, Curve of deterioration, Model, Accumulation, Parameter, Forecasting, Process, Realization, The equation.

**Вступ.** Управління утриманням електропоїздів, що здійснюється при експлуатації й ремонті, неминуче пов'язане з передбаченням технічного стану в деякий момент часу в майбутньому. Це обумовлено тим, що тільки в цьому випадку можливо побудувати більш досконалу (і більш ефективну) систему керування його технічним станом. У цьому випадку параметричне прогнозування виступає як один з інструментів у процесі визначення технічного стану колісних пар електропоїздів.

**Постановка проблеми в загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** Ремонт (обточка) колісних пар електропоїздів може бути обумовлений досягненням граничного значення одним з контрольованих параметрів, до якого належить їх прокат по колу кочення. Тому важливе значення має прогнозування прокату, що дає змогу знайти певні закономірності на інтервалах його контролю при проведенні технічного обслуговування й ремонту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемі зносостійкості й утомного зношування постійно приділялося

центральне місце. Уперше модель утомного зношування була запропонована І.В. Крагельським [5]. Однак на підставі допущень, прийнятих у даній методиці, надалі відзначалося неприпустимо велике відхилення результатів розрахунків від дійсності. Тому не випадково в найбільш значущому виданні з надійності [8] формули цієї моделі названі "громіздкими й малоприматними для інженерних розрахунків". Визначено, що у зв'язку зі складністю такого механізму, різноманітням його видів і недостатньою вивченістю зв'язків з факторами, що впливають на знос, цей процес можна оцінювати тільки на підставі досвіду експлуатації [3]. Слід указати на появу на цей час нового теоретичного підходу до визначення зносостійкості [1], на інтенсивно нарощуваний фонд експериментальних досліджень (як закордонних, так і вітчизняних [6]), що дають фізичну основу нових методів розрахунку.

**Мета дослідження.** Відомо кілька видів математичних моделей з цього напрямку. Вони відрізняються одна від одної видом кореляційного рівняння. Найбільш часто в літературі зустрічаються

лінійні [2,8,9] і нелінійні моделі, у яких математичне очікування випадкового процесу описується багаточленом другого або третього ступеня [1,5,7], які викликають значну складність при виконанні розрахунків. Тому в даній статті запропонований комплексний метод прогнозування технічного стану колісних пар електропоїздів, що ґрунтується на моделі експоненціального виду зношення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Установлено, що процес розвитку прокату колісних пар в експлуатації має досить велике розсіювання [6]. При постійній швидкості зношування середнє квадратичне відхилення прокату (знос) може як лінійно, так і нелінійно зростати. Оскільки швидкість зношування кола кочення колісних пар залежить від великої кількості випадкових факторів, то знос розвивається як випадковий процес, а його величина є випадковою функцією напрацювання.

Для повного опису процесу зношування недостатньо одного рівняння середнього зносу, тому що воно не виражає таких важливих властивостей випадкової функції, як розсіювання та перемішування реалізацій. Для математичного опису процесу зношення необхідні принаймні три рівняння. Перше з них повинне задовільно виражати математичне очікування випадкового процесу накопичення зносу за напрацюванням (тобто не випадкову складову процесу зношення). Друге рівняння повинне описувати верхню довірчу межу випадкового процесу (криву, про яку із заданим ступенем ризику можна стверджувати, що жодна реалізація процесу зношення не пройде вище неї). Третє рівняння повинне визначати нижню довірчу межу процесу накопичення зносу. Ці всі рівняння в сукупності повинні утворювати математичну модель процесу зношення.

Аналіз статистичних закономірностей зносу кола кочення колісних пар (прокату) дає змогу сформулювати основні вимоги до математичної моделі. Вона повинна

враховувати випадковий характер такого процесу зношення й виявляти особливості накопичення зносу в нормальній експлуатації. Крім того, ця модель повинна бути зручною для інженерних розрахунків і не суперечити досвіду експлуатації. Остання вимога є головною. Чим більш точно математична модель відповідає об'єктивно існуючому випадковому процесу зношення в умовах нормальної експлуатації, тим вона краща.

Так, обробка зібраних статистичних даних по колісних парах електропоїздів дала змогу зробити висновок про нелінійний характер процесу їхнього зношення. Було встановлено, що швидкість зношення колісних пар  $\dot{v}$  є функцією величини накопиченого зносу  $\delta$  [6]

$$\dot{v} = \frac{d\delta}{dt} = f(\delta), \quad (1)$$

де  $t$  – тривалість роботи колісних пар в експлуатації.

Рівняння (1) можна подати у вигляді нескінченного степеневого ряду

$$\frac{d\delta}{dt} = c + k\delta + k_1\delta^2 + \dots + k_{n-1}\delta^n. \quad (2)$$

У лінійній моделі використовують тільки перший член цього ряду, вважаючи, що швидкість зношення залишається постійною протягом усього періоду експлуатації. У нелінійній моделі сильний кореляційний зв'язок між швидкістю зношення й накопиченим зносом дає змогу обмежитися тільки двома першими членами ряду (2), нехтуючи іншими. Перетворюючи рівняння (2), інтегруючи ліву і праву його частини відповідно за часом і зносом та вважаючи, що при напрацюванні  $t_1$  середня величина зношення дорівнює  $\delta_1$ , будемо мати

$$t - t_1 = \frac{1}{k} \ln \frac{c + k\delta}{c + k\delta_1}. \quad (3)$$

Переходячи до десяткових логарифмів, одержимо

$$t - t_1 = \frac{1}{k \lg e} \lg \frac{\frac{c}{k} + \bar{\delta}}{\frac{c}{k} + \delta_1}. \quad (4)$$

Позначивши вирази

$$A = \frac{1}{k \lg e}, \quad (5)$$

$$h = \frac{c}{k}, \quad (6)$$

і підставивши їх у рівняння (4) та розв'язавши його щодо середнього зносу  $\bar{\delta}$ , одержимо експоненціальне рівняння, яке виражає математичне очікування процесу зношення

$$\bar{\delta} = (\bar{\delta}_1 + h) \cdot 10^{\frac{t-t_1}{A}} - h. \quad (7)$$

Коефіцієнт  $A$ , що вимірюється в одиницях напрацювання (годинах або кілометрах пробігу), визначає форму кривої зносу й інтерпретується як коефіцієнт довговічності. Величина  $h$  вимірюється в одиницях зносу (міліметр, мікромметр). Вона визначає положення кривої відносно початку координат і є коефіцієнтом її зсуву. Дана величина дорівнює відстані від початку координат до асимптоти цієї кривої, узятій зі зворотним знаком.

Отримане експоненціальне рівняння (7) припускає нормальний розподіл зносу для будь-якого моменту часу. У цьому випадку нижню  $\delta'$  і верхню  $\delta''$  довірчі межі процесу зношення можна описати тим же експоненціальним рівнянням

$$\delta' = (\bar{\delta}_1 + t_{\beta}^- \cdot \sigma_1 + h) \cdot 10^{\frac{t-t_1}{A}} - h, \quad (8)$$

$$\delta'' = (\bar{\delta}_1 - t_{\beta}^+ \cdot \sigma_1 + h) \cdot 10^{\frac{t-t_1}{A}} - h, \quad (9)$$

де  $\bar{\delta}_1$  – середній знос у момент часу  $t_1$ ;

$\sigma_1$  – середньоквадратичне відхилення зносу при тривалості роботи  $t_1$ ;

$t_{\beta}$  – табличний коефіцієнт, що залежить від прийнятої довірчої ймовірності  $\beta$ .

Підставивши в рівняння (8) і (9) замість  $\delta'$  і  $\delta''$  значення верхньої і нижньої довірчих меж у момент часу  $t_2$  й розв'язавши їх спільно, одержимо вирази для визначення величин  $A$  і  $h$

$$A = \frac{t_2 - t_1}{\lg \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}, \quad (10)$$

$$h = \frac{\bar{\delta}_2 - \bar{\delta}_1 \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}{\frac{\sigma_2}{\sigma_1} - 1}, \quad (11)$$

де  $\bar{\delta}_2$  і  $\sigma_2$  — середнє зношення і його середньоквадратичне відхилення в момент часу  $t_2$ .

За допомогою експоненціальної ймовірнісної моделі можна визначити середній  $L_{\bar{\delta}}$ , мінімальний  $L_{min}$  і максимальний  $L_{max}$  пробіг колісної пари, застосувавши у формулах (7) - (9) значення  $\bar{\delta} = \delta_{\bar{\delta}}$ ,  $\delta' = \delta_{min}$ ,  $\delta'' = \delta_{max}$ ,  $t = L_{\bar{\delta}}$ ,  $t_1 = L_{min}$ ,  $t_2 = L_{max}$ .

У результаті цього одержимо

$$L_{\bar{\delta}} = A \lg \frac{\delta_{\bar{\delta}} + h}{\bar{\delta}_1 + h} + L_1; \quad (12)$$

$$L_{min} = A \lg \frac{\delta_{\bar{\delta}} + h}{\delta_{min} + h} + L_1; \quad (13)$$

$$L_{max} = A \lg \frac{\delta_{\bar{\omega}} + h}{\delta_{max} + h} + L_1. \quad (14)$$

Рівняння (12) - (14) дають можливість за допомогою статистичного дослідження прокату колісних пар в експлуатації протягом двох значень напрацювання  $L_1$  й  $L_2$ , які досить відрізняються один від одного, знайти рівняння математичного очікування й рівняння довірчих меж процесу зношування в реальних умовах експлуатації.

На основі даної методики були проведені спостереження за колісними парами трьох електропоїздів від початку вводу в експлуатацію до досягнення

пробігу 100 000 км і визначені залежності збільшення прокату колісних пар по колу кочення в такому вигляді:

$$\delta_{\bar{\omega}} = 21,68 \cdot 10^{\frac{L-30 \cdot 10^3}{1,245 \cdot 10^7}} - 20,74, \quad (15)$$

$$\delta_{min} = 21,53 \cdot 10^{\frac{L-30 \cdot 10^3}{1,245 \cdot 10^7}} - 20,74, \quad (16)$$

$$\delta_{max} = 21,84 \cdot 10^{\frac{L-30 \cdot 10^3}{1,245 \cdot 10^7}} - 20,74. \quad (17)$$

За даними рівняннями побудовані графічні залежності, які наведені на рисунку.

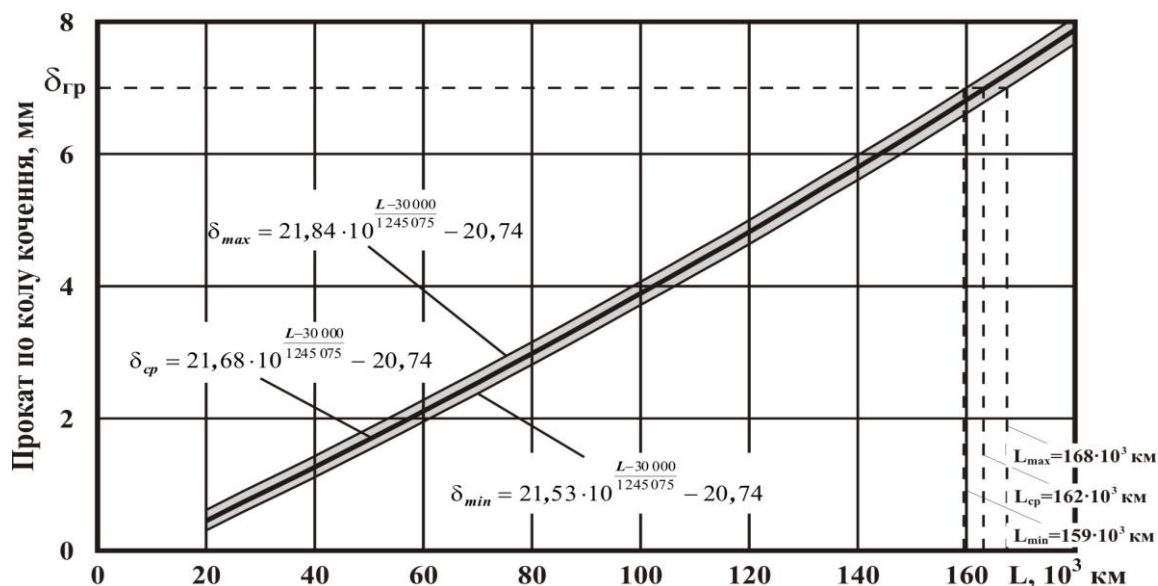


Рис. Залежність прокату колісних пар електропоїздів від їх пробігу в експлуатації

Виходячи з наведених графічних залежностей, задаючись бракувальним зносом  $\delta_{\bar{\omega}}$ , можна спрогнозувати середній, мінімальний і максимальний прокат даних колісних пар. Так, при бракувальному значенні  $\delta_{\bar{\omega}}=7$  мм середній пробіг до обточки колісних пар складе  $L_{\bar{\omega}}=162 \cdot 10^3$  км, мінімальне напрацювання

$L_{min} = 159 \cdot 10^3$  км, а максимальний пробіг  $L_{max} = 168 \cdot 10^3$  км.

**Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток у даному напрямку**

1. Виконано аналіз існуючих методик визначення зношування характерних вузлів тертя. Виявлено, що для визначення їхнього зносу необхідний принципово



новий підхід, що враховує його старіння й інші фактори, що діють в експлуатації.

2. Запропоновано математичну модель, яка на підставі статистичних даних дає змогу застосовувати експоненціальний вид процесу зношування. На підставі даної моделі для колісних пар електропоїздів за статистичними даними вимірів величин прокату у фіксовані моменти часу

запропоновано прогнозувати їх працездатність до подальшої обточки.

3. Визначено залежності прокату колісних пар по колу кочення електропоїздів і розраховані їх середні, мінімальні й максимальні значення довговічності при досягненні бракувальних меж в експлуатації.

### Список використаних джерел

1. Бородин, А.В. Повышение работоспособности бандажей колесных пар локомотивов [Текст] / А.В. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2000. – № 8. – С. 47-48.
2. Войнов, К.И. Прогнозирование надежности механических систем [Текст] / К.И. Войнов. – Л.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
3. Гриб, В.В. Метод прогнозирования ресурса узлов трения [Текст] / В.В. Гриб // Надежность и контроль качества. – 1979. – № 4. – С. 26-31.
4. Клемушин, Ф.М. Прогнозирование остаточного ресурса деталей дизелей [Текст] / Ф.М. Клемушин // Проблемы трения и изнашивания. – 1979. – № 16. – С. 24-27.
5. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ [Текст] / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Камбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
6. Крылов, К.А. Долговечность узлов трения самолетов [Текст] / К.А. Крылов, М.Е. Хаймзон. – М.: Транспорт, 1976. – 184 с.
7. Портман, В.Т. Оценка долговечности деталей машин по результатам эксплуатационных наблюдений [Текст] / В.Т. Портман // Вестник машиностроения. – 1979. – № 4. – С. 10-13.
8. Проников, А.С. Надежность машин [Текст] / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
9. Сапронова, С.Ю. Наукові основи формоутворення та оптимізація ремонтних профілів коліс локомотивів протягом експлуатаційного життєвого циклу [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / С.Ю. Сапронова. – Луганськ, 2012. – 384 с.
10. Тартаковский, И.Б. К расчету деталей машин на износ [Текст] // Износ и антифрикционные свойства материалов / И.Б. Тартаковский. – М.: Наука, 1968. – С. 128-153.

---

Бабанін Олександр Борисович, доктор техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99. E-mail: babanin\_a\_b@mail.ru  
Бульба Вадим Ігорович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.

Babanyn Alexander B. PhD, Professor of maintenance and repair of rolling stock Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99. E-mail: babanin\_a\_b@mail.ru  
Tuber Vadim I. postgraduate of maintenance and repair of rolling stock Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99.

УДК 331.103.255

**УДОСКОНАЛЕННЯ ЕКІПРУВАННЯ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ**

Д-р техн. наук Д.С. Жалкін

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКИПИРОВКИ МАНЕВРОВЫХ ТЕПЛОВОЗОВ**

Д-р техн. наук Д.С. Жалкин

**IMPROVEMENT OF EQUIPMENT OF MOBILE DIESEL ENGINES OF**

**Doct. of techn. sciences D. Zhalkin**

*У статті розглянуто технології екіпування маневрових тепловозів, що виконуються в основному депо за допомогою стаціонарного обладнання. Маневрові тепловози, які працюють на віддалених лінійних станціях, витрачають багато часу на переїзд до основного депо, займають залізничні дільниці та станційні колії при цьому витрачається моторесурс тепловоза та зношуються рейки. Для усунення таких недоліків запропоновано пересувний екіпувальник, що змонтовано на серійному автомобільному шасі.*

**Ключові слова:** тепловоз, екіпування, паливо, моторесурс, пісок, мастило, екіпувальник, станція, колія.

*В статье рассмотрены технологии экипировки маневровых тепловозов, которые выполняются в основном депо при помощи стационарного оборудования. Маневровые тепловозы, которые работают на отдаленных линейных станциях, тратят много времени на переезд к основному депо, занимают железнодорожные участки и станционные пути, при этом вырабатывается моторесурс тепловоза, изнашиваются рельсы. С целью устранения таких недостатков предложено передвижной экипировщик, смонтированный на серийном автомобильном шасси.*

**Ключевые слова:** тепловоз, экипировка, топливо, моторесурс, песок, масло, экипировщик, станция, путь.

*In the article the technology equipment shunting locomotives, which runs in conjunction with the main depot maintenance, on stationary equipment. Shunting locomotives that run on remote stations to equip follow the main depot. This is spent a lot of time and spent fuel produced diesel and diesel engine service life, wear a pair of wheels of the locomotive and rails. On a trip to the main locomotive depot for the equipment involved locomotive crews and control unit in conjunction with station employees. Equipping trains and trolleys equipping items on rail-mounted applied in specific cases, and for their mobility requires a locomotive, the way the sludge at the stations. There is experience with mobile fuel bowser agricultural and road machinery. These tankers are not equipped to equip locomotives with sand (one of the limiting material in the operation of shunting locomotives).*

*In order to reduce the cost of equipment shunting locomotives running on remote stations provided the use of a mobile outfitter mounted on the base of the production car chassis that does not have the above drawbacks.*

**Keywords:** diesel engine, equipment, fuel, motoresource, sand, butter, outfitter, station, rail.

**Вступ.** Дослідження стосуються науково-практичної проблеми зменшення галузі енергетики та енергоефективності й витрат палива та шкідливих викидів, спрямовані на вирішення важливої збереження моторесурсу маневрових

тепловозів, які працюють на віддалених лінійних залізничних станціях.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.**

Витрати протягом життєвого циклу тепловозів складаються, крім інвестиційних, вводу та виводу з експлуатації та утилізації, з двох основних витрат: експлуатаційних та ремонтних. До експлуатаційних належать витрати на матеріальні ресурси для роботи, на утримання локомотивних бригад, на екіпірування. Ремонтні витрати забезпечують поточні ремонти (ПР) й технічне обслуговування (ТО), утримання ремонтної бази, усунення відмов тепловозів. Операційні (експлуатаційні) витрати складають не менш 74 %, ремонтні на ТО та ПР, усунення відмов – 14 % від загальної сумарної вартості життєвого циклу вантажного тепловоза [1,3]. У складі експлуатаційних витрат ключову позицію утримує витрата палива та оливи й тому науково-дослідні та конструкторські роботи спрямовані на зменшення цих витрат за рахунок розробки економічних дизельних двигунів, удосконалення методів експлуатації тягового рухомого складу (ТРС), зменшення витрат на екіпірування.

Екіпірування локомотивів, як правило виконується в основних та оборотних депо сумісно з виконанням технічного обслуговування ТО-2. В окремих випадках екіпірування виконують на приймально-відправних коліях, на лінійних станціях, де працюють маневрові та господарські тепловози (в окремих випадках на відстані 100 км та більше). Переїзд маневрових тепловозів для екіпірування в основному депо викликає значні витрати, призводить до збільшення кількості тепловозів, що експлуатуються, ускладнює роботу станцій та додатково займає дільниці залізниць. Будівництво стаціонарних пунктів екіпірування на лінійних станціях економічно не вигідно при невеликій кількості працюючих тепловозів. Все це

вказує на необхідність розроблення інших способів екіпірування маневрових тепловозів, які працюють на віддалених лінійних станціях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пересувні екіпірувальні пристрої призначені для скорочення витрати часу на переїзд локомотива до стаціонарного пункту, а також при неможливості відвертання локомотива від обслуговування спеціальних об'єктів (на аглофабриках, у металургійному процесі, масовому наливі нафтопродуктів та ін.).

Як пересувні пристрої застосовуються екіпірувальні поїзди, які мають у складі дві-три цистерни для палива та оливи, вагон для сухого піску, вагон для запасу мастил, води, обтиральних матеріалів, вагон з електростанцією та паровим казаном, вагон для обслуговуючого персоналу [2]. Велика вартість та витрати на обслуговування дають змогу застосовувати такі поїзди в окремих випадках – на будівництві нових залізничних колій, природних і техногенних катастроф.

Спрощені пересувні установки на залізничних чотиривісних платформах застосовуються на промисловому залізничному транспорті. Для пересування такої установки на віддалені станції та залізничному вузлі потрібен окремий тепловоз, а для розміщення на станції потрібна колія довжиною не менш 30 м, джерела електроенергії та гарячої води (пари).

Пересувні екіпірувальні залізничні поїзди, пересувні пункти на залізничному рухомому складі економічно не вигідні – значні матеріальні та фінансові витрати на утримання тепловозів та обслуговуючий штат, зменшення пропускну здатності залізничної лінії, улаштування на лінійних станціях окремих ділянок для екіпірування, що викликає ускладнення на завантажених станційних коліях, складність пропуску на екіпірування [2] та ін.

Типові пересувні автозаправники на базі вантажних автомобілів не мають: системи підігріву палива та оливи, обладнання для транспортування та подачі піску на тепловоз, ємностей для запасу охолоджувальної води для акумуляторних батарей, мастил [2].

**Визначення мети та задачі дослідження.** Актуальність проблеми полягає у зменшенні нерентабельних переїздів маневрових тепловозів, які працюють на віддалених лінійних станціях, що дає значний економічний ефект за рахунок зниження витрати палива та шкідливих викидів, збереження фонду заробітної плати та моторесурсу тепловозів, відмови від підмінного тепловоза.

**Мета дослідження** – сформулювати вимоги та запропонувати конструкцію пересувного екіпірувальника для маневрових тепловозів, який не має недоліків екіпірувальних поїздів та пунктів, серійних автозаправників.

**Основна частина дослідження.** Кількість маневрових локомотивів  $N_M$  визначається розміром маневрової роботи на кожній станції, які обслуговує дане депо. Розмір маневрової роботи залежить від кількості перероблених вагонів, розрахункової норми часу для маневрової переробки одного вагона, часу на екіпірування локомотива, часу на зміну локомотивних бригад, технологічні витрати часу з урахуванням кількості станцій у регіоні та видів маневрової роботи.

Кількість маневрових локомотивів, які потрібні для виконання роботи у технологічному процесі, наприклад, на гірничозбагачувальних фабриках, металургійних комплексах та інших безперервних технологіях, практично не підлягає розрахунку. Тут маневровий локомотив забезпечує основний процес, хоча час його роботи зовсім не значний (а час простою та роботи дизеля на холостому ходу складає 80-85 %). Якщо відсутні дані про розміри маневрової роботи, кількість

маневрових локомотивів [1,4] розраховують за формулою

$$N_M = L_{\text{річ}} \cdot \delta_M / 365 \cdot S_M \cdot 100, \quad (1)$$

де  $L_{\text{річ}}$  – річний пробіг усіх поїзних локомотивів депо приписки маневрових локомотивів;

$\delta_M$  – нормований відсоток річного пробігу маневрових локомотивів від річного пробігу поїзних локомотивних депо;

$S_M$  – середньодобовий пробіг маневрового локомотива (прийнятий рівним 118 км/доб).

При значному коливанні розмірів руху кількість маневрових локомотивів змінюється нелінійно. Більш точно потребу у маневрових локомотивах можна розрахувати за допомогою графіків технологічного процесу маневрової роботи станції, яку обслуговують локомотиви даного депо.

Розрахунки  $N_M$  потрібні для планування витрат на технічні обслуговування та ремонт, експлуатаційні витрати, для розрахунків потужності екіпірувальних пристроїв, витрат на переїзди маневрових локомотивів для екіпірування в основному депо та на технічні обслуговування (ТО-2, ТО-3) [4].

Термін роботи маневрових тепловозів визначається запасами палива й піску у ємностях локомотива та витратами цих матеріалів на одиницю роботи.

$$P_{\text{п}} = 0,9 \cdot V_{\text{п}} / E_{\text{п}}^{\text{л}}; \quad (2)$$

$$P_{\text{піск}} = 0,9 V_{\text{піск}} / E_{\text{піск}}^{\text{л}}, \quad (3)$$

де 0,9 – коефіцієнт 10 %-го незнижуваного запасу;

$V_{\text{п}}$ ,  $V_{\text{піск}}$  – ємність паливного бака та бункера піску, м<sup>3</sup>;

$E_{\text{п}}^{\text{л}}$ ,  $E_{\text{піск}}^{\text{л}}$  – середньодобова витрата палива та піску, кг.

Норми витрати палива маневровими тепловозами визначаються на 1 год

маневрової роботи, незалежно від місця її виконання, та на 1 год простою в очікуванні роботи [5, 6].

На базі теоретичних розрахунків та дослідних поїздок на підприємствах чорної металургії нормування витрат палива виконується на основі індивідуальних та групових норм [2]. Норми витрат умовного палива на промисловому транспорті встановлюються на внутрішні перевезення на 1000 т нетто, кг, та маневрову роботу, кг/год, шляхом хронометражу. При виконанні маневрової роботи на станційних коліях тепловоз витрачає у середньому 17-19 кг/год дизельного палива, на сортувальній гірці – біля 60 кг/год. В умовах України витрата палива при простой тепловоза влітку складає у середньому 15 кг/год, а взимку – 20 кг/год [7].

Обмеженою складовою у маневровій роботі є також витрата піску, норма витрати якого складає 0,065-0,07 м<sup>3</sup> за добу [1, 2]:

$$E_{\text{піск}}^M = \sum N_M E_{\text{піск}}^M, \quad (4)$$

де  $N_M$  – парк маневрових тепловозів у експлуатації;

$E_{\text{піск}}^M$  – норми витрати піску одним тепловозом за добу.

Витрати піску можливо скоригувати за фактичною середньою витратою за попередній період часу [1, 2]. Після виконання розрахунків  $N_M$ , норм витрат палива та піску за добу можливо скласти графік екіпірування тепловозів на кожній станції за допомогою пересувного (мобільного) екіпірувальника, обладнаного на шасі автомобіля КамАЗ-43114 (рисунок).

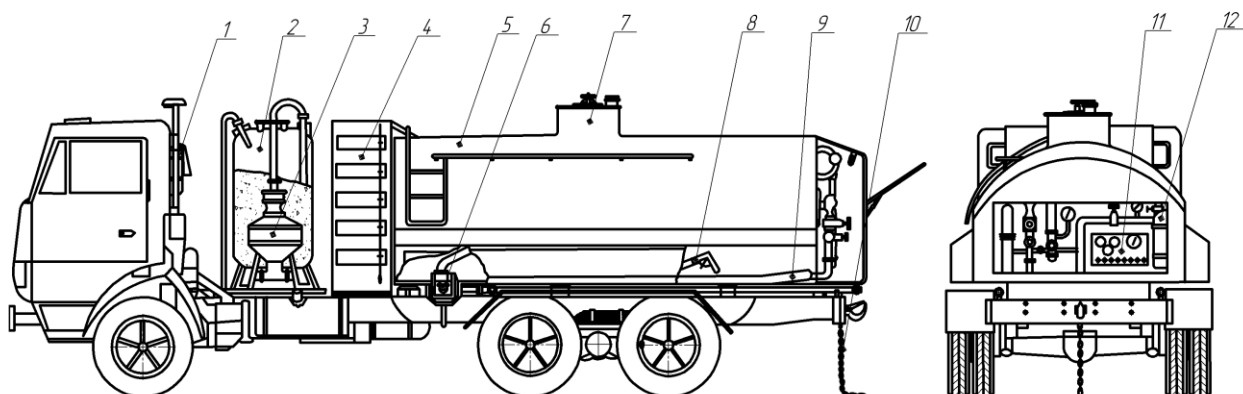


Рис. Пересувний екіпірувальник:

1 – вуглекислотний вогнегасник; 2 – бункер з піском; 3 – пристрій для роздавання піску; 4 – відсік для зберігання дизельної оливи; 5 – цистерна з дизельним паливом; 6 – насос для подачі палива; 7 – горловина для заливання дизельного палива; 8 – паливозаправний пістолет; 9 – шланг гумовий; 10 – пристрій заземлення; 11 – щит керування; 12 – протипожежна установка

Експлуатаційна ємність цистерни екіпірувальника 7,8 м<sup>3</sup>. Насос 6 самовсмоктуючий типу СЦЛ-2024А продуктивністю через один шланг 360 дм<sup>3</sup>/хв, з приводом від коробки відбору потужності автомобіля. Час заповнення цистерни та час зливу за допомогою насоса складає 30 хв.

Технічна характеристика пересувного екіпірувальника:

потужність двигуна, кВт (к.с.)	191(260)
витрати палива, дм <sup>3</sup> /100 км	36
максимальна швидкість, км/год	90
норми екологічної безпеки	EURO-3
об'єм цистерни, м <sup>3</sup>	8

висота самовсмоктування насоса, м	4,5
запас оливи, дм <sup>3</sup>	200
запас піску, м <sup>3</sup>	0,6
персонал, що обслуговує, люд	1.

Лічильник типу ППО-40 фіксує об'єм зливу палива з цистерни. Управління заправкою централізоване з кабіни автомобіля одним водієм – оператором. Екіпірування тепловозів паливом за допомогою автоекіпірувальника проводять таким чином. Роздавальний шланг типу РКТ-20 з пістолетом А-50М вставляють у горловину паливного бака тепловоза, після чого відкривають шарові вентиля «з цистерни» і «на роздачу», вмикають насос. Спостерігаючи за показаннями манометрів (за перепадом тиску перед фільтром та після фільтра) і процесом подачі дизельного палива, збільшують число обертів двигуна до необхідної продуктивності. Після наповнення бака насос вимикають і закривають крани «з цистерни» і «на роздачу». Екіпірування паливом продовжується до 30 хв.

Окрім цього, автоекіпірувальник обладнаний електронним покажчиком рівня палива, обмежувачем наповнення цистерни, водовіддільником, вентилям зливу відстою, фільтром тонкого й грубого очищення (тонкість фільтрації палива 20 мкм), протипожежним обладнанням.

Для екіпірування піском автоекіпірувальник обладнаний піскороздавальником, який складається з витискального бака 3 і пиловіддільного циклона. При екіпіруванні піском виконуються такі операції: сполучають переносним шлангом повітропровід гальмівної магістралі тепловоза, що екіпірується, з повітропроводом автоекіпірувальника і відпускають рукави в піскові люки тепловоза, відкривши заслінки на кінцях рукавів. Повітря від тепловоза, що екіпірується, через переносний шланг надходить через редуктор у витискальний пісковий бункер, звідки пісок переміщається по роздавальних рукавах до пісочниці

локомотива. Екіпірування піском проводиться після екіпірування паливом та продовжується 14 хв. Під час екіпірування піском і паливом проводиться видача змащувальних і обтиральних матеріалів.

Запропонована конструкція автоекіпірувальника проста і надійна в експлуатації. Кількості екіпірувальних матеріалів достатньо для часткового екіпірування 5-6 тепловозів, що працюють на різних станціях, у періоди між ТО-2. Виходячи із середньодобової витрати палива витрата палива одним тепловозом за 12 днів складе біля 3,6 м<sup>3</sup>, що дає змогу виконувати повне екіпірування двох тепловозів за один виїзд екіпірувальника. Екіпірування маневрових тепловозів буде проводитися безпосередньо на лінійних станціях без переїзду тепловозів до основного депо, що дасть економію палива, скорочення викидів шкідливих речовин у атмосферу, економію заробітної плати, зменшення кількості ремонтів та виробки моторесурсу тепловоза [8]. Депо зможе відмовитися від підмінного тепловоза, який подається на лінійну станцію під час відсутності закріпленого тепловоза.

Вартісну оцінку результатів упровадження пересувного екіпірувальника можливо визначити, грн, за формулою

$$P_p = B_T^6 - B_T^H - B_{утр}, \quad (5)$$

де  $B_T^6$  – експлуатаційні витрати до впровадження пересувного екіпірувальника;

$B_T^H$  – експлуатаційні витрати після впровадження пересувного екіпірувальника;

$B_{утр}$  – скорочення витрат на експлуатацію та ремонт тепловоза, який буде виведено з експлуатації.

При вартості пересувного екіпірувальника у 629640 грн та загальній річній економії витрат від упровадження нової технології на великому залізничному вузлі 974510 грн (за умови витрати палива тепловозом 80 кг/100 км при одиночному пересуванні) термін окупності не перевищує один рік.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Пересувні пристрої екіпірування призначені для скорочення непродуктивних витрат часу на переїзди маневрового локомотива до пункту екіпірування. Вони особливо вигідні, коли стаціонарний пункт екіпірування міститься на значному віддаленні від місця постійної експлуатації локомотива або коли з міркувань технології виробництва неможливо на тривалий час відвертати локомотив від обслуговування об'єкта, або переміщення локомотива на екіпірування до основного депо ускладнено

завантаженістю станційних колій. Застосування пересувного екіпірувальника, крім економії палива та зменшення шкідливих викидів, дає змогу зберігати моторесурс двигунів і тепловоза, зменшити експлуатаційний парк, економити заробітну плату.

Для збільшення економічного ефекту пересувний екіпірувальник доцільно використовувати одночасно з пересувною майстернею для виконання технічного обслуговування ТО-2 маневрових тепловозів, які працюють на віддалених станціях.

### *Список використаних джерел*

1. Айзинбуд, С. Локомотивное хозяйство [Текст]: учеб. для вузов ж.д. трансп. / С.Я. Айзинбуд, П.И. Кельперис, В.А. Гутковський. – М.: Транспорт, 1986. – 263 с.
2. Гагин, Л. Экипировка и экипировочные материалы [Текст] / Л.Ф. Гагин, А.А. Бовин. – К.: Выща шк., 1989. – 160 с.
3. Тартаковський, Э.Д. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог [Текст]: монография / Э.Д. Тартаковський, С.Г. Грищенко, Ю.Е. Калабухин, А.П. Фалендыш. – Луганск: Изд. Коулидж, 2011. – 174 с.
4. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро та дизель-поїздів) [Текст]: наказ № 093-ЦЗ. – К.: Укрзалізниця, 2011. – 26 с.
5. Інструкція по технічному нормуванню витрат електричної енергії і палива локомотивами на тягу поїздів (ЦТ-0059) [Текст]: наказ № 62-Ц. – К.: Укрзалізниця, 2003. – 85 с.
6. Настанова по нормуванню витрат дизельного палива на роботу машин і механізмів та локомотивів на годину роботи (ЦТ-0138). [Текст]: наказ № 533-ЦЗ. – К.: Укрзалізниця, 2007. – 73с.
7. Методика розрахунку норм витрат дизельного палива і електроенергії на тягу поїздів (ЦТ-0099) [Текст]: наказ № 113-Ц. – К.: ТОВ Швидкий рух, 2004. – 60 с.
8. Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте [Текст]. – М.: Транспорт, 1991. – 239 с.

---

Жалкін Денис Сергійович, доктор техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (093)-911-10-40. E-mail: [abddenis@gmail.com](mailto:abddenis@gmail.com)

Denis Zhalkin, doctor of Technical Sciences, Professor Department of maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (+38093)-911-10-40. E-mail: [abddenis@gmail.com](mailto:abddenis@gmail.com)

УДК 62.11

**РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА**

Д-р техн. наук В.Н. Остапчук

**РОЗРОБКА СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ**

Д-р техн. наук В.М. Остапчук

**DEVELOPMENT WAY TO RESTORE THE WORN SURFACE PARTS OF TRANSPORT**

**Doct. of techn. sciences V.N. Ostapchuk**

*На основе анализа требований и условий эксплуатации установлен характер износа прецизионных пар трения. Разработаны способы их восстановления на примере плунжерных пар топливных насосов.*

*Разработаны принципы формирования многокомпонентных покрытий для восстановления прецизионных пар трения средств транспорта.*

*Они учитывают взаимосвязь между технологическими параметрами процессов трения, их структурой, механическими и эксплуатационными свойствами.*

**Ключевые слова:** плунжерные пары, многокомпонентное покрытие, износостойкость, антифрикционные свойства.

*На основі аналізу вимог і умов експлуатації встановлені характер зносу прецизійних пар тертя. Розроблені способи їх відновлення на прикладі плунжерних пар паливних насосів.*

*Розроблені принципи формування багатоконпонентних покриттів для відновлення прецизійних пар тертя засобів транспорту. Вони враховують взаємозв'язок між технологічними параметрами процесів тертя, їх структурою, механічними та експлуатаційними властивостями.*

**Ключові слова:** плунжерні пари, багатоконпонентне покриття, зносостійкість, антифрикційні властивості.

*Based on the analysis of the requirements and conditions character of precision pairs friction wear were established. On the example of the fuel pumps plunger assemblies the methods of their restore were developed. Principles of multichannel-component coatings formation for restoration precision friction pairs of transport means were designed.*

**Keywords:** plunger assemblies, multi-component coating, wear resistance, anti-friction properties.

**Постановка проблемы.** В настоящее время в народном хозяйстве приходится 20-30% всего объема работ на восстановление изношенных поверхностей деталей средств транспорта, 60-80 % которых выполняется на предприятиях транспорта (железнодорожных, автомобильных, морских, авиационных).

Надежность средств транспорта является одним из основных показателей, который изменяется в процессе их эксплуатации.

Анализ надежности средств транспорта позволяет выявить именно наименее надежные элементы для их дальнейшего конструктивно-технологического усовершенствования.



Согласно проведенному анализу элементов средств транспорта установлено, что наибольшее количество отказов приходится на двигатели, у которых чаще всего отказывает система питания прецизионных деталей.

Износ и ухудшение технического состояния плунжерной пары в процессе эксплуатации приводит к нарушению нормальной работы двигателя, снижению его мощности, увеличению удельного расхода топлива, образованию нагара на поршнях и деталях распылителей форсунок, возрастанию износа кривошипно-шатунного механизма [1].

Плунжерные пары имеют в своем сопряжении малый зазор (0,6...2 мкм), что обуславливает их высокую чувствительность к загрязнению топлива твердыми частицами, которые вызывают интенсивное изнашивание деталей плунжерной пары и быстрый выход из строя [2].

Для успешного решения вопроса восстановления и повышения ресурса деталей плунжерной пары необходимо изучить условия работы, механизм и характер их изнашивания в процессе эксплуатации, а также существующие способы их восстановления и упрочнения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Существующие в настоящее время способы восстановления и упрочне-

ния плунжерных пар являются высокотемпературными и длительными по времени.

Их использование в условиях ремонтных предприятий требует применения сложного и дорогостоящего оборудования.

Опубликовано значительное количество работ, в которых рассматриваются вопросы повышения износостойкости деталей плунжерных пар [2-4].

**Цель.** Цель работы состоит в повышении износостойкости плунжерных пар путем разработки многокомпонентных покрытий.

**Результаты исследований.** С целью уменьшения интенсивности изнашивания плунжерные пары изготавливают из высокоуглеродистых легированных и конструкционных сталей и подвергают термообработке.

Плунжерные пары изготавливают из таких сталей, как 30ХГСА, ШХ15, 38Х2МЮА и др. [3].

Химический состав и физико-механические свойства некоторых сталей, применяемых для изготовления плунжерных пар, представлены в табл. 1 и 2 [4].

Применение данных сталей для производства плунжерных пар обеспечивает их высокую твердость, износостойкость, коррозионную стойкость, хорошую обрабатываемость, сохранение стабильности размеров и геометрической формы, способность работать в условиях повышенных давлений и температур.

Таблица 1

Химический состав сталей, применяемых для изготовления плунжерных пар, %

Химический состав	Марка стали		
	30ХГСА	ШХ15	38Х2МЮА
C	0,32-0,39	0,95 -1,05	0,35 -0,42
Si	0,90-1,20	0,17-0,37	0,20-0,45
Mn	0,80-1,10	0,20-0,40	0,30-0,60
Ni	-	Не более 0,30	-
S	Не более 0,03	Не более 0,02	Не более 0,02
P	Не более 0,02	Не более 0,03	Не более 0,02
Cu	Не более 0,20	Не более 0,25	Не более 0,30
Mo	-	-	Не более 0,20
Al	-	-	0,7-1,10
Cr	0,8-1,1	1,30-1,65	1,35-1,65

Физико-механические свойства сталей, применяемых для изготовления плунжерных пар

Физико-механические свойства	Марка стали		
	30ХГСА	ШХ15	38Х2МЮА
$\sigma_{-1}$ , МПа	1080	590-730	825
$\delta$ , %	10	20	16,5
$\rho$ , г/м <sup>3</sup>	7673	7812	7710
KCU	490	440	1600

В связи со специфическими условиями работы плунжерных пар предъявляют повышенные требования к стабильности размеров, высокой термо- и износостойкости рабочих поверхностей, прочности и допустимым термическим и монтажным деформациям их деталей. Выполнение этих требований достигают с помощью различных видов термической обработки (азотирование, цианирование, цементация, закалка отпуск, нормализация и др.) [5]. Надежность в работе топливной аппаратуры зависит также и от точности изготовления деталей плунжерной пары, и от качественной их сборки. Несмотря на небольшие зазоры в плунжерных парах, плунжер должен свободно перемещаться во втулке, поэтому к геометрической форме плунжерных пар и чистоте сопрягаемых поверхностей предъявляются высокие требования. Твердость цилиндрических поверхностей плунжерных пар должна быть не ниже HRC 58, шероховатость поверхности плунжера и втулки плунжера  $R_a < 0,04$  мкм, допустимое отклонение от цилиндрической формы – не более 0,001 мм, некруглость – не более 0,0005 мм, конусность – не более 0,0006 мм на длине 20 мм рабочей поверхности плунжера. Из вышеизложенного следует, что к материалу для изготовления плунжерных пар, к его термообработке, к точности геометрических параметров трущихся поверхностей деталей плунжерной пары, а также к качественной их сборке предъявляются очень высокие требования. Все это необходимо учитывать при

разработке технологического процесса восстановления и упрочнения деталей плунжерных пар, принимая во внимание величину и характер их изнашивания в процессе эксплуатации. Плунжерные пары работают в сложных условиях. При этом имеют место высокие давления и скорость рабочей среды, которая содержит твердые абразивные частицы различных размеров. Износ деталей плунжерных пар происходит из-за минеральных частиц, входящих в состав загрязнений и микротвердость таких абразивных частиц довольно высока, а микротвердость рабочих поверхностей деталей плунжерных пар составляет 9000... 10500 МПа, отсюда становится очевидной причина абразивного износа деталей плунжерных пар. Наличие абразивных частиц в топливе, соотношение их размеров с зазорами в плунжерных парах и высокая скорость движения топлива относительно поверхностей деталей определяют их гидроабразивный износ и абразивное истирание вследствие защемления частиц в зазоре. Гидроабразивный износ представляет собой процесс совместного действия абразивных частиц и жидкости, несущей эти частицы. Износ происходит в результате срезания микростружек поверхности, выбивания отдельных ее частиц, вымывания микроскопических объемов, внедрения жидкости, находящейся под высоким давлением, в дефектные очаги, сопровождающегося расклинивающим действием [6]. В большинстве работ [7-10] указывается на то, что абразивное истирание поверхностей

вследствие заземления частиц в зазоре происходит в том случае, когда размер абразивных частиц несколько больше зазора между сопрягаемыми поверхностями. Частицы заклиниваются в зазоре, внедряются в одну из поверхностей и действуют подобно резцу. На поверхности появляются крупные риски, направленные параллельно движению плунжера.

Некоторые авторы [11] указывают на то, что соизмеримые с зазором частицы своими острыми кромками также наносят микроцарапины на поверхности или деформируют поверхностный слой при перекачивании, а частицы меньше радиального зазора в основном проявляют свое действие при гидроабразивном изнашивании. Весьма важно отметить, что износ заземляемыми в зазоре частицами может иметь место в любой зоне сопряженных поверхностей плунжерных пар, а гидроабразивному износу могут подвергаться только те участки поверхностей, которые соприкасаются с движущимся топливом. Анализ условий работы плунжерных пар [3, 5] показывает, что движение топлива относительно поверхностей деталей происходит при просачивании его через зазоры и перетекании в окна гильзы в моменты начала и конца подачи. При перетекании топливо омывает кромки окон гильзы и плунжера и примыкающие к ним участки поверхностей. Просачивание топлива в моменты нагнетания также происходит в основном в зонах, непосредственно примыкающих к указанным кромкам в районах открытия и закрытия окон. В этих местах создаются наиболее короткие пути перетекания топлива из полости высокого давления в полость низкого давления.

Поскольку нагнетание топлива совершается на части хода плунжера, составляющего обычно 1,5...5 мм (активный ход плунжера), то и гидроабразивному износу, обусловленному просачиванием топлива, могут

подвергаться только небольшие участки поверхностей плунжера и гильзы, соизмеримые с активным ходом плунжера по длине и примыкающие к кромкам.

Отличительной особенностью износа деталей плунжерных пар является концентрация его на отдельных участках поверхностей. У гильзы участки износа сконцентрированы выше впускного и с нижней стороны от перепускного окон. У плунжера местные износы располагаются в зонах поверхности, совмещаемых при работе с указанными участками износа гильзы, то есть на участке, примыкающем к впускному окну, и у отсечной кромки в той ее части, где происходит открытие перепускного окна при отсечке подачи. Расположение участков местных износов на поверхностях плунжера и гильзы совпадает с зонами наиболее интенсивного просачивания топлива через зазоры при нагнетании и перетекании его в окна в начальный и конечный моменты нагнетания. Этот факт указывает на связь износа плунжерных пар с перетеканием топлива.

Величины местных износов у плунжера и гильзы неодинаковы, максимальному износу подвергается участок поверхности плунжера, примыкающий к впускному окну гильзы. Глубина местной впадины у предельно изношенного плунжера в непосредственной близости от кромки верхнего торца достигает 30...35 мкм, а на расстоянии 1 мм от кромки – 20...25 мкм.

Ширина изношенного участка достигает 7,5 мм по дуге окружности плунжера. По длине плунжера износ распространяется на 9...10 мм от кромки верхнего торца. В меньшей степени изнашивается втулка в зоне впускного окна. Непосредственно у кромки окна глубина впадины не превышает 20 мкм, а на расстоянии 1 мм кверху от нее – 10...15 мкм.

По мере приближения к кромке окна глубина впадины постепенно

увеличивается, а ее ширина по дуге окружности гильзы уменьшается [9].

Примечательной особенностью местных износов является то, что впадины имеют увеличивающуюся глубину по направлению к кромкам плунжера и гильзы. Это выравнивает сечение образующихся в результате износа каналов, по которым топливо перетекает из надплунжерного пространства в полость пониженного давления.

Такая особенность износа свидетельствует о гидро-абразивном характере процесса изнашивания. Таким образом, можно предположить, что процесс изнашивания плунжерных пар протекает следующим образом.

В момент подачи топлива через впускное окно гильзы (рис. 1, а) абразивные частицы, содержащиеся в топливе, изнашивают кромки впускного окна гильзы и кромку плунжера напротив впускного окна гильзы. В начальный момент нагнетания (рис. 1, б) и при отсечке подачи (рис. 1, в) движущиеся вместе с топливом твердые абразивные частицы наносят микроцарапины на кромках окон гильзы (на участках перекрытия окон) и плунжера и на непосредственно примыкающих к ним участках поверхностей.

При отсечке подачи (рис. 1, г) имеет место завихрение выходящей с большой скоростью в перепускное окно струи топлива.

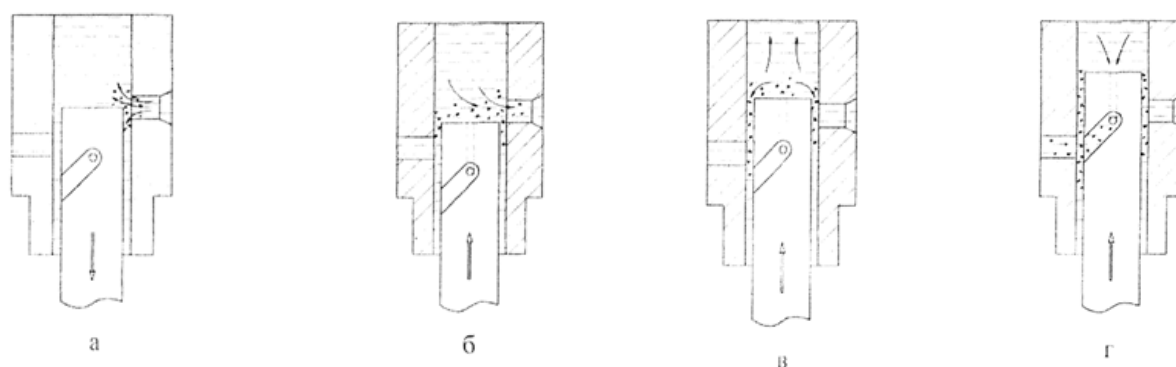


Рис. 1. Механизм изнашивания плунжерных пар:  
а – момент подачи топлива; б – начальный момент нагнетания;  
в – момент нагнетания топлива; г – момент отсечки подачи

В результате завихрения отдельные струи топлива с содержащимися в нем абразивными частицами ударяются о поверхность плунжера, расположенную выше отсечной кромки. Вследствие многочисленных ударов абразивными частицами на указанной поверхности плунжера образуются многочисленные микроскопические вмятины. Движущееся топливо размывает дефектные очаги (царапины и каверны). В процессе нагнетания, при перекрытых окнах гильзы (см. рис. 1, в), вместе с топливом, просачивающимся по кратчайшим путям в

окна гильзы, в зазор между плунжером и гильзой заносятся абразивные частицы. Мелкие и соизмеримые с зазором абразивные частицы протаскиваются между поверхностями плунжера и втулки движущимся топливом и за счет этого движения наносят царапины на поверхностях как плунжера, так и втулки плунжера. Крупные частицы, попадая в зазор между плунжером и втулкой, защемляются и изнашивают сопряженные поверхности. Занесенные топливом и защемленные в зазоре частицы изнашивают поверхности деталей плунжерных пар и

после отсечки подачи. Таким образом, изнашивание плунжерных пар является гидроабразивным по своему характеру и сопровождается защемлением абразивных частиц. Износ производят движущееся топливо и все содержащиеся в нем частицы, что приводит к появлению на рабочих поверхностях плунжерной пары глубоких борозд (рис. 2).

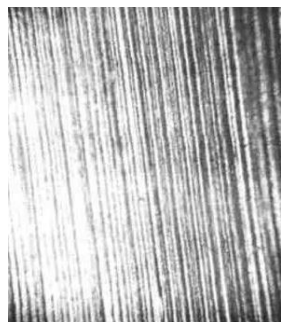


Рис. 2. Внешний вид поверхности изношенного плунжера (x80)

Такой механизм изнашивания плунжерных пар объясняет все рассмотренные выше особенности их износа. Расположение местных износов совпадает с зонами просачивания топлива через зазоры и перетекания его в окна. Направление бороздок указывает на то, что вблизи кромок ведущим является гидроабразивный износ, так как оно совпадает не с направлением движения плунжера, а с линиями движения топлива. Изменение направления бороздок связано с тем, что износ в этих зонах является следствием защемления частиц в зазоре. Так как участок поверхности плунжера, примыкающий к верхней торцевой кромке, перемещается в момент нагнетания из зоны действия гидроабразивного износа в зону износа только защемленными частицами, то бороздки здесь имеют направление, совпадающее с направлением его движения. Механизм изнашивания деталей плунжерных пар объясняет большой износ плунжера на участке, примыкающем к впускному окну гильзы, по сравнению с

соответствующим местным износом гильзы, а также меньший износ поверхностей у отсечной кромки плунжера и перепускного окна гильзы. У гильзы изношенная поверхность имеет отрицательный угол откоса к направлению движения потока топлива, что снижает изнашивающее воздействие на нее гидроабразивной струи. Поверхность плунжера, наоборот, обращена под некоторым углом навстречу потоку топлива. Тем самым она постоянно испытывает направленное воздействие струи. Кроме того, у поверхности плунжера оказывается более высокая скорость потока топлива вследствие слияния ее со скоростью его собственного движения. Защемленные частицы, вероятно, чаще всего шаржируются поверхностью втулки ввиду ее неподвижного положения. Это также приводит к большему износу плунжера. Кроме абразивных частиц в дизельном топливе присутствует вода, которая способствует образованию слабых и сильных электролитов водорастворимых кислот, являющихся наиболее активными реагентами электрохимической коррозии [11]. Вода и растворенные в ней вещества вызывают сильную коррозию деталей системы питания и приводят к дополнительному засорению топлива продуктами коррозии, отложению их на стенках топливных баков, топливопроводов, попаданию в зазоры прецизионных деталей. Описанные характер и механизм изнашивания позволяют сделать вывод о том, что износ деталей носит сложный гидроабразивный характер. В среднем плунжер изнашивается в 1,5-2 раза больше, чем втулка, и величина его износа не превышает 40 мкм. Поэтому для повышения долговечности плунжерных пар при их восстановлении необходимо на поверхности плунжера создать слой, толщина которого учитывает максимальную величину износа плунжера и припуски на механическую обработку, имеющий достаточную микротвердость (в

сравнении с микротвердостью основных абразивов микротвердость поверхности плунжера должна превышать 13000 МПа) и высокую коррозионную стойкость. В настоящее время существует целый ряд способов восстановления и упрочнения плунжерных пар топливных насосов [3,5, 10]. Восстановление плунжерных пар в настоящее время производится следующими методами: перекомплектовки; изготовления ремонтной детали; пластического деформирования втулки плунжера; химического никелирования; повторного азотирования; диффузионного хромирования плунжера; борирования втулки и плунжера; сульфоборирования; хромирования плунжера. Проведенный анализ показал, что существующие способы восстановления и упрочнения изношенных деталей плунжерной пары имеют много недостатков, вследствие чего требуется разработать способ более технологичный, относительно несложный, малотрудоемкий, а также проходящий при низких температурах с целью избежания нарушения термообработки и появления коробления деталей. Наиболее перспективным для восстановления плунжерных пар может быть формирование на рабочей поверхности многокомпонентного покрытия, обладающего заданной твердостью и антифрикционными свойствами. Основной подход к формированию покрытий, содержащих в своем составе соединение  $\text{MoS}_2$ , состоит в отказе от плазмохимического синтеза и введении в плазмобразующую среду молекул данного вещества в связанном состоянии. Наиболее целесообразно использование покрытий из  $\text{MoS}_2$  в качестве антифрикционного слоя двухслойных покрытий. При этом блокируется влияние материала подложки на элементный состав пленки, предотвращается охрупчивание ее включениями железа и делает покрытие более универсальным к материалам деталей. Исследование на трение и

изнашивание показывает, что антифрикционные свойства деталей пары трения резко возрастают при нанесении тонкопленочных покрытий (1-2 мкм) из меди, содержащей значительные примеси дисульфида молибдена. Пленки из этого материала мало чувствительны к материалу контртела пары трения. Такие характеристики, как величина износа и коэффициент трения, остаются примерно постоянными для большинства материалов железоуглеродистой группы, что снижает жесткие ограничения при выборе материалов сопряженной поверхности. Усредненные значения результатов испытаний на изнашивание показывают, что износ покрытий, содержащих дисульфид молибдена, выше, чем у других покрытий и контрольных образцов (табл. 3). Особенно велика потеря массы покрытия в начальный период приработки. Коэффициент трения покрытий, содержащих  $\text{MoS}_2$ , достаточно низок и незначительно изменяется при увеличении давления на контакте трения (табл. 4). Низкое значение коэффициента трения взаимодействующей пары сохраняется длительное время и после истирания антифрикционного покрытия, что обусловлено не только ионной имплантацией  $\text{MoS}_2$  в приповерхностную область детали, но и насыщением поверхности молекулами этого соединения в процессе эксплуатации пары трения. Применение покрытий, содержащих сульфид молибдена, в 2-3 раза сокращает время стабилизации моментов трения и значительно повышает предельную нагрузку схватывания. Триботехнические свойства покрытий малочувствительны к материалам основы и остаются практически неизменными при нанесении на пленки из  $\text{TiN}$ . Следует отметить, что покрытия, содержащие  $\text{MoS}_2$ , значительно снижают энергонапряженность контакта трения (табл. 5). Так, максимальная объемная температура масла при испытании образцов с покрытием на 30-

## Рухомий склад залізниць

40 % ниже, чем у контрольных образцов, а при увеличении нагрузки это различие не поддается объективной оценке, так как на контрольных образцах происходит возгорание масла. Очевидно, что снижению энергонапряженности контакта трения способствует медная основа пленки покрытия из MoS<sub>2</sub>, обладающая высокой теплопроводностью. Учитывая возвратно-вращательный характер взаимного скольжения деталей средств транспорта и большие нагрузки на контакте, одним из определяющих требований, предъявляемых

к покрытиям, является нагрузка задиорообразования. У вакуум-плазменных покрытий с высоким содержанием MoS<sub>2</sub> (как двухслойных, так и однослойных) эта величина достигает 20 МПа, что значительно выше, чем у других покрытий триботехнического плана. Таким образом, лабораторные испытания двухслойных покрытий TiN→(Cu+ MoS<sub>2</sub>) показывают, что их физико-механические и триботехнические параметры полностью соответствуют условиям эксплуатации деталей средств транспорта.

Таблица 3

Результаты на износ покрытий TiN→(Cu+ MoS<sub>2</sub>) в ступенчатом режиме (τ=2 ч)

Пара трения	Давление, МПа		
	6	8	14
Исходный материал	0,0003/0,0001	0,0007/0,0004	-
С покрытием	0,0014/0,0007	0,0010/0,0006	0,0001/0,0004

Таблица 4

Коэффициент трения образцов с двухслойным покрытием

Пара трения	Давление, МПа			Давление задиорообразования
	6	8	14	
Исходный материал	0,09	0,10	0,13	14
С покрытием	0,06	0,08	0,09	20

Таблица 5

Максимальная объемная температура масла, °С при испытании образцов с двухслойным покрытием

Пара трения	Давление, МПа		
	6	8	14
Исходный материал	92	110	-
С покрытием	64	72	120

Таким образом, проведенные исследования дают основание утверждать, что вакуум-плазменное нанесение таких покрытий способно увеличить ресурс деталей в несколько раз при одновременном улучшении их эксплуатационных характеристик и упрочнении технологии их производства.

Покрытия на основе меди с высоким содержанием MoS<sub>2</sub> очень чувствительны к режимам осаждения, что позволяет формировать пленки с заданным распределением компонентов по толщине. Наиболее оптимальным представляется осаждение покрытий в азотной среде при высоких стартовых температурах с

последующим подстуживанием деталей. При вакуум-плазменном осаждении покрытий, содержащих  $\text{MoS}_2$ , молекулы дисульфида молибдена глубоко диффундируют в приповерхностную область и локализуются в местах с явно выраженной структурно-фазовой неоднородностью. Это должно положительно сказываться на триботехнических свойствах поверхности и при окончании процесса приработки, то есть после изнашивания антифрикционного слоя. В связи с этим целесообразно формирование износостойкого слоя в ступенчатом режиме.

### Выводы

1. Проанализированы технические требования, предъявляемые к плунжерным парам, и условия эксплуатации и установлены характер износа прецизионных пар трения и способов восстановления и упрочнения на примере деталей плунжерных пар.

2. Разработаны принципы формирования многокомпонентных покрытий для восстановления деталей средств транспорта, которые учитывают связь между технологическими параметрами процессов нанесения покрытий, структурой, механическими и эксплуатационными свойствам нанесения покрытий.

### Список использованных источников

1. Антипов, В.В. Износ прецизионных деталей и нарушение характеристик топливной аппаратуры дизелей [Текст] / В.В. Антипов. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
2. Бахтиаров, Н.И. Производство и эксплуатация прецизионных пар [Текст] / Н.И. Бахтиаров, В.Е. Логинов. – М.: Машиностроение, 1979. – 203 с.
3. Бахтиаров, Н.И. Технология обработки прецизионных пар [Текст] / Н.И. Бахтиаров, В.Е. Логинов. – М.: Машгиз, 1963. – 287 с.
4. Лебедев, Б.И. Материалы и термическая обработка прецизионных деталей дизельной топливной аппаратуры [Текст] / Б.И. Лебедев // Тр. ЦНИТА. – М., 1989. – Вып. 9. – С. 48-51.
5. Евсиков, А.В. Технология производства и ремонта топливной аппаратуры дизелей [Текст] / А.В. Евсиков, В.Я. Попов. – М.: Машгиз, 1958. – 307 с.
6. Икрамов, У.А. Расчет абразивного износа сопряжения плунжер-штуцер топливоподающей аппаратуры дизелей [Текст] / У.А. Икрамов, М.И. Ташкулатов, К.Х. Махкамов [Текст] // Проблемы трения и изнашивания. – 1980. – Вып. 17. – С. 75-78.
7. Зубчетов, Н.П. Исследование насосов распределительного типа [Текст] / Н.П. Зубчетов // Тр. НАТИ. – М., 1960. – С. 23-28.
8. Гуревич, Д.Ф. К теории износа плунжерных пар [Текст] / Д.Ф. Гуревич // Автомобильная промышленность. – 1958. – Вып. 10. – С. 26-28.
9. Износ плунжерных пар насосов [Текст] / Б.И. Костецкий [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1973. – Вып. 12. – С. 33-36.
10. Кривенко, П.М. Техническое обслуживание дизельной топливной аппаратуры [Текст] / П.М. Кривенко, И.М. Федосов. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 374 с.
11. Хрущов, М.М. Абразивное изнашивание [Текст] / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 252 с.

---

Остапчук Віктор Миколайович, доктор техн. наук, професор кафедри матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 7301049. E-mail: [fedcirina@yandex.ru](mailto:fedcirina@yandex.ru).

Viktor Ostapchuk, doct. of techn. sciences, professor of materials and manufacturing techniques for transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 7301049. E-mail: [fedcirina@yandex.ru](mailto:fedcirina@yandex.ru).

---



УДК [656.3.002.237:625.11].001

**ОСОБЛИВОСТІ ОПТИМІЗАЦІЙНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ  
ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО  
ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ**

Канд. техн. наук О.В. Братченко

**ОСОБЕННОСТИ ОПТИМИЗАЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

Канд. техн. наук А.В. Братченко

**PARTICULARITIES OPTIMIZATION DESIGNING THE TECHNICAL  
FACILITIES OF THE TRANSPORT WITH USE THE MATHEMATICAL  
PLANNING THE EXPERIMENT**

Cand. of techn. sciences A. Bratchenko

*Розглянуто особливості використання сучасних методів математичного планування експерименту для отримання узагальнених математичних моделей, які доцільно застосовувати на відповідних адаптивних етапах оптимізаційного проектування технічних засобів транспорту. Наведено приклад отримання і використання таких моделей у розв'язанні задачі удосконалення систем повітропостачання рухомого складу на основі використання компресорів нової конструкції.*

**Ключові слова:** математичне планування експерименту, узагальнені математичні моделі, оптимізаційне проектування, технічні засоби транспорту.

*Рассмотрены особенности использования современных методов математического планирования эксперимента для получения обобщенных математических моделей, которые целесообразно применять на адаптивных этапах оптимизационного проектирования технических средств транспорта. Приведен пример получения и использования таких моделей в решении задачи усовершенствования систем воздухообеспечения подвижного состава на основе использования компрессоров новой конструкции.*

**Ключевые слова:** математическое планирование эксперимента, обобщенные математические модели, оптимизационное проектирование, технические средства транспорта.

*Motivated urgency of the further deployment research and research and development work with purpose of the making the models domestic locomotive and coach with perfected technical-economic factor. It is shown that decision of such problems on modern level requires undertaking optimization designing the transport technical facilities on the most important technical-economic factors. Undertaking optimization designing the technical facilities provides the maximum linearization of this process to account of the realization principle to adaptive strategy under rational undertaking the studies on the main adaptive stage. The Base of the undertaking adaptive stage studies are generalized mathematical models, which describe the influence corresponding to constructive parameter on value factor and functional restrictions on designing. The Considered particularities of the use the modern methods of the mathematical planning the experiment for reception generalized mathematical models, which reasonable use on adaptive stage optimization*

*designing the technical facilities of the transport. It Is Cited an instance receptions and use of such models in decision of the problem of the improvement of the systems of воздухоснабження rolling stock on base of the use compressor to new design.*

**Keywords:** *mathematical planning the experiment, generalized mathematical models, optimizacion designing, technical facilities of the transport.*

**Вступ. Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями.** Забезпечення залізниць рухомим складом нового покоління є пріоритетним напрямком оновлення активної частини виробничої бази залізничного транспорту України. Це обґрунтовує актуальність подальшого розгортання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт для створення перспективних моделей вітчизняних локомотивів і вагонів з поліпшеними техніко-економічними показниками (ТЕП) [1]. Розв'язання таких задач на сучасному рівні потребує проведення оптимізаційного проектування транспортних технічних засобів (ТЗ) за найважливішими технічними, економічними, інтегральними критеріями, які відповідають високому рівню ТЕП [2,3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У загальній постановці метою оптимізаційного проектування ТЗ є визначення вектора керованих конструкційних параметрів  $Q^*(q_1^*, q_2^*, \dots, q_m^*)$ , який у теоретичному плані задовольняє усі задані умови на проектування і забезпечує досягнення екстремального значення цільової функції (ЦФ)  $F(Q)$  – значення ЦФ в оптимальній точці  $F^*(Q^*)$  [4].

Необхідність зведення багатокритерійної задачі оптимізаційного проектування ТЗ до однокритерійної потребує проведення процедури згортання векторного критерію. Це передбачає виділення з розглядуваних критеріїв (показників)  $Y(u_1, u_2, \dots, u_n)$  основного критерію оптимальності (наприклад

$y_{gen} = y_k$ ). Тоді ЦФ подається у вигляді залежності основного критерію від керованих параметрів  $y_{gen} = F(Q)$ . Інші критерії належать до вторинних і подаються у вигляді функціонально залежних від керованих змінних показників – функціональних обмежень, що накладаються на розв'язання оптимізаційної задачі. При багатовимірній оптимізації конструкції керовані параметри визначають значення прямих (параметричних) і функціональних обмежень [4,5].

Проведення оптимізаційного проектування ТЗ передбачає максимальну лінеаризацію цього процесу на основі реалізації принципів адаптивної стратегії при раціональному проведенні досліджень на основних адаптивних етапах [4]. Останнє досягається за рахунок використання узагальнених математичних моделей (УММ), які описують вплив відповідних конструктивних параметрів на величину критеріального показника і функціональних обмежень на проектування ТЗ. У цьому плані більшої уваги заслуговує розглядання особливостей отримання таких УММ на основі використання сучасних методів математичного планування експерименту (МПЕ) [5,6].

**Визначення мети і задачі дослідження.** Метою статті є висвітлення особливостей розв'язання задач оптимізації основних елементів конструкції ТЗ залізничного транспорту з використанням методів МПЕ.

**Основна частина дослідження.** Сучасні методи МПЕ передбачають проведення експериментальних або розрахункових досліджень на основі відповідного математичного плану, який

задає визначену мінімальну кількість експериментів або розрахунків, необхідних для отримання простих і точних УММ.

У методичному плані отримання УММ з використанням методів МПЕ передбачає нижченаведену послідовність дій.

1. У залежності від об'єкта і мети дослідження визначаються показники  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , змінні параметри (фактори)  $q_1, q_2, \dots, q_m$ . Установлюються інтервали варіювання факторів. Для формування математичних планів на основі відповідних план-матриць [7] вводяться нормовані значення факторів

$$x_i = (q_i - q_{in}) / \Delta q_i, \quad (1)$$

де  $q_{in}$  – початковий (нульовий) рівень змінної  $q_i$

$$q_{in} = (q_{imax} + q_{imin}) / 2, \quad (2)$$

де  $q_{imax}, q_{imin}$  – відповідно максимальне та мінімальне значення змінної  $q_i$  (границі заданого інтервалу);

$\Delta q_i$  – крок варіювання змінної  $q_i$

$$\Delta q_i = (q_{imax} - q_{imin}) / k, \quad (3)$$

де  $k$  – число цілих ділянок, на які розбитий інтервал варіювання змінної  $q_i$ .

Найчастіше  $k = 2$ .

У відповідності до цього значення  $x_i = 1$  відповідає  $q_i = q_{imax}$ , значення  $x_i = 0$  відповідає  $q_i = q_{in}$ , а  $x_i = -1$  -  $q_i = q_{imin}$ .

2. Визначається вид УММ -  $y_i = f(q_1, q_2, \dots, q_n)$ . У більшості випадків у практиці отримання УММ для оптимізаційного проектування ТЗ застосовуються ортогональні математичні плани другого порядку, використання яких

передбачає одержання УММ у вигляді полінома другого ступеня

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i q_i + \sum_{i=1}^m a_{ii} q_i^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ (i < j)}}^m a_{ij} q_i q_j. \quad (4)$$

У разі необхідності можуть застосовуватися рототабельні та інші математичні плани, використання яких передбачає отримання УММ у вигляді поліномів вищих порядків. Слід зауважити, що у випадках проведення експериментальних досліджень при встановленні порядку проведення передбачених планом дослідів, використовується процедура рандомізації [4].

3. У залежності від числа факторів  $q_m$  і виду УММ обирається відповідна матриця планування і складається математичний план проведення дослідження [5,6].

4. У відповідності до математичного плану проводиться експериментальне або розрахункове дослідження, формуються масиви показників  $y_1, y_2, \dots, y_n$ .

5. На основі отриманих масивів показників  $y_1, y_2, \dots, y_n$  визначаються параметри (коефіцієнти) УММ виду  $y_i = f(q_1, q_2, \dots, q_n)$ . Для цього використовуються спеціальні програми, які забезпечують розв'язання системи нормальних рівнянь, наведених нижче у матричній формі,

$$C \cdot A = X_T \cdot Y, \quad (5)$$

де  $C = X_T \cdot X$  – інформаційна матриця;

$X$  – матриця планування;

$X_T$  – транспонована матриця матриці

$X$ ;

$A$  – матриця – стовпець коефіцієнтів УММ;

$Y$  – матриця – стовпець отриманих за планом значень відповідного показника  $y_i$ .

6. Після визначення коефіцієнтів здійснюється перевірка адекватності УММ. У більшості випадків з цією метою обраховується величина дисперсії адекватності  $S_{ad}$  і контролюється умова  $S_{ad} \leq [S_{ad}]$ . Для розрахунків  $S_{ad}$  використовується формула

$$S_{ad} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^l (y_{ij} - y_{ijp})^2}{f_{ad}}}, \quad (6)$$

де  $l$  – число заданих планом необхідних експериментів (або розрахунків);

$y_{ij}, y_{ijp}$  – значення показника  $y_i$ , які отримані при  $j$ -му експерименті за планом і потім шляхом розрахунків за допомогою УММ;

$f_{ad} = n - m - 1$  – число степенів вільності  $S_{ad}$  ( $m$  – число змінних  $q_m$ ).

Більш універсальною є перевірка адекватності УММ за допомогою критерію Фішера –  $F \leq [F]$ :

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} \leq F_{(0,05; f_{ad}; f_y)}, \quad (7)$$

де  $S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{ip})^2}{f_y}}$  – дисперсія відтворюваності;

$f_y = n$  – число степенів вільності  $S_y$ ;

$F_{(0,05; f_{ad}; f_y)}$  – табличне (довідкове) значення критерію Фішера при 5 %-му рівні значущості для відповідних значень  $f_{ad}, f_y$ .

Досвід використання УММ при оптимізаційному проектуванні ТЗ вказує на

доцільність оцінювання значущості їх коефіцієнтів, що дає змогу виділити роль того чи іншого фактора у формуванні величини показника  $y_i$  в розглядуваній області факторного простору. При використанні критерію Стюдента до числа значущих належать коефіцієнти  $a_i$ , для яких виконується умова

$$|a_i| \geq t_{(0,05; f_y)} \frac{S_y}{\sqrt{n}}, \quad (8)$$

де  $t_{(0,05; f_y)}$  – табличне (довідкове) значення критерію Стюдента, що відповідає 5 %-й точці розподілення Стюдента з  $f_y$  степенями вільності.

Як приклад нижче наведені результати оптимізаційного дослідження з обґрунтованого вибору основних конструкційних параметрів нових компресорів для систем повітропостачання сучасного залізничного рухомого складу [8]. Мова йде про отримання і дослідження УММ, які описують залежність основних показників компресора - загального об'єму конструкції  $V_\Sigma$  (критеріальний показник), продуктивності  $Q$ , витрат потужності на привод  $N_\delta$  (функціональні обмеження) від конструкційних параметрів (діаметр рухомого корпусу  $D_K$  і довжина циліндра  $L$ ) і частоти обертання вала компресора  $n$ .

Нижче наведені УММ виду  $V_\Sigma = f(D_K, L)$ ,  $\bar{Q} = Q/n = f(D_K, L)$  і  $\bar{N}_\delta = N_\delta/n = f(D_K, L)$ , отримані з використанням ортогонального математичного плану для двох змінних, що варіюються на трьох рівнях в обраних інтервалах:

$D_K = 100...280$  мм,  
 $L = 70...270$  мм.

$$V_\Sigma = 0,097326 - 0,001186 \cdot D_K - 6,472 \cdot 10^{-4} \cdot L + 3,12 \cdot 10^{-6} \cdot D_K^2 + ; \quad (9)$$

$$+ 1,233 \cdot 10^{-7} \cdot L^2 + 7,642 \cdot 10^{-6} \cdot D_K \cdot L$$

$$\bar{Q} = 1,1731 \cdot 10^{-3} - 1,43 \cdot 10^{-5} \cdot D_K - 7,8 \cdot 10^{-6} \cdot L + 3,8 \cdot 10^{-8} \cdot D_K^2 + ; \quad (10)$$

$$+ 1,5 \cdot 10^{-9} \cdot L^2 + 9,2 \cdot 10^{-8} \cdot D_K \cdot L$$

$$\bar{N}_o = 7,4182 \cdot 10^{-3} - 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot D_K - 4,93 \cdot 10^{-5} \cdot L + 2 \cdot 10^{-7} \cdot D_K^2 + \quad (11)$$

$$+ 9,2 \cdot 10^{-9} \cdot L^2 + 5,83 \cdot 10^{-7} \cdot D_K \cdot L$$

Перевірка адекватності показала, що значення величин дисперсії адекватності для відповідних УММ складають:

$$\sigma_{V_\Sigma} = \pm 8,53 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

$$\sigma_{\bar{Q}} = \pm 1,032 \cdot 10^{-4} \frac{(\text{м}^3 / \text{хв})}{(\text{об} / \text{хв})},$$

$$\sigma_{\bar{N}_o} = \pm 6,52 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кВт}}{\text{об} / \text{хв}}.$$

Такий результат підтверджує доцільність використання УММ у розв'язанні оптимізаційної задачі. При

цьому доцільно використовувати отримані з використанням УММ (9)...(11) бінарні перерізи [4,5] у вигляді ізоліній критеріального показника і функціональних обмежень у розглянутій області оптимізації.

На рисунку наведений комплексний графік (об'єднує відповідні бінарні перерізи), який дав змогу знайти шукані конструктивні параметри нових компресорів (при  $n = 1500 \text{ об/хв}$ ) для систем повітропостачання залізничного рухомого складу.

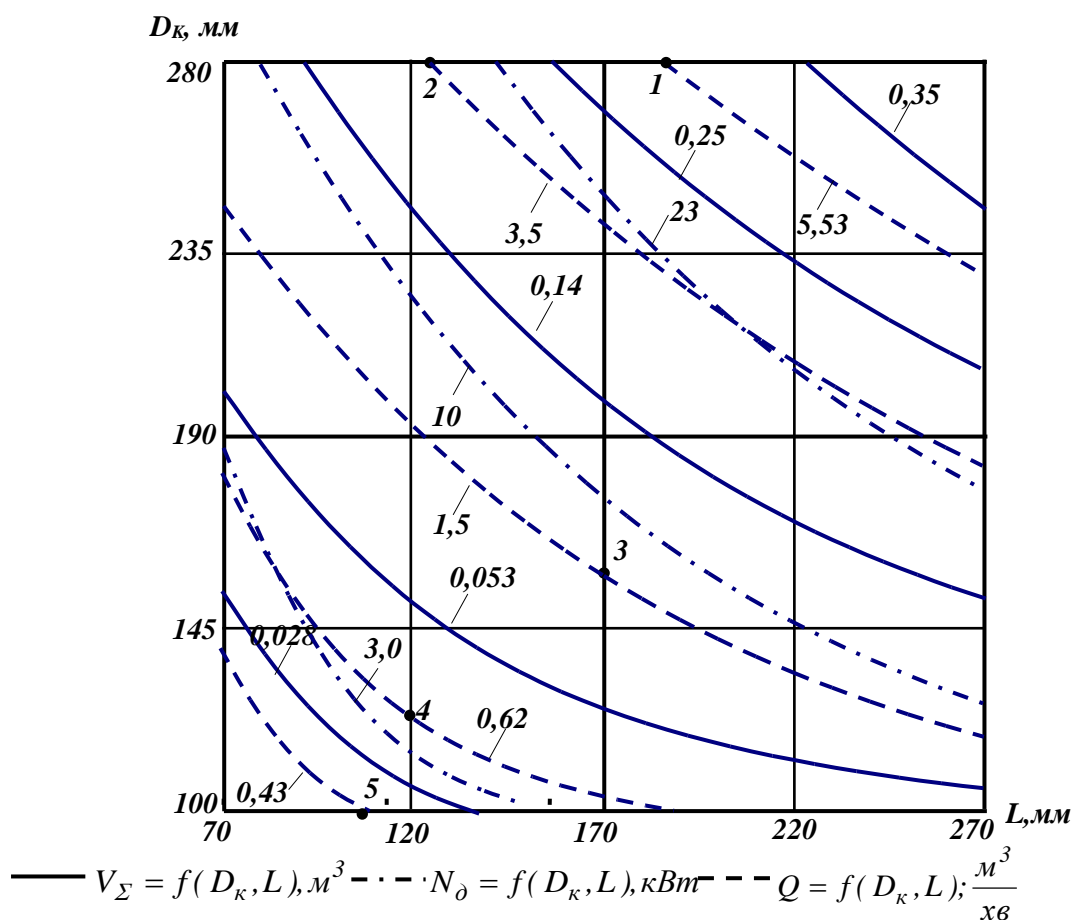


Рис. Комплексний графік для визначення основних параметрів нових компресорів для систем повітропостачання рухомого складу

Відзначені на графіку точки 1, 2, 3, 4, 5 відповідають конструкційним параметрам, габаритам і витратам потужності на привод нових компресорів, які за своєю продуктивністю і тиском нагнітання повітря відповідають існуючим поршневым компресорам типів КТ-7; ПК-3,5; ВВ-1,5/9; ЭК-7Б; ЭК-4 (використовуються в системах повітропостачання відповідно магістральних тепловозів серії 2ТЕ116, маневрових тепловозів ТГМ6, дизель-поїздів ДР1А, електропоїздів ЕР2, вагонів метрополітену серій 81 і ЕС). У той же час у порівнянні з розглянутими поршневими компресорами, нові компресори при забезпеченні потрібної продуктивності

відзначаються суттєво нижчими масогабаритними показниками і потребують значно менших витрат потужності на привод.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Наведені в статті матеріали забезпечують розв'язання складних задач оптимізаційного проектування технічних засобів транспорту. Описані особливості використання методів МПЕ для отримання відповідних УММ доцільно використовувати при створенні залізничних ТЗ нового покоління.

### Список використаних джерел

1. Недосеков, А.Н. Стратегические ориентиры производства транспортной техники [Текст] / А.Н. Недосеков // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 11. – С. 46-48.
2. Боднар, Б.Є. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування [Текст]: підручн. для ВНЗ залізнич. трансп. [Текст] / Б.Є. Боднар, Є.Г. Нечаєв, Д.В. Бобир; за ред. д-ра техн. наук, проф. Б.Є. Боднара. – Дніпропетровськ: ПП «Ліра ЛТД», 2010. – 358 с.
3. Мороз, В.І. Новий підхід до формалізованого описання конструкції технічних засобів залізничного транспорту [Текст] / В.І. Мороз // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 4. – С.41 – 42.
4. Мороз, В.І. Основи конструювання і САПР [Текст]/ В.І.Мороз, О.В.Братченко, В.В.Ліньков. – Харків: ПП видавництво «Нове слово», 2003. – 194 с.
5. Мороз, В.І. Основи конструювання і САПР технічних засобів залізничного транспорту [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, К.В. Астахова. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – 136 с.
6. Ермаков, С.М. Математическая теория оптимального эксперимента [Текст] / С.М. Ермаков, А.А. Жиглявский. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
7. Бродский, В.З. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей [Текст] / В.З. Бродский, Л.И. Бродский, Т.И. Голикова [и др.]. – М.: Металлургия, 1982. – 752 с.
8. Мороз, В.І. Оцінювання перспектив використання компресорів нової конструкції на залізничному тяговому рухомому складі [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, М.Б. Чубикало // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 99-106.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.В. Устенко

---

Братченко Олександр Васильович, канд. техн. наук, доцент кафедри механіки і проектування машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 057-730-10-53.

Bratchenko Oleksandr Vasylovych, cand. of techn. sciences, Associate Professor Department of mehaniki i proektuvannya machines Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.057-730-10-53

---

УДК 629.4.033:62-233.3/9

**ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЧЕПЛЕННЯ ТЯГОВИХ ЗУБЧАТИХ ПЕРЕДАЧ  
З РЕАЛЬНИМИ ПРОФІЛЯМИ ЗУБЦІВ**

Канд. техн. наук С.В. Бобрицький

**ПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЦЕПЛЕНИЯ ТЯГОВЫХ ЗУБЧАТЫХ  
ПЕРЕДАЧ С РЕАЛЬНЫМИ ПРОФИЛЯМИ ЗУБЬЕВ**

Канд. техн. наук С.В. Бобрицкий

**DETERMINATION OF DESCRIPTIONS OF HOOKING OF HAULING GEARINGS  
WITH THE REAL TYPES OF POINTS**

Cand. of techn. sciences S. Bobritski

*В статті розглянута доцільність обґрунтованого підбору пар «шестерня-зубчате колесо» при перекомплектуванні ТЗП. Проаналізовані існуючі методи отримання характеристик зачеплення зубчатих коліс. Наведений новий підхід до визначення характеристик зачеплення зубчатих передач. Наведені приклади отриманих характеристик зачеплення ТЗП з визначенням зносом шестерні та колеса електропоїзда серії ЕР-2. Подано рекомендації щодо подальшого застосування запропонованого підходу для виконання обґрунтованого підбору парних зубчатих коліс.*

**Ключові слова:** рухомий склад, електропоїзд ЕР-2, тягова зубчата передача, зубчаті колеса, характеристики зачеплення, лінія зачеплення,

*В статье обоснована целесообразность обоснованного подбора пар «шестерня-зубчатое колесо» при перекомплектации ТЗП. Проанализированы существующие методы получения характеристик зацепления зубчатых колес. Приведен новый подход к определению характеристик зацепления зубчатых передач. Приведены примеры полученных характеристик зацепления ТЗП с определенным износом шестерни и колеса электропоезда серии ЭР-2. Представлены рекомендации относительно последующего применения предложенного подхода для выполнения обоснованного подбора парных зубчатых колес.*

**Ключевые слова:** подвижной состав, электропоезд ЭР-2, тяговая зубчатая передача, зубчатые колеса, характеристики зацепления, линия зацепления.

*In the article the necessity of the grounded selection of pair is grounded «cog-wheel-toothed wheel» at transposition TZP. It is marked that for the receipt of descriptions of hooking of pair of gear-wheels needed lengths, form and position of line of hooking. The existent methods of receipt of descriptions of hooking of gear-wheels are analysed. The lacks of existent methods are selected. New approach is resulted on determination of descriptions of hooking of gearings. The examples of the got descriptions of hooking of TZP are resulted with the certain wear of cog-wheel and wheel of electric train of series of ER-2. Presented recommendation in relation to subsequent application offered approach on determination of descriptions of hooking of the hauling gearings of the different degrees of wear of gear-wheels with the subsequent grounded selection of threadbare pair gear-wheels at implementation of repairs, and as a result, by the improved external of the hauling gearings environments*

**Keywords:** rolling stock, electric train of ER-2, hauling gearing, gear-wheels, descriptions of hooking of gear-wheels, line of hooking.

**Вступ. Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** Необхідність забезпечення техніко-економічних показників роботи залізничної галузі на високому рівні неухильно пов'язана з підвищенням експлуатаційної надійності тягового рухомого складу (ТРС). При цьому з урахуванням повільного впровадження нових серій ТРС та понаднормативну експлуатацію більшості інвентарного парку рухомого складу [1], особливої уваги заслуговують модулі конструкції ТРС, що безпосередньо впливають на безпеку руху. Одним з таких модулів є екіпажна частина, до складу якої входить тяговий привод, однією з головних складових якого є тягова зубчата передача (ТЗП).

**Аналіз останніх досліджень і результатів.** У ході попередніх досліджень [2,3] було встановлено, що внаслідок нерівномірного зносу шестерень та зубчатих коліс або виходу їх з ладу виникає необхідність перекомплектування ТЗП, тобто обгрунтованого підбору пар «шестерня-зубчате колесо» при виконанні деповських ремонтів. Здійснення підбору пропонується виконувати за найкращими характеристиками зацеплення: геометричними (значення миттєвого передаточного відношення, кутових швидкостей та прискорень), якісними (коефіцієнт перекриття, коефіцієнт питомих ковзань, питомі тиски) та міцнісними (згинні та контактні напруження). Необхідно зазначити, що їх отримання пов'язане з визначенням довжини, форми і положення лінії зацеплення. Традиційні методики визначення лінії зацеплення [4] ґрунтуються на розгляданні зацеплення профілів зубців нових шестерні та колеса, тобто не враховуються ступені та особливості їх зносу.

Аналіз попередніх публікацій показав, що лінія зацеплення зношених зубчатих коліс суттєво відрізняється від лінії

зацеплення нової пари [5]. Наведене вище обґрунтовує доцільність проведення науково-дослідних робіт, спрямованих на аналіз досліджень та розроблення методів щодо отримання лінії зацеплення зношених зубчатих коліс.

У роботі [6] для отримання реальної лінії зацеплення зношеної зубчатої передачі застосовувався метод обкатки моделей профілів, які виготовлялися з жорсткого матеріалу в масштабі збільшення. Положення точки контакту відмічалось на контактованих поверхнях та на нерухомій площині, відносно якої вони обертались. Такий метод наочний та дає можливість уникнути грубих помилок під час розрахунку зацеплення зношених профілів. Але йому притаманні недоліки: складність і трудомісткість виготовлення точних моделей профілів зубців, громіздкість моделі зубчатої передачі в зборі (так, при масштабі 10:1 модель зубчатої передачі електропоїзда серії ЕР-2 буде складати 4,8 м завдовжки та 2 м завширшки).

Аналітичний метод визначення координат контактних точок лінії зацеплення [7] потребує складних розрахунків та не дає достатньої точності.

Недоліки зазначених методів отримання лінії зацеплення вказують на необхідність розроблення нового підходу до її визначення.

**Мета статті і викладення основного матеріалу.** Метою статті є опис запропонованого підходу до визначення характеристик зацеплення зубчатих передач, відповідно до яких виконується обґрунтування підбору парних коліс ТЗП.

Запропонований підхід до розв'язання цієї задачі передбачає нижченаведену послідовність дій.

1. Отримуються цифрові описи профілів зубців з різними ступенями зносу за методикою [8].

2. Виконується побудова профілів зубців за отриманими цифровими описами в середовищі Компас-3D з відповідним масштабом збільшення.



3. Виконується узгоджене прокручування зубчатих коліс у заданих напрямках з отриманням дискретних положень точок контакту профілів з перевіркою відсутності інтерференції (формування лінії зачеплення від початкової  $B_1$  до кінцевої  $B_2$  точок зачеплення).

4. Визначаються миттєве передаточне відношення  $i$ , кутові швидкості  $\omega_2$  та прискорення  $\varepsilon_2$ .

5. Визначаються коефіцієнт перекриття  $\varepsilon$ , максимальні питомі ковзання  $\lambda_{1max}$  і  $\lambda_{2max}$ , питомі тиски  $\nu$ .

6. Проводиться розрахунок коефіцієнта додаткового динамічного навантаження  $k_\Delta$ .

Запропонований підхід було використано в дослідженні з удосконалення технології ремонту ТЗП електропоїздів серії ЕР-2. Як приклад розглянуто отримані характеристики зачеплення ТЗП, яка складається з шестерні зі ступенем зносу 0,44 мм за хордою ділильного кола та зубчатого колеса, ступінь зносу якого складає 2,9 мм. Результати дослідження за пунктом 3 наведені на рис. 1, 2. Видно, що в передачі зі зношеними зубцями лінія зачеплення відрізняється за формою і положенням від нової.

З рис. 3 видно, що в межах кута перекриття, на відміну від нової передачі ( $i=3,17$ ), існує непостійне значення передаточного відношення, а його коливання від 3,02 до 3,65.

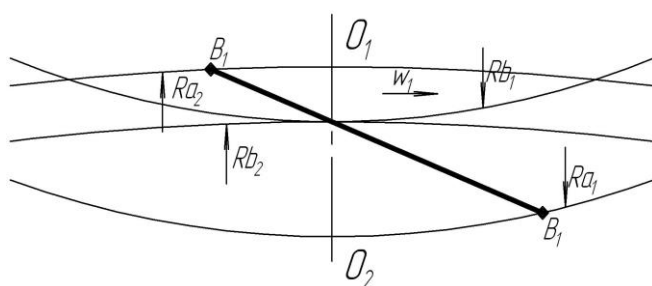


Рис. 1. Лінія зачеплення нових шестерні та колеса

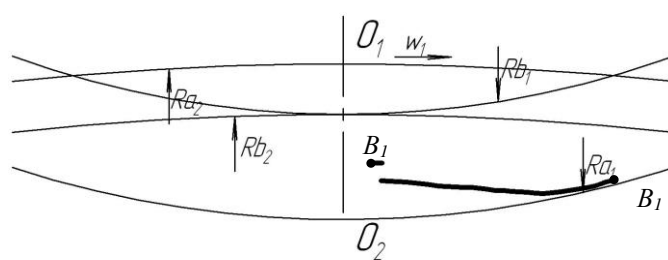


Рис. 2. Лінія зачеплення шестерні та колеса з визначеним зносом зубців

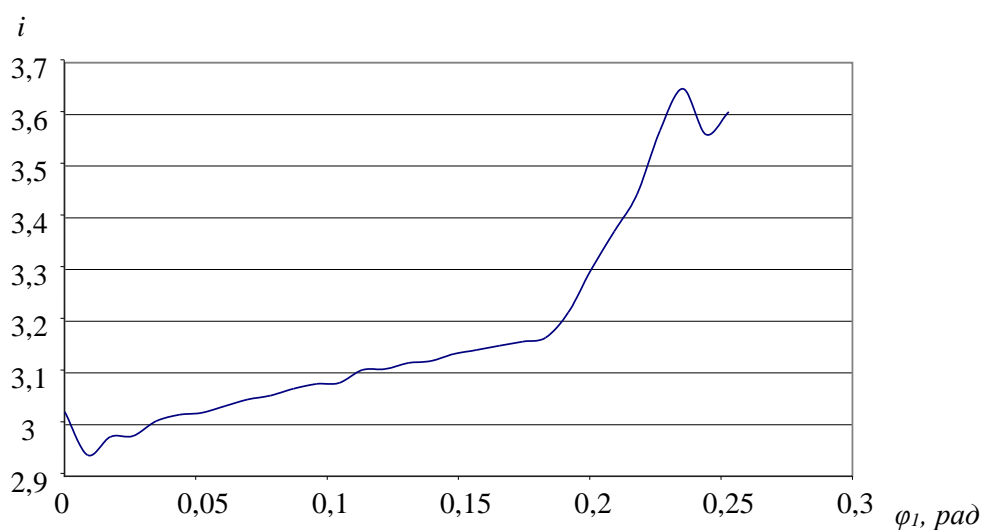


Рис. 3. Графік зміни миттєвого передаточного відношення в парі шестерні та зубчатого колеса з визначеним зносом

З аналізу графіків 4 і 5 видно, що кутова швидкість  $\omega_2$  зменшується від  $22,6 \text{ c}^{-1}$  до  $18,5 \text{ c}^{-1}$ , і має місце коливання

кутових прискорень  $\varepsilon_2$  в межах від  $1250 \text{ рад}\cdot\text{c}^2$  до  $-1250 \text{ рад}\cdot\text{c}^2$ .

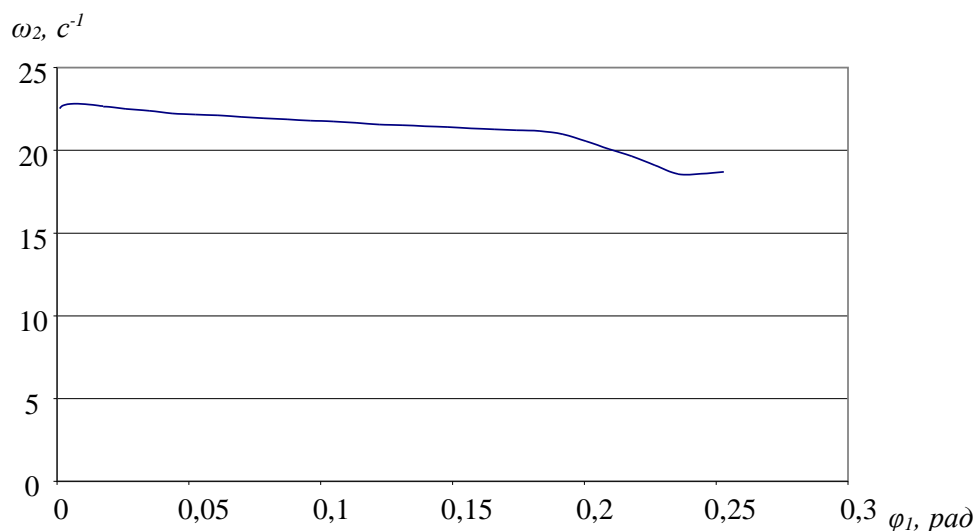


Рис. 4. Графік зміни кутової швидкості в парі шестерні та зубчатого колеса з визначеним зносом

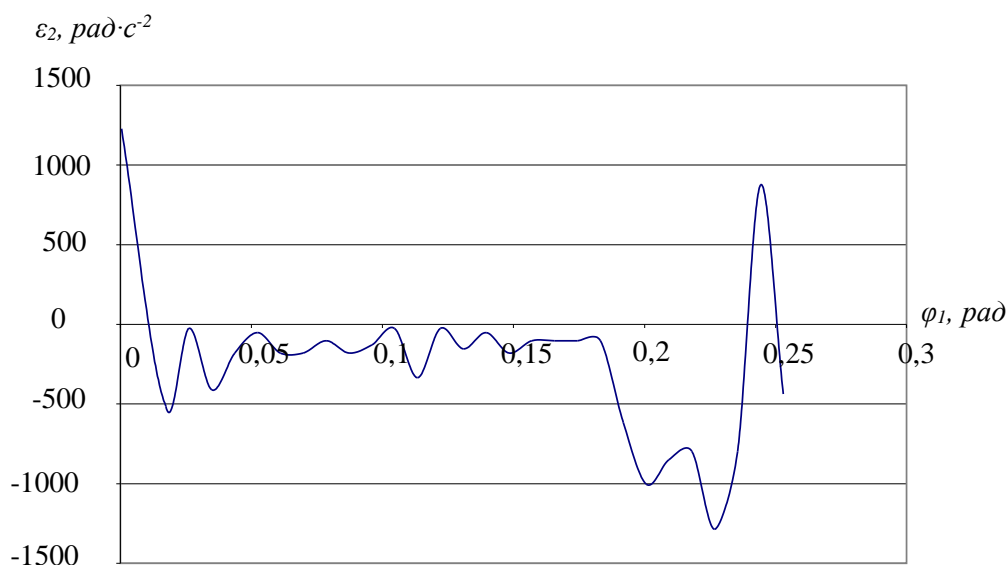


Рис. 5. Графік зміни кутового прискорення в парі шестерні та зубчатого колеса з визначеним зносом

Подальші розрахунки показали, що коефіцієнт динамічності складає  $k_{\Delta}=1,7$ , згинні напруження складають  $\sigma_F = 390 \text{ МПа}$ , контактні напруження складають  $\sigma_H = 925 \text{ МПа}$ .

Порівняння отриманих характеристик зачеплення з відповідними характеристиками зубчатих передач з різним ступенем зносу дають змогу вибрати найкращий варіант пари «шестерня – зубчате колесо», який рекомендується для подальшої експлуатації у складі ТЗП.

**Висновки і рекомендації щодо подальшого використання отриманих результатів.** Наведені в статті матеріали підтверджують доцільність використання запропонованого нового підходу до визначення характеристик зачеплення зубчатих передач. Наявність отриманих

результатів дає змогу проводити дослідження з визначення характеристик зачеплення ТЗП з різними рівнями зносу зубчатих коліс. Це дасть змогу здійснювати обґрунтований підбір зношених парних зубчатих коліс для їх подальшої експлуатації.

### *Список використаних джерел*

1. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Електронний ресурс]: розпорядження Кабінету Міністрів України від 16. 12. 2009 р. №1555-р. – К., 2009. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1555-2009-%D1%80>.
2. Мороз, В.І. Обґрунтування перспективних напрямків підвищення експлуатаційної надійності тягових передач електропоїздів серії ЕР-2 [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, С.В. Бобрицький // 36. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С.176-182.
3. Мороз, В.І. Нова методика визначення експлуатаційних зносів профілів зубців та підбору парних коліс тягових зубчатих передач [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, С.В. Бобрицький // 36. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 117. – С. 12-16.
4. Кіницький, Я.Т. Теорія механізмів і машин [Текст]: підручник / Я.Т. Кіницький. – К.: Наук. думка, 2002. – 660 с.
5. Эстлинг, А.А. Повышение работоспособности тяговых зубчатых передач тепловозов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / А.А. Эстлинг: спец. 05.22.07 “Подвижной состав и тяга поездов”. – С.Пб., 1995. – 20 с.
6. Старченко, В.Н. Исследование надежности, износа и динамики зубчатой тяговой передачи грузовых магистральных тепловозов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.07 “Подвижной состав и тяга поездов” / В.Н. Старченко. – Днепропетровск, 1977. – 22 с.
7. Онищенко, В.П. Прогнозирование долговечности тяжело нагруженных зубчатых передач на основе моделирования износа зубьев [Текст] / В.П. Онищенко. – Gliwice (Polska): Politechnika Slaska Z. 131 (1410) Mechanika, 1999. – 199 с.
8. Пат. 94015 Україна, МПК F16H 1/06 (2006.01). Спосіб визначення товщини зубця симетрично розташованого відносно опор прямозубого зубчатого колеса [Текст] / Мороз В.І., Братченко О.В., Бобрицький С.В. – №201009172; заявл. 21.07.2010; опубл. 25.03.2011, Бюл. № 6.
9. Korn, G. Mathematical handbook. For scientist and engineers / G. Korn, T. Korn. – NY: McGraw-Hill Book Company, 1968. – 831 p.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П.Фалендиш

---

Бобрицький Сергій Владиславович, канд. техн. наук, кафедра механіки і проектування машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-52.

Bobritskiy Sergiy Vladislavovich, cand. of techn. sciences department of mechanics and planning of machines Ukrainian State Academy of railway transport. Tel.: (057) 730-10-52

УДК 658.7.011.1

**ВИБІР ПОСТАЧАЛЬНИКІВ У СИСТЕМІ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОГО ПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ**

**Инж. Т.О. Ольховська**

**ВЫБОР ПОСТАВЩИКОВ В СИСТЕМЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ**

**Инж. Т.А. Ольховская**

**CHOICE OF SUPPLIERS IN SYSTEM OF LOGISTICS ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF HIERARCHIES**

**Eng. T.A. Olxovskay**

*У статті розглянуто завдання вибору постачальників запасних частин і матеріалів у системі матеріально-технічного постачання. Для його вирішення запропоновано метод аналізу ієрархій, де вибір найкращої альтернативи здійснюється послідовно зверху вниз за прийнятими рівнями важливості.*

***Ключові слова:** альтернатива, важливість, елемент, ієрархія, критерій, постачання, принцип, пріоритет, рівень.*

*В статье рассмотрена задача выбора поставщиков запасных частей и материалов в системе материально-технического снабжения. Для ее решения предложен метод анализа иерархий, где выбор наилучшей альтернативы осуществляется последовательно сверху вниз по принятым уровням важности.*

***Ключевые слова:** альтернатива, важность, элемент, иерархия, критерий, снабжение, принцип, приоритет, уровень.*

*In article the problem of a choice of suppliers of spare parts and materials in system of logistics is considered. For its decision the method of the analysis of hierarchies is offered. In this model the choice of the best alternative is carried out consistently from top to down on the accepted levels of importance. Thus elements of each hierarchical level are compared in pairs among themselves on a scale of relative importance. As a result of calculations factors of importance (priorities) from which on the greatest weight value the corresponding supplier is defined are determined.*

***Keywords:** Alternative, Importance, Element, Hierarchy, Criterion, Supply, Principle, Priority, Level.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.**

Система постачання запасними частинами й матеріалами є найважливішим елементом системи керування технічним станом локомотивів, без якого нормальна робота залізничного транспорту неможлива. Запасні частини є необхідним елементом

ремонтного процесу. Помилки при виборі стратегії управління поставками запасних частин можуть викликати дефіцит або затоварення складів, що у свою чергу спричиняє збільшення термінів ремонту рухомого складу або зростання експлуатаційних витрат. Тому ефективність процесу закупівель багато в чому залежить від того, як організований цей процес у

цілому та на яких принципах здійснюється організація вибору постачальників.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання висвітлення й розвитку системи матеріально-технічного постачання (МТП), а також їхньої перспективи знайшли широкий розвиток у роботах Бережної Є.В. [1], Майданова А.Д. [6], Мазорчука Р.К. [5], Степанова В.І. [9], Волкова Г.Н. [2] та інших авторів. У них велика увага приділена питанням удосконалювання організаційно-економічних механізмів управління МТП й регулюванню її діяльності в різних галузях. У той же час у більшості цих досліджень не відображається комплексний характер цього механізму, оскільки авторами розроблялися лише окремі аспекти питань, пов'язаних тільки із МТП відповідної галузі. Крім того, у сучасних умовах ринкових відносин необхідний аналіз роботи структур МТП, процесів децентралізації й приватизації, а також дослідження методів підвищення ефективності зв'язків між постачальниками й споживачами залізничного транспорту.

**Мета дослідження.** Сьогодні практично на кожному підприємстві є працівник, який займається питаннями МТП. Як правило, в його обов'язки входить організація доставлення запасних частин зі складів, складання заявок на необхідні запчастини й матеріали, контроль за їх витратою та наявністю існуючих запасів. Основна маса запасних частин для потреб лінійних підприємств надходить централізовано через спеціальні залізничні постачальницькі організації. Разом з тим, як встановлено проведеними дослідженнями, 30-35 % від загального обсягу поставок (з дозволу Управління залізниць і Укрзалізниці) лінійні підприємства закуповують, укладаючи безпосередньо договори з обраними постачальниками. При цьому працівники, які займаються на підприємстві МТП, змушені виконувати дані процедури суто інтуїтивно, на підставі деяких розмитих суб'єктивних факторів або

суджень. Виходячи із цього у даній статті пропонується системний підхід до організації вибору постачальників залізничної продукції.

**Основна частина.** Ефективність процесу закупівель запасних частин і матеріалів багато в чому залежить від того, як організований цей механізм у цілому й на яких принципах здійснюється вибір постачальників. Основні вимоги щодо взаємодії із суб'єктами товарних ринків (постачальниками матеріально-технічної продукції для залізничного транспорту) повинні ґрунтуватися на таких принципах:

- формування оптимальних цінових умов на закупівлю й доставлення запасних частин і матеріалів, а також умов і форм платежу;

- здійснення ефективної стратегії закупівель матеріальних ресурсів шляхом максимального використання й удосконалення процедур відкритих конкурсів при закупівлях на конкурентних ринках;

- на ринках з обмеженою конкуренцією (монопольних і олігопольних) – скорочення числа торговельних посередників, розширення практики укладання прямих довгострокових угод безпосередньо з виробниками або контрольованими ними торговельними структурами;

- фіксація в довгострокових угодах (особливо на закупівлю технічно складної машинобудівної продукції й залізничного металопрокату) не тільки обсягів і пропонованих до цієї продукції технічних вимог, але й порядку формування цін (формули ціни) на кілька років уперед;

- пошук і сприяння розвитку альтернативних конкурентоспроможних постачальників на ринках з обмеженою конкуренцією (монопольних і олігопольних);

- регулярний моніторинг зміни купівельної частки ринку, політики знижок на великі партії товару, стану ключових для залізничних підприємств товарних ринків і ринку логістичних послуг, що дає змогу вчасно застосовувати заходи, спрямовані на запобігання або нейтралізацію ймовірних ринкових загроз і ризиків;

- використання систем вхідного контролю якості запасних частин і матеріалів, що надходять на залізничні підприємства.

Виходячи з цього задача вибору постачальника є багатокритерійною. Кількість критеріїв ефективності, що характеризують діяльність постачальника і його конкурентоспроможність, останнім часом різко збільшилась. Існують основні критерії оцінки потенційних постачальників: вартість продукції; якість продукції, що поставляється; обсяги поставок; надійність поставок; транспортні витрати; терміни виконання поточних і екстрених замовлень; умови поставки й форма розрахунків; наявність резервних потужностей у постачальника; здатність забезпечити поставку запасних частин протягом усього терміну служби поставленого обладнання; кредитоспроможність і фінансове становище постачальника. При цьому кожний критерій має свій суб'єктивний ступінь важливості. Наприклад, якщо підприємство-покупець є великою фінансово стійкою компанією, то критерій якості в цьому випадку дещо більш важливий, ніж критерій вартості продукції, й навпаки, якщо підприємство-

покупець зазнає фінансових труднощів, то критерій вартості продукції, що закуповується, має більший ступінь важливості в порівнянні з її якістю. Ця обставина справедлива для всіх критеріїв вибору постачальника.

Залізничний транспорт є одним з найбільших споживачів матеріальних і паливних ресурсів. Тому вибір оптимальних постачальників для залізниць є дуже актуальним.

В умовах обмеженої й порівняно невеликої кількості критеріїв вибору потенційних постачальників найбільш простою і зручною формалізацією прийняття багатокритерійного рішення є метод аналізу ієрархії Т.Сааті [8], де вибір найкращої альтернативи здійснюється послідовно зверху вниз. При цьому рівнями ієрархії є:

- загальна мета (1-й рівень)
- критерії прийняття рішень (2-й рівень);
- альтернативи, для яких виступають потенційні постачальники, їх пропозиції й можливості (3-й рівень).

У даному методі спочатку елементи кожного ієрархічного рівня порівнюються попарно між собою за шкалою відносної важливості, кількісне значення якої наведено в табл. 1, і визначається їх оцінка.

Таблиця 1

Рівень важливості	Кількісне значення
Однакова важливість	1
Помірна відмінність	3
Істотна відмінність	5
Значна відмінність	7
Дуже велика відмінність	9

Після визначення оцінок обраних факторів складається матриця вагових суджень

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де  $a_{12}, a_{13}, \dots, a_{in}$  – обрані оцінки пріоритетів.

Координати векторів пріоритетів  $k_i$  визначаються перемноженням членів відповідного рядка матриці вагових суджень за такими залежностями:

$$\begin{aligned} k_1 &= \sqrt[n]{1 \cdot a_{12} \cdot a_{13} \cdot \dots \cdot a_{1n}}, \\ k_2 &= \sqrt[n]{1/a_{12} \cdot 1 \cdot \dots \cdot a_{2n}}, \\ &\dots\dots\dots, \\ k_n &= \sqrt[n]{1/a_{12} \cdot 1/a_{2n} \dots 1}, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $n$  – порядок матриці вагових суджень.

Після цього виконується нормування векторів пріоритетів

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{k_1}{k_1 + k_2 + \dots + k_n}, \\ x_2 &= \frac{k_2}{k_1 + k_2 + \dots + k_n}, \\ &\dots\dots\dots, \\ x_n &= \frac{k_n}{k_1 + k_2 + \dots + k_n}. \end{aligned} \quad (3)$$

На основі цього складається матриця нормованих пріоритетів

$$B = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Після цих перетворень для кожного обраного критерію знаходяться вектори важливості суджень за виразом

$$W_i = \frac{A \cdot B}{\lambda_{max}}, \quad (5)$$

де  $\lambda_{max}$  – максимальне власне значення матриці нормованих пріоритетів.

Як приклад розглянемо чотири умовних постачальники (№ 1, № 2, № 3 і № 4), серед яких, на підставі даної методики, необхідно вибрати найбільш потенційного за складеною ієрархічною структурою, яка наведена на рис. 1.

Загальні характеристики постачальників наведено в табл. 2.

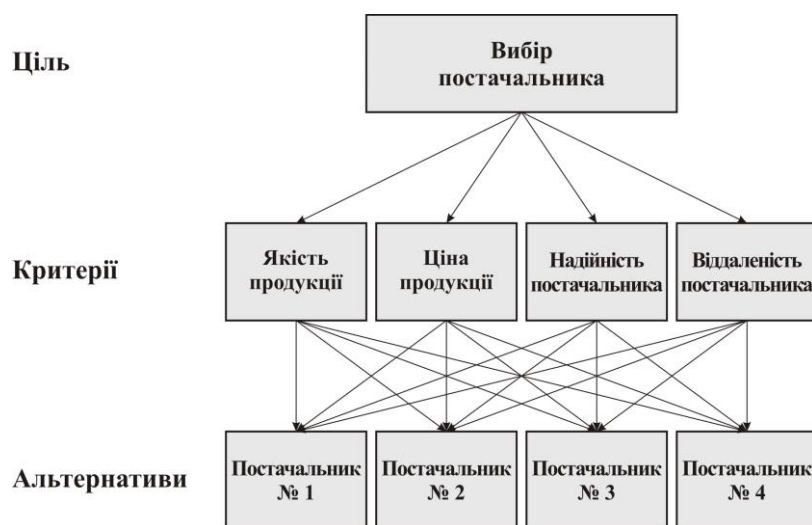


Рис. 1. Ієрархічна структура: ціль→критерії→альтернативи

## Рухомий склад залізниць

Таблиця 2

Постачальник	Критерій	
	Характеристика постачальника	Місцеперебування постачальника
№ 1	П'ять років займається постачанням запасних частин для тягового рухомого складу. За час співробітництва набув значного досвіду в торгівлі, маркетингу та вирішенні проблем, які виникають під час укладання угод, а також у знаходженні оптимальних рішень для своїх клієнтів. Затримок та збоїв при постачанні не виникало	Основне підприємство розміщене в місті, де споживається його продукція
№ 2	Більше 10 років працює на ринку постачання запасних частин для залізничного транспорту. Однак виникають тимчасові затримки та невиконання обов'язків щодо складених угод	Міститься на відстані 200 км від головного матеріального складу і має свій транспорт
№3	Один з провідних постачальників запасних частин. За 8 років зарекомендував собі як надійний та обов'язковий партнер. Правильно і чітко організовує ведення документації, має резерв і можливості для екстреного тимчасового підвищення обсягів виробництва. Затримок з постачанням немає.	Міститься на відстані 500 км від споживачів його продукції, але має добре налагоджене транспортування
№4	Надає оперативну і повну інформацію щодо комплектації будь-яких об'єктів. Оплата здійснюється по факту, алі з тривалими відстрочками по платежах. Трапляються тимчасові затримки по поставках запасних частин	Міститься на відстані 300 км від споживачів його продукції. Свого транспорту не має

На підставі методу аналізу ієрархії складена матриця мети й визначено пріоритети, які наведено в табл. 3.

З таблиці видно, що якість продукції має більший за інших (0,661) пріоритет

важливості за оцінкою при виборі постачальника.

Далі попарно виконано порівняння для обраних критеріїв. Порівняльні результати цих розрахунків наведено на рис. 2.

Таблиця 3

Критерій	Якість продукції	Ціна продукції	Надійність постачальника	Місце-перебування постачальника	Координати вектора пріоритету	Координати вектора важливості
Якість продукції	1	5	7	9	4,213	0,661
Ціна продукції	0,20	1	3	5	1,316	0,204
Надійність постачальника	0,14	0,33	1	3	0,615	0,094
Місцеперебування постачальника	0,11	0,20	0,33	1	0,293	0,046



## Рухомий склад залізниць

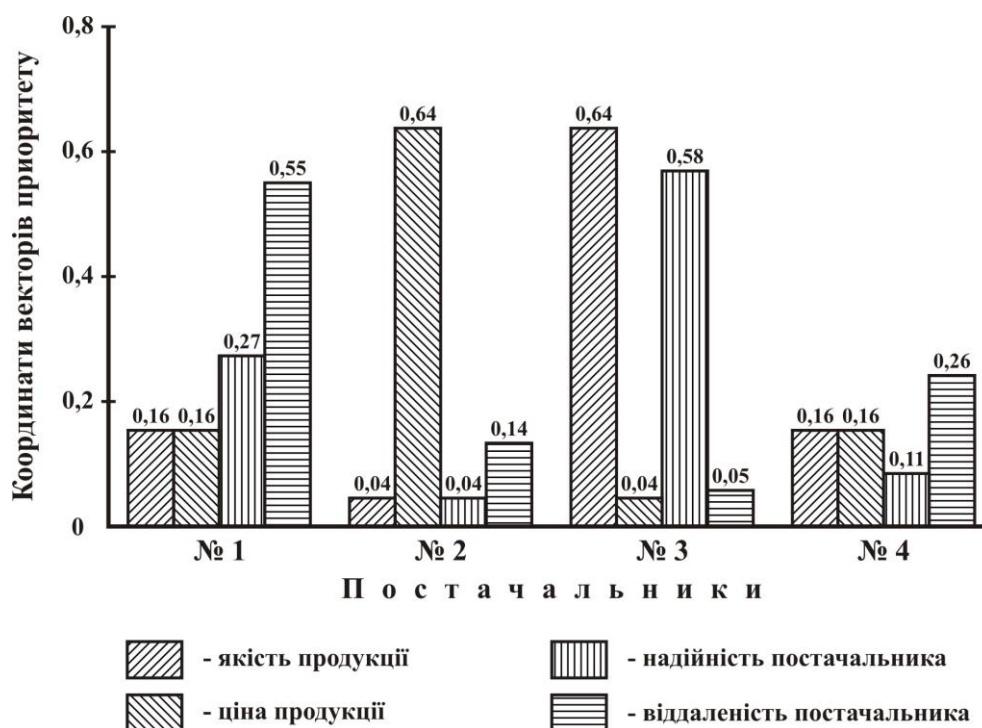


Рис. 2. Розподіл векторів пріоритету по постачальниках

Об'єднавши вектори важливості постачальників за кожним критерієм у матрицю ваг (важливостей) альтернатив і

перемножуючи її на матрицю важливості критеріїв, визначимо вектори абсолютної важливості постачальників

$$\begin{pmatrix} 0,661 \\ 0,204 \\ 0,094 \\ 0,046 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,160 & 0,160 & 0,273 & 0,553 \\ 0,043 & 0,640 & 0,045 & 0,135 \\ 0,639 & 0,043 & 0,576 & 0,048 \\ 0,160 & 0,160 & 0,111 & 0,256 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,189 & \text{'} 1 \\ 0,169 & \text{'} 2 \\ 0,488 & \text{'} 3 \\ 0,161 & \text{'} 4 \end{pmatrix}$$

З отриманого розв'язку (за ваговим значенням) нескладно зробити висновок, що при виборі постачальника з урахуванням заданих критеріїв вибору, необхідно звернутися до постачальника №3, для якого вектор абсолютної важливості має найбільше значення з інших (0,488). Постачальники №1, №2 і №4 пропонують свою продукцію на гірших умовах. Це добре видно з визначених критеріїв.

### Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.

1. Виконаний аналіз показав, що безперебійне матеріально-технічне постачання підприємств необхідними видами запасних частин і матеріалів і, як наслідок, ритмічна робота підприємств, а також виконання ними планових завдань, є кінцевим результатом діяльності всіх органів матеріально-технічного постачання.

2. Розглянуто метод аналізу ієрархій, який дає змогу здійснювати багато-

критерійний вибір факторів на основі їх вагового пріоритету.

3. Як приклад, на основі методу аналізу ієрархій, проведено розрахунки на

вибір постачальників матеріально-технічної продукції на основі критеріїв якості продукції, її ціни, надійності й віддаленості постачальника від місця споживання.

### *Список використаних джерел*

1. Бережная, Е.В. Математические методы моделирования экономических систем [Текст] / Е.В.Бережная, В.И.Бережной. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 348 с.
2. Волков, Г.Н. Методика расчета количества запасных элементов в комплектах ЗИП [Текст] / Г.Н. Волков. – М.: МЛДРГ, 1965. – 104 с.
3. Демичев, Г.М. Складские и тарные хозяйства [Текст] / Г.М. Демичев. – М.: Высшая школа, 1990. – 192 с.
4. Кульбак, Л.И. Основы расчета обеспечения электронной аппаратуры запасными элементами [Текст] / Л.И. Кульбак. – М.: Сов. радио, 1963. – 326 с.
5. Мазорчук, Р.К. Нормирование расхода материалов и запасных частей на железнодорожном транспорте [Текст] / Р.К. Мазорчук. – М.: Транспорт, 2000. – 286 с.
6. Майданов, А.Д. Экономика, организация и планирование материально-технического снабжения железнодорожного транспорта [Текст] / А.Д. Майданов, А.В. Шаройко. – М.: Транспорт, 1998. – 356 с.
7. Мельник, М.М. Экономико-математические методы и модели в планировании материально-технического снабжения [Текст] / М.М. Мельник. – М.: Высш. шк., 2000. – 352 с.
8. Саати, Т. Принятие решений: метод анализа иерархий [текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
9. Степанов, В.И. Экономия и нормирование материальных ресурсов [Текст] / В.И. Степанов. – М.: Высшая школа, 2004. – 274 с.
10. Харорльд, Е. Фирон. Управление снабжением и запасами [Текст] / Харорльд Е. Фирон, Майкл Р. Линдерс. – С.Пб.: Полигон, 2000. – 305 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Д.С. Жалкін

---

Ольховська Тетяна Олександрівна, інженер вагонного депо Харків-Сортувальний ДП "Південна залізниця".  
Тел.: (093) 663-21-15.

Olkhovska Tatiana, engineer carriage depot Kharkiv-Sorting SE "Southern Railway." Phone: (093) 663-21-15.

УДК 629.45/46:637

**ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ВАГОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Канд. техн. наук И.Ш. Эльязов

**ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ ВАГОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Канд. техн. наук І.Ш. Ельязов

**ASSESSMENT OF THE CHARACTERISTICS OF CARRIAGE STRUCTURES REPAIRABILITY**

Cand. of techn. sciences I. Sh. Elyazov

*Исследования надежности подвижного состава магистральных железных дорог и совершенствование системы техобслуживания и ремонта вагонов является актуальной задачей Азербайджанской Железной Дороги (ЖД). Целью выполненной работы является анализ системы технического обслуживания, ремонта и оценка ремонтпригодности вагонных конструкций цистерн для перевозки нефти и нефтепродуктов.*

**Ключевые слова:** ремонтпригодность, надежность, вагоны, ремонт, техническое обслуживание, отказ, деповской ремонт, конструкция.

*Дослідження надійності рухомого складу магістральних залізниць і вдосконалення системи техобслуговування і ремонту вагонів є актуальним завданням Азербайджанської Залізниці (ЖД). Метою виконаної роботи є аналіз системи технічного обслуговування, ремонту та оцінка ремонтпридатності вагонних конструкцій цистерн для перевезення нафти і нафтопродуктів.*

**Ключові слова:** ремонтпридатність, надійність, вагони, ремонт, технічне обслуговування, відмова, деповський ремонт, конструкція.

*The maintenance and repair systems improvoment of oil tank-cars using for the oil products transportation is an actual issue for the Azerbaican Railway. The main aim of the given work is to analyse tan-car carriages maintenance and repair systems and to draw up a carriage structure repairability.*

*Reliability research of the main-line railway rolling stock and system development of the tank car maintenance and repair is an urgent problem that faces Azerbaijan Railway. The goal of this research is a maintenance system and repair analysis and repairability assessment of tank car structures for oil and oil products transportation.*

*Thus, the analysis showed that the tank car repairability assessment depends on system development of the tank car maintenance and repair. Each step on structure repairability change can be correlated with certain outlay for its realization and a profit that can be obtained under operation. This allows to state the problem of the best option choice of repairability development. Flowcharts of repairability in whole and repairability of structure components were made with regard to maintenance, running and depot tank car repair.*

**Keyword:** *repairability, reliability, carriages, repair, maintenance, refuse, structure, exploitation, depot repair.*

**Введение.** В настоящее время парк 4-х и 8-осных цистерн Азербайджанской ЖД насчитывает более 3,6 тыс. вагонов, которые эксплуатируются в основном перевозкой нефти и нефтепродуктов. Полный рейс цистерны составляет 4,2-4,5 тыс. км, что в 2,5-3 раза больше среднесетевого. Среднесуточный пробег цистерны составляет 540-650 км, что в 1,8-2,3 раза больше среднесетевого пробега других грузовых вагонов.

Указанные обстоятельства характеризуют повышенную интенсивность эксплуатации цистерн по сравнению с другими типами вагонов. Поэтому поддержание в исправном и работоспособном состоянии цистерны является актуальной задачей перед Азербайджанской ЖД. Надежная работа вагонов в эксплуатации, как известно, обеспечивается за счет системы технического обслуживания и ремонта, а также соблюдения правил эксплуатации.

Анализ выполненных научных работ [1,2] по оценке работоспособности цистерн позволяет выявить наиболее характерные неисправности в конструкции вагона. Установлено, что в процессе эксплуатации распределение повреждений и отказов между узлами таково: ходовые части – 45 %, ударно-тяговые приборы – 5-10 %, автотормоза – 25 %, котел и рама 10-20 %.

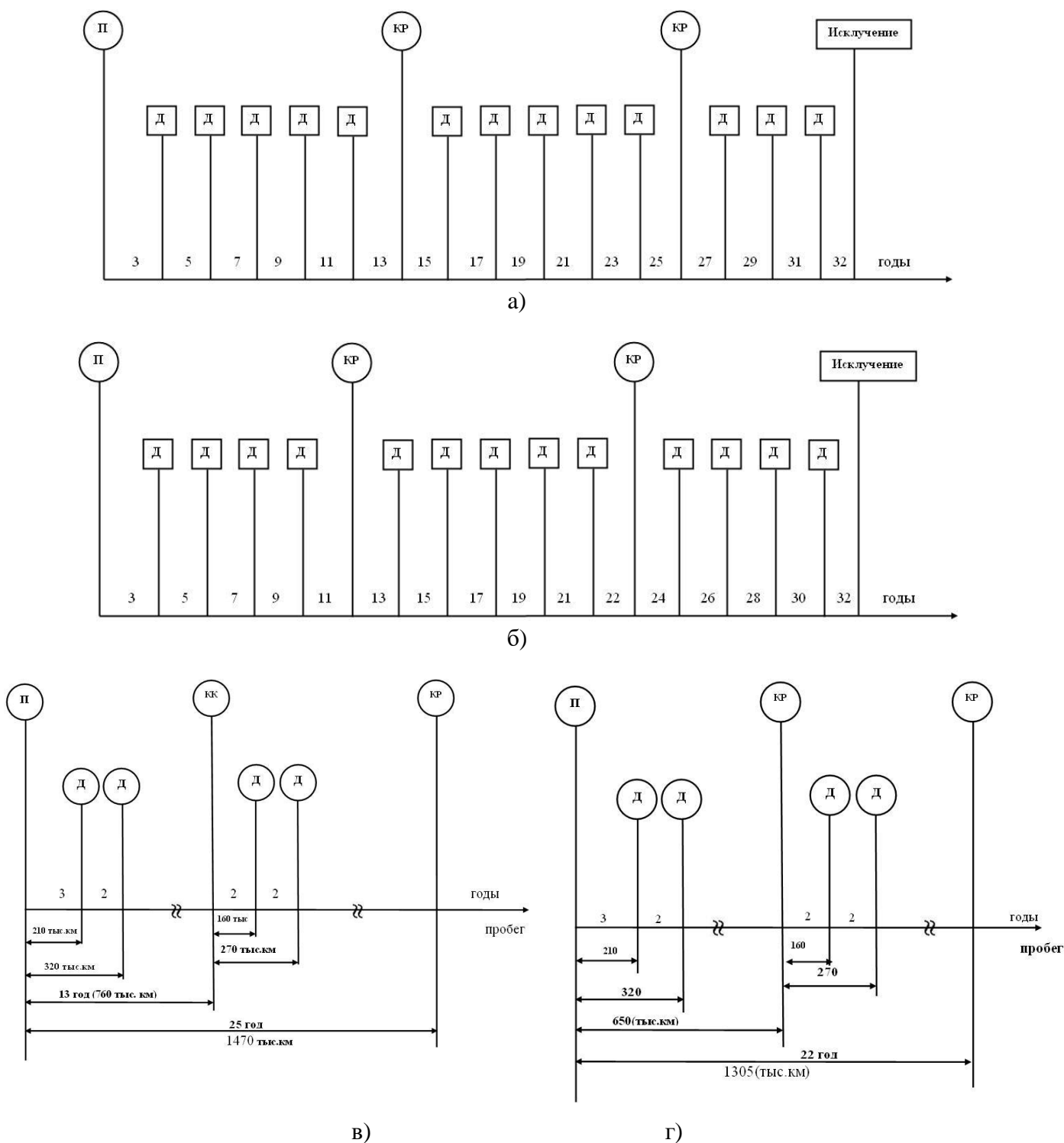
Известно, что повысить надежность цистерн возможно за счет улучшения прочностных характеристик используемых материалов и системы технического содержания вагона. Исследования надежности работы подвижного состава магистральных железных дорог, систем его технического обслуживания (ТО) и ремонта проводились многими авторами [1,2,3].

Действующая система ремонта грузовых вагонов введена с 2004 года на 40-м заседании Совета ЖДТ Государств – участников Содружества и Прибалтийских

Республик. Она содержит компоненты: техническое обслуживание – ТО; текущие ремонты типа ТР-1 и ТР-2; деповской ремонт ДР; капитальный ремонт. Графическая иллюстрация системы ремонта цистерн приведена на рис. 1. Анализируя структуры ремонта цистерн, можно сказать, что в любой составляющей системы ремонта имеет место три проблемы: планирование периодичности ремонтов и технического обслуживания; организация работ; разработка технологических процессов.

С этой точки зрения система ремонта, введенная Советом ЖДТ Стран-участников СНГ, регламентирует лишь периодичность плановых ремонтов и указывает компоненты системы ремонта. В основные компоненты системы ремонта входят следующие параметры: пробег вагона, объем выполненных работ, род и тип вагонов, возрастной состав вагона, нормативный срок службы вагона. Организация работ и технологические аспекты восстановления работоспособности вагонов и их составных частей показано в других нормативных документах вагонного хозяйства. Снижение связи между странами, нехватка материалов и запасных частей и другие недостатки по организации работы вагонного хозяйства требуют альтернативной системы ремонта вагонов. Для составления такой системы сначала необходимо классифицировать элементы конструкции цистерны и потом выполнить следующие требования: конструкция вагона должна быть взаимно согласованна со всеми компонентами системы ремонта – наружный осмотр, техническое обслуживание и ремонт. Для удобства анализа элементов цистерн составим классификацию составных частей вагона по следующим признакам (см. таблицу).

## Рухомий склад залізниць



П – производство; КР – капитальный ремонт; Д – депоовский ремонт

Рис. 1. Структура депоовського і капітального ремонту вагона:

а) планові ремонти великого об'єму 4-осної цистерни; б) планові ремонти великого об'єму 8-осної цистерни; в) структура фактично виконаного об'єму робіт; г) структура депоовського ремонту 8-осної цистерни за критерієм фактично виконаного об'єму робіт

## Рухомий склад залізниць

Таблиця

Классификация составных частей цистерны

Признак классификации	Тип составных частей и их градация	Составные части	Примечание
1	2	3	4
1. По отношению ремонта	1.1. Составные части, ремонт которых не предусмотрен технической документацией, – неремонтируемые изделия	Тормозная колодка, корпус поглощающего аппарата	Заменить новым элементом
	1.2. Составные части, ремонт предусмотрен технической документацией – ремонтируемые изделия	Корпус автосцепки	
2. По выполняемым функциям	2.1. Изделия, отказ которых напрямую связан с безопасным передвижением и транспортировкой груза	Тормозные оборудования, автосцепка, буксовой узел, пятниковый узел, предохранительный клапан, подрессорная балка, боковина тележки, колесная пара	Главное требование к узлам: обеспечение безопасности движения. Оптимальный уровень надежности этих узлов должен определяться по критерию экономического характера
3. По форме технического содержания	3.1. Узлы, плановые ТО и ремонт которых должен выполняться одновременно с работами по восстановлению работоспособности цистерны в целом	Базовые узлы вагона; рама, котел	Отказ узла сопровождается длительным выходом из эксплуатации вагона. Это базовые узлы, от надежности которых зависят сроки КР. Узлы ремонтируются или заменяются только при возникновении отказа
	3.2. Элементы конструкции, которые ремонтируются или заменяются только при возникновении	Тормозная колодка, пружина рессорного комплекта тележки	
	3.3. Не всякий отказ узлов этой группы может повлечь за собой ремонт всего вагона	Букса	Планово-предупредительный ремонт узлов должен совмещаться с плановым ремонтом вагона, а ТО – выполняться в межремонтный период

## Рухомий склад залізниць

Продолжение таблицы

1	2	3	4
4. По состоянию ремонтно-пригодности	4.1. Узлы полностью контролепригодные	Котел цистерны, боковая рама, тележка	Узлы для обнаружения отказа не требуют разборки
	4.2. Узлы ограниченной контролепригодности	Колпара с буксой, корпус, автосцепка, надрессорная балка	Требуется лишь частичная разборка
	4.3. Узлы, полностью неконтролепригодные в эксплуатации		Плановый ремонт выполняется в ВРЗ и депо
5. По форме проявления отказов	5.1. Трещина	Боковая яма, тележка, шкворень	
	5.2. Износ	Колодка, фрикционный клин, фр. планка, скользуны	

С помощью наблюдения и научно-исследовательских работ, выполненных многими авторами [1, 2, 3], составлена классификация (см. таблицу) составных частей цистерн по пяти признакам. Эти признаки показывают, что надежность цистерны зависит от совершенствования системы ТО и ремонта вагонов.

Известно, что связь конструкции цистерны с условиями эксплуатации характеризуется посредством такого свойства надежности, как ремонтнопригодность. На рис. 2 показана конструкция цистерны, отражающая ее ремонтнопригодность.

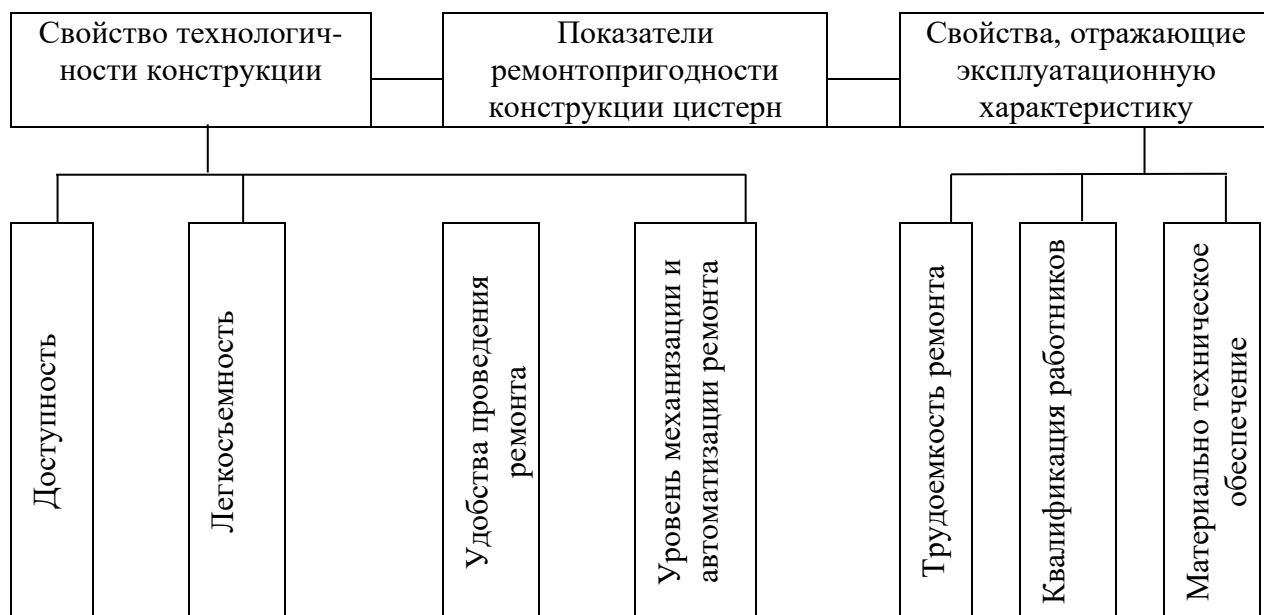


Рис. 2. Смысловое содержание показателей ремонтнопригодности

Последовательность анализа ремонтно-пригодности показана в блок-схемах (рис. 3, 4). Блок-схема технологии анализа ремонтнопригодности вагона составлена по методике П.А. Устича [1]. При этом удобно все элементы конструкции вагона разделять на следующие типы:

1 – имеющие нулевую контролепригодность в эксплуатации;

2 – полностью неконтролепригодность в эксплуатации;

3 – имеющие ограниченную контролепригодность.

В каждую шестиугольную фигуру (логический блок) вписан вопрос, на который надо отвечать либо «да», либо «нет». В прямоугольной фигуре дается сообщение о следствии, вытекающем из того или иного ответа поставленного вопроса. С помощью этой схемы рассматриваемая конструкция подвергается тестированию.

По своим знаниям, опыту и интуиции, должен отвечать в форме «да – нет» на ряд расположенных в определенной последовательности вопросов. Последовательность номеров таких блоков составляет шифр, характеризующий ремонтнопригодность конструкции цистерн. Оцениваем ремонтнопригодность некоторых элементов конструкции цистерн.

Котел. В эксплуатации иногда обнаруживаются трещины по сварному шву приварки шпангоута к котлу. Зафиксированы трещины, собственно, и шпангоута по сварному шву, а также трещины в местах крепления.

Котел 4-осной цистерны в смысле контролепригодности можно отнести ко второму типу. Приспособленность котла к обнаружению и текущему ремонту, характеризуемая шифром (рис. 3):

1-2-4-5-7-10

почти не отличается от эталонной.

Остается лишь научно обосновать критические размеры трещин и отразить это в отраслях нормативно-технических

документов (НТД). Приспособленность тогда к деповским ремонтам отражена с помощью шифра (рис. 4):

1-2-3-5-7-8-11-13-14-16-18.

Она также отличается от эталонной:

1-3-5-7-8-9-11-14-16-18.

И здесь стоит проблема обоснования критических размеров трещин, но они должны отличаться от критических размеров, ориентированных на ТР.

Тележка. Разрушение оси, боковой и надрессорной балки тележки чревато крушением поезда, поэтому заложенные запасы прочности позволяют их отнести к высоконадежным изделиям.

Для оценки ремонтнопригодности тележки в целом необходимо выделить наиболее его опасный потенциальный отказ. Наиболее опасны трещины боковины и шейки оси, причем вторая визуальна, в эксплуатации не выявляется. Однако частой причиной возникновения трещины является поломка подшипника, которая обычно сопровождается повышением температуры, фиксируемым ПОНАБом.

Ремонтнопригодность тележки относительно трещины шейки оси в условиях эксплуатации характеризуется шифром: 1-2-3-4-5-9-11, а эталонная ремонтнопригодность: 1-2-5-7-10.

Шифр ремонтнопригодности тележки относительно трещины боковины: 1-3-6-12, а по отношению к ДР (рис. 4): 1-3-5-7-9-11-14-15-15-16-18.

Эталонный уровень приспособленности в ДР: 1-2-5-7-9-11-14-16-18.

Таким образом, существующий уровень ремонтнопригодности в условиях ДР близок к оптимальному.

Ударно-тяговые приборы. Типичные повреждения: трещины корпуса автосцепки, выпучивание вертикальной стенки головки автосцепки со стороны малого зуба, вмятины ударной розетки, остаточные деформации пружин маятниковой подвески, износы центрирующего блока, крепления торсиона и



рычага, утеря валика механизма автосцепки. Детали с указанными повреждениями в эксплуатации полностью контролепригодны. Тяговый хомут, поглощающий аппарат, корпуса автосцепки и валик имеют почти нулевую контролепригодность в условиях эксплуатации.

Разрушение почти каждой из этих деталей может привести к тяжелой аварии. Приспособленность организации текущего содержания вагонов почти одинакова относительно любой из указанных деталей: 1-3-6-11.

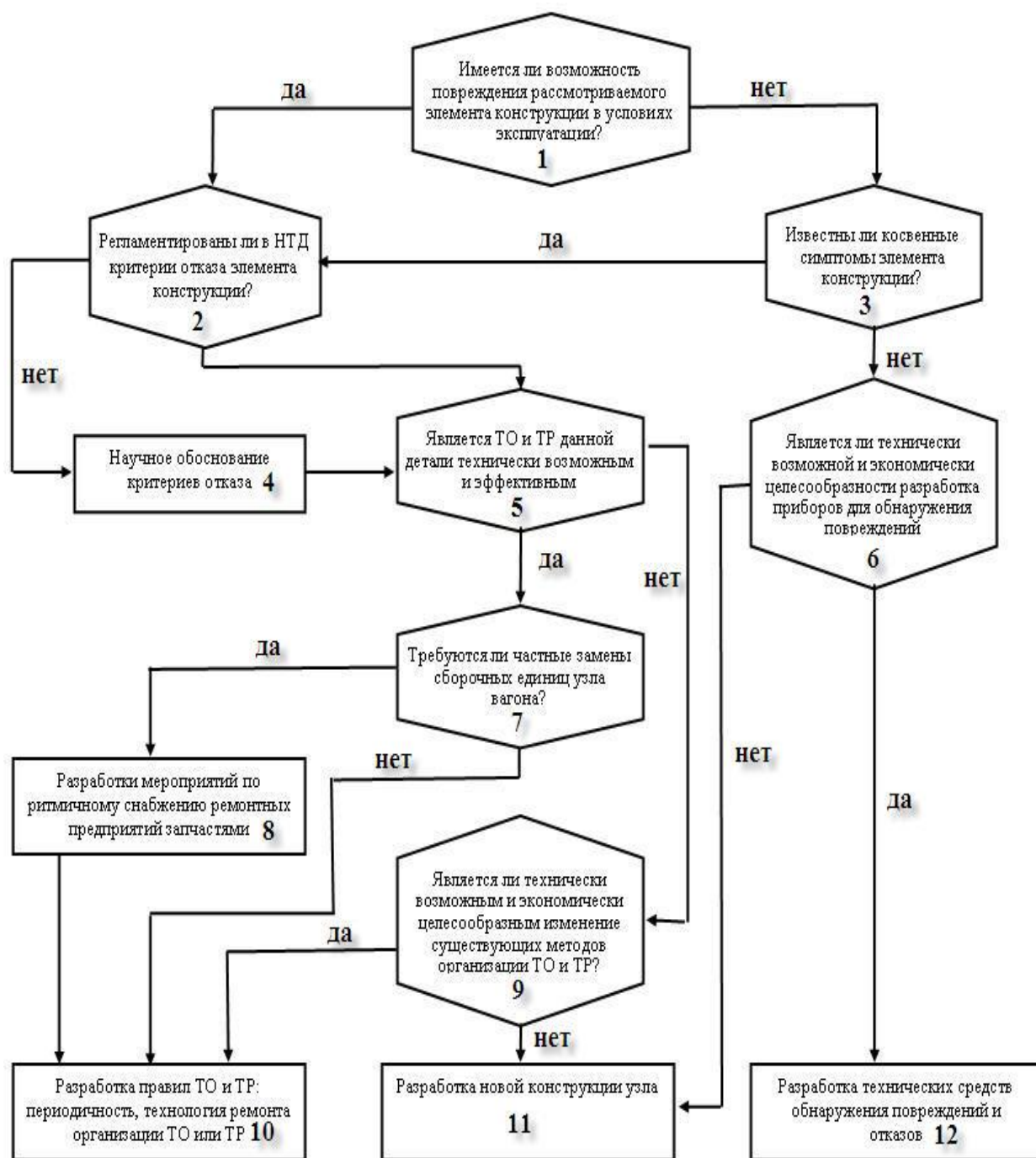


Рис. 3. Блок-схема ремонтпригодности элемента конструкции применительно к ТО и ТР

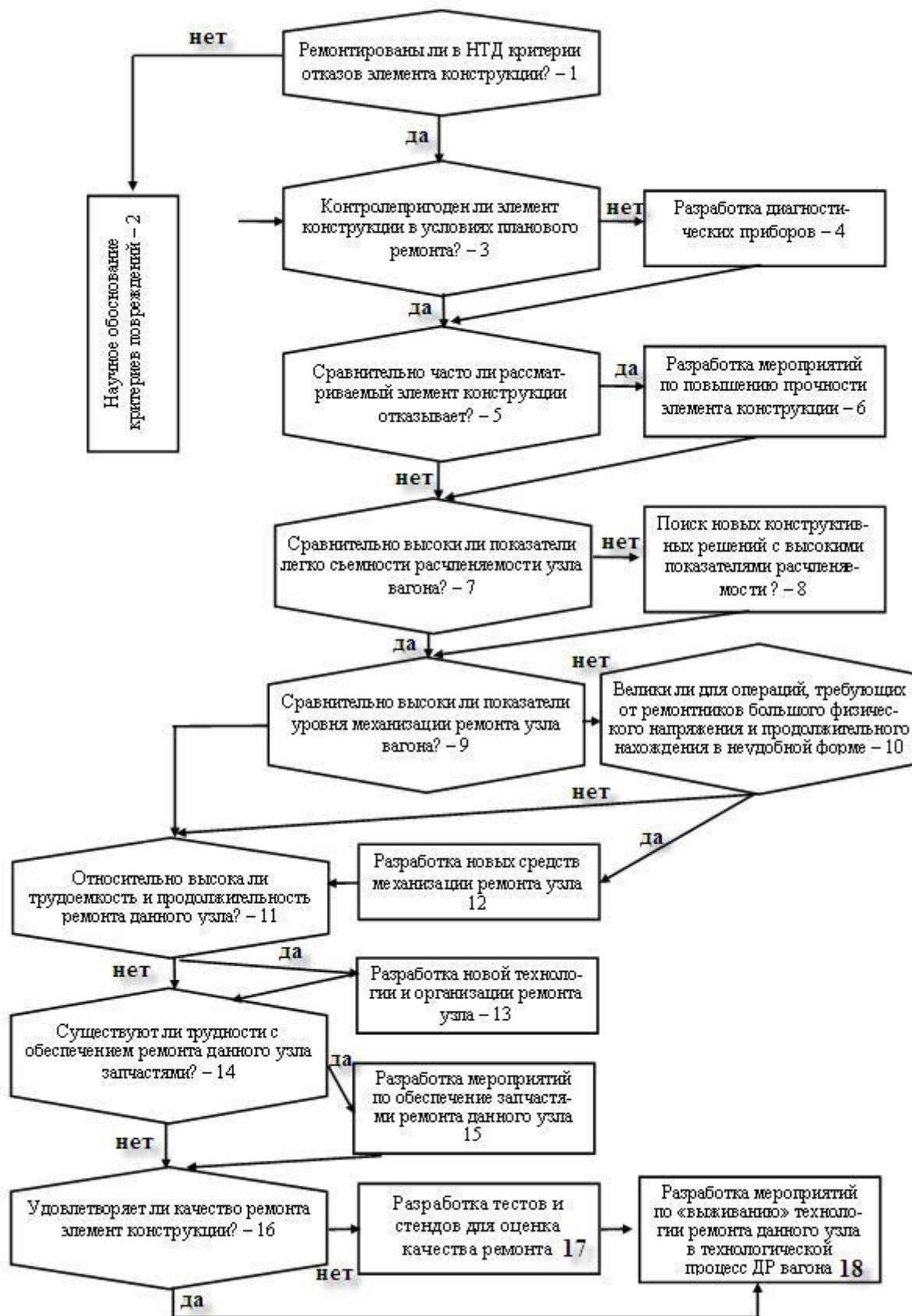


Рис. 4. Блок-схема анализа ремонтпригодности элемента конструкции применительно к ДР

От деталей автосцепного оборудования, имеющих почти нулевую контролепригодность, исходит неконтролируемая опасность крушения. Возможность возникновения этой опасности требует качественной технической диагностики и восстановления работоспособности конструкции в рамках деповского ремонта вагона. Приспособленность к нему характеризуется шифром (рис. 4): 1-3-5-6-7-9-11-14-15-16-18, которая достаточно высока и близка к реально достижимой. Благодаря сравнению этих шифров выбираются виды направления совершенствования ремонтпригодности ударно-тягового прибора.

Такая же картина характерна для многих других составных частей конструкции грузового вагона. Это систематизирует научную организацию

работы ремонтных предприятий и повышает эффективность и безопасность эксплуатации грузового вагона.

**Выводы.** Таким образом, анализ показал, что оценка ремонтпригодности вагонов зависит от совершенствования системы техобслуживания и ремонта цистерн. Каждому мероприятию по изменению ремонтпригодности конструкции можно сопоставить определенные затраты на его осуществление и выгоду, которая может быть получена в ходе эксплуатации. Это позволяет ставить задачу по выбору наилучшего варианта совершенствования ремонтпригодности. Составлены блок-схемы ремонтпригодности в целом и элементов конструкции применительно к техобслуживанию, текущему и деповскому ремонту вагонов.

### *Список использованных источников*

1. Устиц, П.А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава [Текст] / П.А. Устиц, В.А. Карпычев, М.Н. Оверников. – М.: ИГ «Вариант», 1999. – 415 с.
2. Гридю, В.И. Вагонное хозяйство [Текст] / В.И. Гридю, В.П. Бугаев, Н.З. Криворучко. – М.: Транспорт, 1998. – 195 с.
3. Сыровец, М.Ф. Ремонтпригодность восьмиосных цистерн [Текст] / М.Ф. Сыровец // ЖДТ. – 1990. – № 10. – С. 65-67.
4. Шишков, А.Д. Организация, планирование и управление производством по ремонту подвижного состава [Текст] / А.Д. Шишков, В.А. Димитриев, В.И. Гусаков. – М.: Транспорт, 1997. – 343 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.Г. Тагизаде

---

Эльязов Исраил Шукюр оглу, канд. техн. наук, доцент кафедры эксплуатации железнодорожного транспорта Азербайджанского Технического Университета. Тел. (012) 439 12 62. E-mail: elyazov-62@mail.ru

Elyazov Israil Shukyur oglu, cand. of techn. sciences, assistant professor of operation of railway transport of Azerbaijan Technical University. Tel.: (012) 439 12 62. E-mail: elyazov-62@mail.ru

УДК 621.22

**ГІДРАВЛІЧНИЙ НАСОС З РЕГУЛЬОВАНОЮ ПОДАЧЕЮ ДЛЯ  
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Канд. техн. наук М.Б. Чубикало

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ НАСОС С РЕГУЛИРУЕМОЙ ПОДАЧЕЙ ДЛЯ  
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Канд. техн. наук М.Б. Чубыкало

**HYDRAULIC PUMP CONTROLLED FEED FOR VEHICLES**

**Cand. of techn. sciences M.B. Chubikalo**

*Проаналізовані недоліки регулювання частоти обертання вентиляторів охолодження радіаторів дизеля зміненням подачі рідини в гідромотори способом зливу частини потоку назад у впускну магістраль, що є енергетично не ефективним. Запропонована та показана конструкція і описаний принцип роботи механічної системи гідравлічного насоса біроторно шибєрного типу з регульованою подачею способом зміни ексцентриситету взаємного розташування ротора і корпусу.*

**Ключові слова:** тепловози, охолодження радіаторів дизеля, гідростатичний привод, гідравлічний біроторно шибєрний насос, регулювання продуктивності.

*Проанализированы недостатки регулирования частоты вращения вентиляторов охлаждения радиаторов дизеля изменением подачи жидкости в гидромоторы способом слива части потока обратно во впускную магистраль, что есть энергетически неэффективно. Предложена и показана конструкция и описан принцип работы механической системы гидравлического насоса бироторно шибєрного типа с регулируемой подачей способом изменения эксцентриситета взаимного расположения ротора и корпуса.*

**Ключевые слова:** тепловозы, охлаждение радиаторов дизеля, гидростатический привод, гидравлический бироторно шибєрный насос, регулирование производительности.

*On locomotives ТЕР60 [ 2 ], [ ТЕР70 3 ], ТН16, for cooling radiators used diesel hydrostatic drive using the same volume of hydraulic machines axial - piston type. Adjust fan speed by changing the feed fluid motors way of shower flow back into the inlet manifold, ie , decreasing volumetric efficiency , which is directly related to the decrease in overall efficiency, because energy is not efficient. In the Ukrainian State Academy of Railway Transport developed hydraulic valves birotorno machine parameters which significantly exceed those machines axial - piston type. This machine can serve as hydraulic pumps, and hydraulic. Manage revolution hydraulic fan drive should do the adjustment hydraulic pumps. The design of the hydraulic valves birotorno machine allows you to adjust the performance shift mode eccentricity relative position of the rotor and the housing, thereby increasing the efficiency of hydraulic drive.*

**Keywords:** locomotives, diesel engine cooling radiators, hydrostatic drive, hydraulic birotorno vane pump, capacity control.

**Вступ.** Однією з основних вимог до сучасних транспортних засобів є збільшення їх потужності, швидкості,

надійності при зниженні матеріаломісткості конструкції, зниженні собівартості та експлуатаційних витрат. Прагнення до

найбільш повного задоволення цих вимог означає необхідність удосконалення агрегатів, які входять до складу транспортних засобів. До таких агрегатів можна віднести гідравлічні машини. Гідравлічні машини, крім того, широко застосовуються в інших галузях народного господарства (будівельні машини, авіація, автомобілі тощо). Це визначає актуальність робіт, які спрямовані на удосконалення конструкції гідравлічних машин.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** На тепловозах ТЕП60 [2], ТЕП70 [3], ТГ16 та ін. для охолодження радіаторів дизеля застосовується гідростатичний привод з використанням однакових гідравлічних машин об'ємної дії аксіально-поршневого типу МН-250/100. Тепловози ТЕП70 і ТГ16 мають по шість, а ТЕП60 мають по чотири гідромашини. Потужність від колінчастого вала дизеля через редуктор передається половині з машин, що працюють як гідронасоси, інша половина, від них, працює як гідромотори привода вентиляторних коліс. Робоча рідина засмоктується гідронасосами з бака і нагнітається в гідромотори під тиском 4 - 10 МПа. Регулювання частоти обертання вентиляторів здійснюється зміненням подачі рідини в гідромотори способом зливу частини потоку назад у впускну магістраль, тобто зниженням об'ємного ККД, а це напряду пов'язано зі зниженням загального ККД, тому енергетично не ефективно [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В Українській державній академії залізничного транспорту розроблена гідравлічна біроторно шиберна машина (ГБШМ) [7], показники якої значно перевищують показники машин аксіально-поршневого типу. Ця машина може виконувати функції як гідронасоса, так і гідромотора.

Керування обертами гідромоторів привода вентиляторів доцільно робити

регулюванням продуктивності гідронасосів [5]. Конструкція гідравлічної біроторно шиберної машини дозволяє регулювати продуктивність способом зміни ексцентриситету взаємного розташування ротора і корпусу [7]. Такий спосіб регулювання не знижує ККД гідропривода, який може досягати 96 %.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Стаття присвячена висвітленню конструкції гідравлічного біроторно шиберного насоса з пристроєм для керування обертами гідромоторів способом зміни ексцентриситету взаємного розташування ротора та корпусу.

**Основна частина досліджень.** На рисунку схематично зображено загальний вигляд ГБШМ зі змінним ексцентриситетом взаємного розташування ротора і корпусу.

ГБШМ із змінним ексцентриситетом містить циліндричний блок 1, в якому на опорах обертання 3 встановлено корпус 4. На шийці осі 2, на опорах обертання 3 встановлений ротор 5 і поміщений у внутрішній об'єм корпусу 4. У корпусі 4 виконані радіальні пази 6, в яких, з можливістю радіального переміщення, встановлені шибери 7. У зоні контакту шиберів 7 з ротором 5 на його циліндричній поверхні виконані плоскі грані 8 і паралельно їм, тангенціально розташовані, прямокутні пази 9, в яких з можливістю тангенціального ковзання в них встановлені повзуни 10, виконані заодно з шиберами 7. Між корпусом 4 і ротором 5 утворені робочі об'єми 11, які один від одного герметично відділені шиберами 7. У середині ексцентрикової осі 2 виконані впускний колектор 12 і випускний колектор 13, з можливістю сполучення з каналами 14 в роторі 5. Опори обертання 3 ротора 5 виконані у вигляді золотників - розподільників, і через канали 14 розподіляють засмоктування рідини з впускного колектора 12 в робочі об'єми 11 і нагнітання рідини у випускний колектор 13. Для подачі або зняття крутного моменту

є вал 15, жорстко зчленований з корпусом 4. Для зміни ексцентриситету вісь 2 має можливість поступального вертикального

переміщення по пазу 16 в блоці 1 за допомогою дії на неї штока 17. Керування зміщенням осі 2 здійснюється приводом 18.

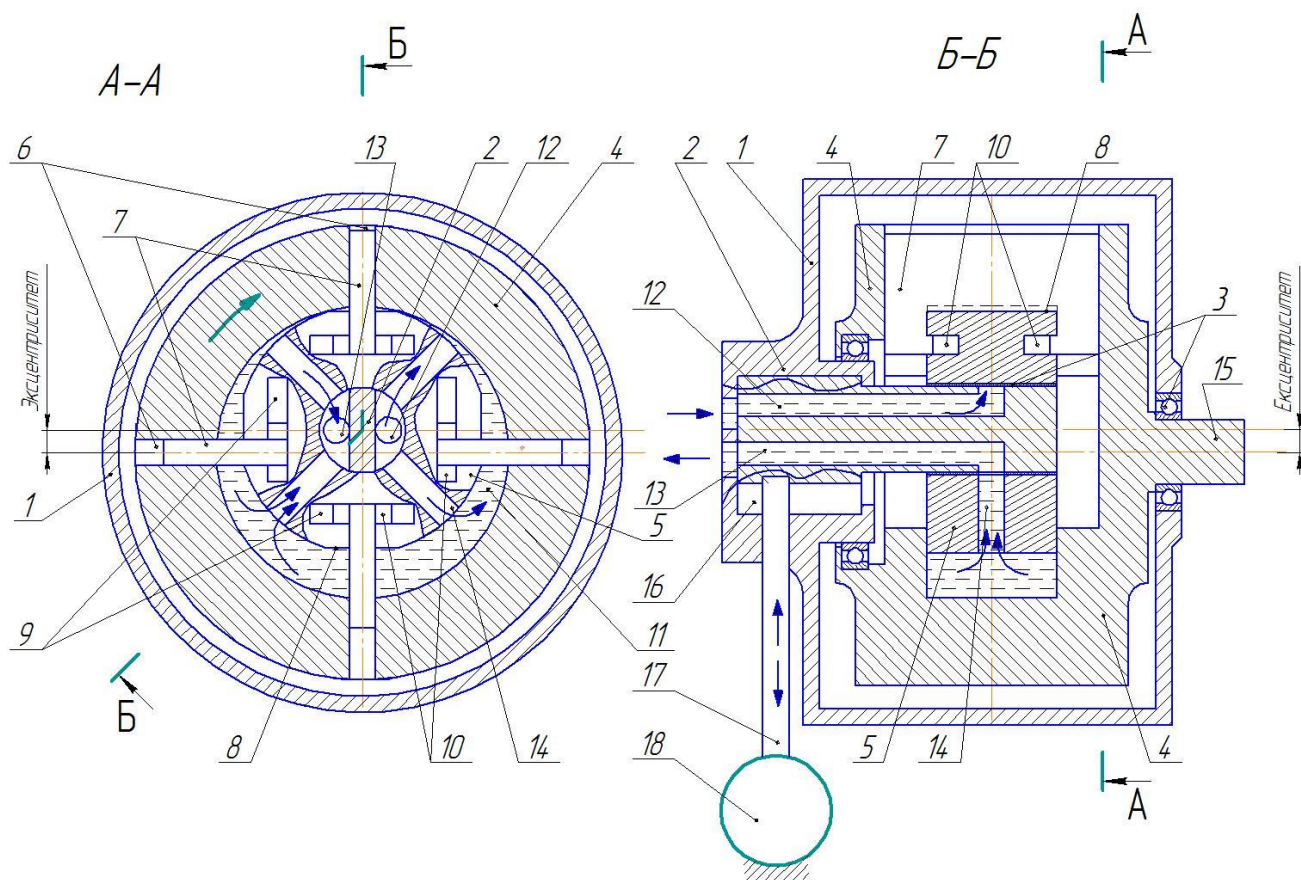


Рис. Гідравлічна біроторно шиберна машина зі змінним ексцентриситетом взаємного розташування ротора і корпусу

ГБШМ працює таким чином. При обертанні корпусу 4 і синхронізованого з ним ротора 5 відбувається зміна ємності герметичних робочих об'ємів 11. Синхронізацію обертання забезпечують шибери 7 зі своїми повзунами 10 і радіальні пази 6 корпусу 4 і тангенціальні пази 9 ротора 5. Рідина через впускний колектор 12 і канали 14 в роторі 5 засмоктується в робочі об'єми 11 і нагнітається у впускний колектор 13. Канали 14, проходячи навпроти впускних 12 і нагнітальних колекторів 13 на опорі обертання 3, розподіляють впуск або нагнітання рідини, тобто виконують функцію золотників-

розподільників. Для зміни ексцентриситету вісь 2 може поступально вертикально переміщатися по пазу 16 у блоці 1. Шток 17 діє на вісь 2 зусиллям від привода 18.

**Висновки з дослідження і перспективи подальшого розвитку у даному напрямку.** Доцільно на тепловозах для охолодження радіаторів дизеля застосовувати гідравлічні біроторно шиберні машини. Керування обертами гідромоторів здійснювати регулюванням продуктивності гідронасосів способом зміни ексцентриситету взаємного розташування ротора та корпусу, що сприяє підвищенню ККД гідропривода.

### Список використаних джерел

1. Галкин, В.Г. Надежность тягового подвижного состава [Текст] / В.Г. Галкин, В.П. Парамзин, В.А. Четвергов. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.
2. Тепловоз ТЭП60 руководство по эксплуатации и обслуживанию [Текст]. – М.: Транспорт, 1975. – 384 с.
3. Быков, В.Г. Пассажирский тепловоз ТЭП70 [Текст] / В.Г. Быков, Б.Н. Морошкин, Г.Е. Серделевич [и др.]. – М.: Транспорт, 1976. – 232 с.
4. Тепловозы. Конструкция, теория и расчет [Текст] / под ред. Н.И. Панова. – М.: Машиностроение, 1976. – 544 с.
5. Черкасский, В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры [Текст] / В.М. Черкасский. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.
6. Теория механизмов и машин [Текст] / под ред. К.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1987. – 496 с.
7. Пат. 43282 А України, МПК 7 F02B53/00, F01C1/00, F04C2/00, F04C18/00. Роторна машина Чубикало М.Б. (варіанти) [Текст] / Чубикало М.Б. (Україна). – № 2001064078; заявл.14.06.2001; опубл. 15.11.2001, Бюл. № 10. – 10 с.
8. Пат. 50647 А України, МПК 7, F01C1/348, F02B55/00, F03C2/00. Роторна машина Чубикало М.Б. [Текст] / Чубикало М.Б. ( Україна ). – № 2009070790; заявл.24.07.2009; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12 - 9 с.

Рецензент д-р- техн. наук, професор А.П. Фалендиш

---

Чубикало Михайло Борисович, канд. техн. наук, доцент кафедри теплотехніки та теплових двигунів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-28. E-mail: chubikalom@rambler.ru

Michael B. Chubikalo, cand. of techn. sciences, assistant professor of teplotehnika that teplovi dvigunov Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-28. E-mail: chubikalom@rambler.ru

**УДК 625.032.07**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЯКОСТЕЙ ВАГОНА З ПНЕВМАТИЧНИМИ РЕСОРАМИ**

**Магістрант К.І. Мартинов**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ВАГОНА С ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ РЕССОРАМИ**

**Магістрант К.И. Мартынов**

### **RESEARCH OF DYNAMIC INTERNALS OF CARRIAGE WITH PNEUMATIC SPRINGS**

**Master student K.I. Martynow**

*У статті наведено результати комп'ютерного моделювання динаміки вагона, який обладнано системою пневматичного ресорного підвішування. Досліджено вплив параметрів системи на затухання вертикальних коливань кузова вагона.*

**Ключові слова:** вагон, динаміка, пневматична ресор.

В статті приведені результати комп'ютерного моделювання динаміки вагона, котрий обладнаний системою пневматического ресорного підвешивання. Исследовано вплив параметрів системи на згасання вертикальних коливань кузова вагона.

**Ключевые слова:** вагон, динаміка, пневматическая ресора.

In article results of computer modelling of dynamics of the car equipped with pneumatic spring suspension are resulted. Influence of parameters of system on the damping of vertical oscillations of the car body.

**Key words:** carriage, dynamic, pneumatic spring.

**Вступ.** Провідне місце залізниці, як ефективного транспорту для перевезень пасажирів і вантажів, не підлягає сумніву.

Одним з важливих моментів стосовно оновлення залізниці є підвищення швидкості руху потягів. Це можна вирішити двома шляхами, один з яких, витратний, полягає у побудові нових, залізничних колій для швидкісного руху потягів, а другий, менш витратний, потребує створення швидкісного транспорту, зокрема вагонів, які мають можливість рухатися зі швидкістю до 200 км/год.

**Постановка проблеми.** Для поширених металевих систем ресорного підвешивання транспортних засобів характерний ряд недоліків: обмеженість

величини статичного прогину, необхідність установлення паралельно пружним елементам гасників коливань, слабка фільтрація вібрацій і шумів, обумовлених взаємодією коліс з колійною структурою.

Характеристики металевого ресорного підвешивання накладають значні обмеження на показники комфортності для пасажирів вагонів. Тому для вагонів, швидкість руху яких не задовольняє сучасні вимоги, особливу актуальність набуває проблема створення принципово нових систем ресорного підвешивання.

**Аналіз досліджень.** Одним з перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є застосування візків, обладнаних пневматичним ресорним підвешиванням (рис. 1).

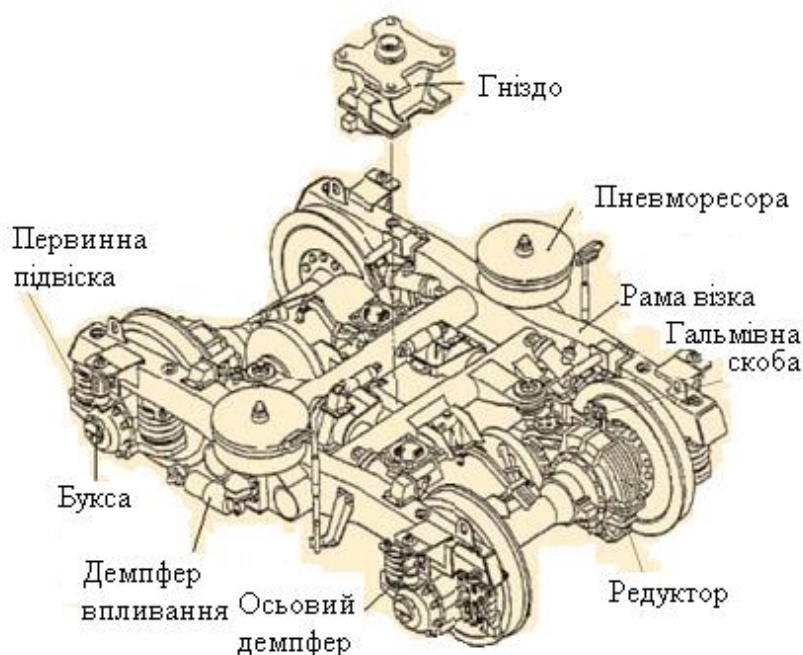


Рис. 1. Візок потяга JR Central модель 300



Цей візок на пневматичному ресорному підвішуванні використовується на багатьох швидкісних потягах у Європі, аналогічну конструкцію пневматичного підвішування має візок у потягах серій E1, E2 та інших, який експлуатується на ділянці Нагано у Японії [1].

Основу візка складає Н-подібна рама, що складається з поздовжніх балок коробчастого перерізу, які зварено з 8-міліметрових сталевих листів. Балки з'єднано поперечними сталевими трубами з товщиною стінок 12 мм. Колеса мають діаметр 860 мм, вони напресовані на порожнисті осі. Букси виготовлені з алюмінієвого сплаву. Це дозволило створити візок масою 6600 кг з

необресореною масою 3500 кг. Високу якість динаміки руху забезпечує використання букс-балансирів, зв'язаних з рамою візка пружними ресорами, вертикальними та поздовжніми гасниками коливань і пневматичними ресорами, які розміщено у центральній (кузовній) ступені підвішування.

Аналогічні системи пневматичного ресорного підвішування широко використовуються на залізничному транспорті за кордоном, бо забезпечують високий комфорт для пасажирів.

На рис. 2 наведено типову схему пневматичного ресорного підвішування однієї сторони візка вагона.

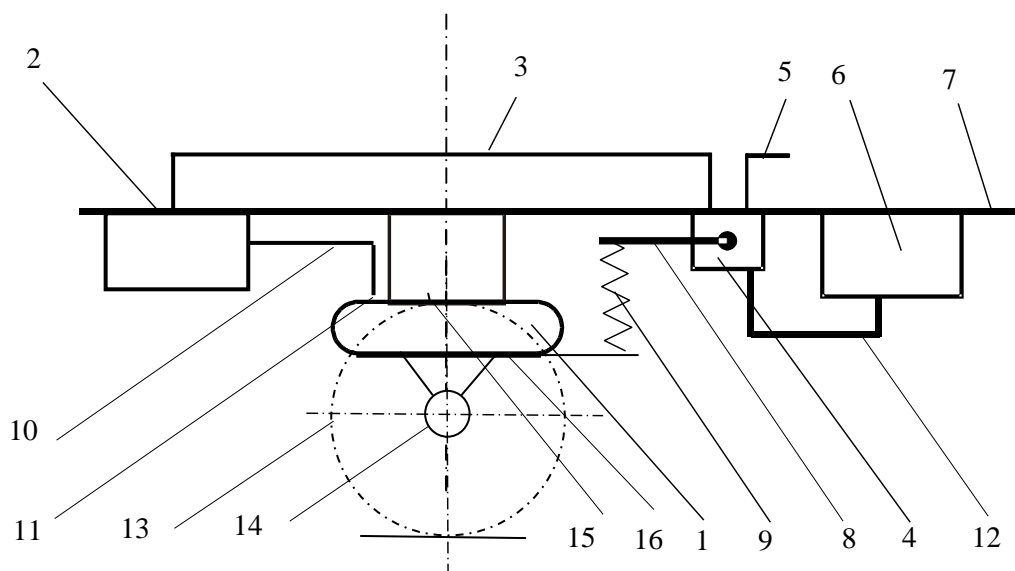


Рис. 2. Схема пневматичного ресорного підвішування:

1 – пневматична ресора; 2 – додатковий резервуар; 3 – трубопровід; 4 – регулятор положення кузова (РПК); 5 – патрубок випуску повітря в атмосферу; 6 – компресор; 7 – рама кузова транспортного засобу; 8 – важіль привода; 9 – пружина привода РПК; 10 – трубопровід; 11 – дросель; 12 – трубопровід; 13 – колесо; 14 – букса; 15 – верхнє днище пневморесори; 16 – нижнє днище пневморесори

Система пневматичного підвішування складається з пневморесори 1, з'єднаної з додатковим резервуаром 2 трубопроводом 3, що містить дросель 11. До регулятора положення кузова (РПК) 4 через патрубок 12 підводиться стиснуте повітря від

компресора 6, а через патрубок 10 він подається до пневморесори 1. Через патрубок 5 надлишок стиснутого повітря підбурюється в атмосферу. Важіль 8 привода РПК через пружину 9 з'єднаний з нижнім днищем 16 пневморесори 1, що

спирається через буксу 14 на колесо 13. На верхнє днище 15 спирається рама 7.

На початку руху рама з кузовом 7 знаходяться в нижньому положенні і пружина 9 важеля 8 РПК 4 повертає важіль 8 за годинниковою стрілкою. При цьому РПК 4 відкривається і подає стиснуте повітря через патрубок 10 до пневморесори 1 і додаткового резервуара 2. Зі збільшенням тиску повітря в пневморесорі рама з кузовом піднімаються вгору разом з РПК 4, а важіль 8 обертається проти годинникової стрілки, доки він займе горизонтальне положення. При цьому з'єднання пневморесори 1 з компресором 6 і з атмосферою припиняється і рама з кузовом 7 займають номінальне положення по висоті. Якщо рама з кузовом 7 з якоїсь причини виявляться вище, то важіль 8, обертаючись далі проти годинникової стрілки, з'єднає пневморесору 1 через РПК 4 і патрубок 5 з атмосферою і відбудеться скидання зайвого повітря.

У процесі руху вагона по колійній структурі нерівності, що зазвичай мають місце, викликають вертикальні переміщення коліс 13, які призводять до деформацій пневморесор 1, а отже, до силових дій на кузов 7 і викличуть їх коливання.

Розвитку коливань запобігають шляхом розсіювання їх енергії в довкілля за допомогою гасників коливань-демпферів.

У системі пневматичного ресорного підвішування енергію коливань можна розсіяти в процесі перетікання потоку повітря між пневморесорою 1 і додатковим резервуаром 2 по трубопроводу 3, зі встановленим у ньому дроселем 11, з подальшим перетворенням енергії коливань у теплову та теплопередачу її в довкілля.

Пневморесори дозволяють отримати в стиснених габаритах значно більшу величину статичного прогину, ніж металеві, тобто реалізувати «м'яке» ресорне підвішування, щоб забезпечити наближення власної частоти коливань кузова нижче за 1 Гц.

У процесі колійних і динамічних випробувань швидкісного електропоїзда ЕР-200 було виявлено ще одно важливу перевагу пневматичного ресорного підвішування – здатність фільтрувати високочастотні вібрації, що передаються від контактів коліс з колійною структурою до кузова [2].

При такій, найбільш комфортній для людини, частоті коливань і відсутності вібрацій у неї підвищується продуктивність праці, увага, знижується стомлюваність і, крім того, підвищується надійність роботи механізмів і пристроїв вагона.

Оскільки гасники коливань, які, як правило, недостатньо надійні в експлуатації, тому продовжується пошук технічних рішень щодо пневматичного ресорного підвішування, які забезпечать розсіювання енергії коливань кузова без використання гасників коливань.

Незважаючи на значні успіхи практичного застосування, деякі питання розрахунку і проектування систем пневматичного ресорного підвішування досліджені недостатньо. Зокрема це стосується визначення раціональних параметрів пневматичної ресори і усіх елементів системи, що призначені для встановлення на вагони.

**Визначення мети.** Метою статті є дослідження динамічних якостей вагона, який обладнано системою пневматичного ресорного підвішування, і визначення її раціональних параметрів.

**Основна частина дослідження.** Для визначення раціональних параметрів системи пневматичного ресорного підвішування і їх впливу на динамічні характеристики вагона обираємо метод математичного моделювання руху вагона по рейковій колії, що має вертикальні нерівності, які збуджують коливання вагона.

Визначення раціональних параметрів системи пневматичного ресорного підвішування відбувається у процесі дослідження математичної моделі динаміки вагона із застосуванням ЕОМ.

Математичні моделі вертикальних коливань транспортних засобів на пневматичних ресорах, як одномасових системах, наведено в роботах [3, 4].

Рівняння коливань маси вагона  $m$ , що припадає на одну пневморесору (математична модель), при вимкненому РПК, має такий вигляд:

$$m \cdot \ddot{z} + K \frac{G}{f_d} \dot{z} + \frac{n(P_{\text{п}} + 1)F^2}{V_{\text{п}} + V_{\text{др}}} z = P_{\text{г}},$$

де  $P_{\text{г}}$  – сила, що надходить від нерівностей на рейках і спрямована уздовж вертикальної осі  $z$ ;

$K$  – коефіцієнт, який визначається в процесі моделювання коливань системи;

$G$  – маса повітря, яка перетікла через дросельний отвір впродовж напівперіоду коливань;

$F_d$  – площа прохідного перерізу дросельного отвору;

$F$  – ефективна площа пневморесори;

$V_{\text{п}}$ ,  $V_{\text{др}}$  – об'єми пневморесори і додаткового резервуара відповідно;

$N$  – показник політропи.

Першим доданком у рівнянні є сила інерції маси  $m$ , другим дисипативна сила, а третім – пружна сила, яка створюється пневморесорою. Величини тиску повітря  $P_1$  і масової витрати повітря через дросель  $G$  визначаються газотермодинамічними рівняннями [3].

Ряд рекомендацій з вибору параметрів і характеристик системи пневматичного ресорного підвішування (пневморесор, дроселів, додаткових резервуарів, сполучних трубопроводів), розроблених на основі результатів теоретичних і натурних досліджень, наведено в роботі [5].

Жорсткість пневматичного ресорного підвішування, а отже, і частота власних коливань кузова з рамою прямо пропорційні об'єму пневморесори разом з додатковим резервуаром, якщо переріз дросельного отвору складає 0,001-0,0015

ефективної площі пневморесори, яка дорівнює відношенню навантаження на неї до тиску повітря усередині неї.

При меншому перерізі дроселя його пропускна спроможність зменшується і додатковий резервуар «закривається», що різко збільшує жорсткість пневмопідвішування.

Об'єм додаткового резервуара вибирається з умови отримання необхідної частоти власних коливань і зазвичай складає не менш ніж 2,5 об'єма пневморесори.

Коефіцієнт відносного демпфірування коливань для транспортних засобів рекомендується приймати рівним 0,2-0,3. Площу перерізу трубопроводу 3 (рис. 2) рекомендується приймати в інтервалі 0,03-0,05 ефективної площі пневморесори.

Переріз трубопроводів 5 і 12 зазвичай приймають у два-три рази менше, ніж у трубопроводі 3.

Обрані таким чином параметри системи пневматичного ресорного підвішування є початковими вихідними даними для виконання досліджень коливань вагона за допомогою ЕОМ з подальшою оптимізацією або вибором їх раціональних значень.

Дослідження цієї системи диференціальних рівнянь проведено методом чисельної інтеграції в середовищі MatLab, оскільки вона містить нелінійні елементи (радикали та інше). Вихідні дані для одного з множини варіантів системи, що було досліджено, відповідно для серійного пасажирського вагона наведено в таблиці.

Власні коливання кузова вагона збуджувались при наїзді колеса на нерівність у вигляді сходинки. Вона може створюватися, наприклад, при проходженні колесом стику рейок.

У результаті розв'язання отримано осцилограми власних вертикальних коливань четвертої частини маси кузова, що припадає на одну пневморесору (рис. 3, 4, 5).

Початкові дані

$P_n$ , МПа	$m$ , т	$F$ , м <sup>2</sup>	$V_n$ , м <sup>3</sup>	$V_{др}$ , м <sup>3</sup>	$n$	$T_0$ , К
0,5	11	0,125	0,012	0,05	1,4	288

$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$C_V$ , Дж/(кг·град)	$C_P$ , Дж/(кг·град)	$R$ , Дж/(кг·град)	$K_i$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·град)	$H_i$ , м <sup>2</sup>	$\mu$	$f$ , м <sup>2</sup>
6,6	717	1000	287	1000	0,74	0,8	$13 \cdot 10^{-5}$

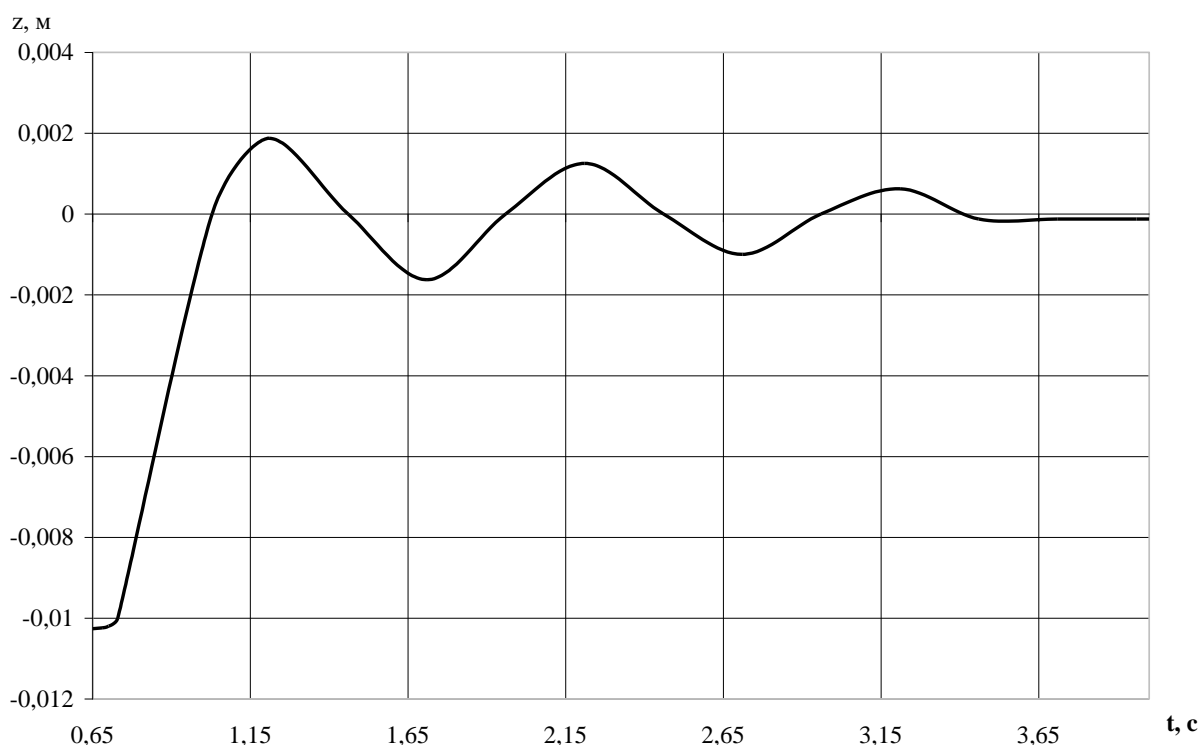


Рис. 3. Графік власних коливань маси на пневматичній ресорі при одиничному імпульсі збудження (відносно демпфірування 0,1 критичного)

Аналіз наведених графіків дозволяє зробити висновок про характер згасань власних коливань кузова на пневморесорах. На першому графіку показник демпфірування відповідав перерізу дроселя  $19 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ , на другому цей переріз було зменшено до  $13 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ . Коливання згасали швидше. На третьому графіку вони майже

відсутні, бо переріз дроселя був зменшений до  $10 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ . Отже, переріз дроселя, який відповідає другому графіку, будемо вважати раціональним.

При цьому коефіцієнт демпфірування коливань, що розрахований за формулою  $D = (\ln(A_1/A_2))/2\pi$ , дорівнює 0,25, тобто

## Рухомий склад залізниць

знаходиться в інтервалі рекомендованих амплітуди коливань.  
значень. У цій формулі  $A_1$  і  $A_2$  – послідовні

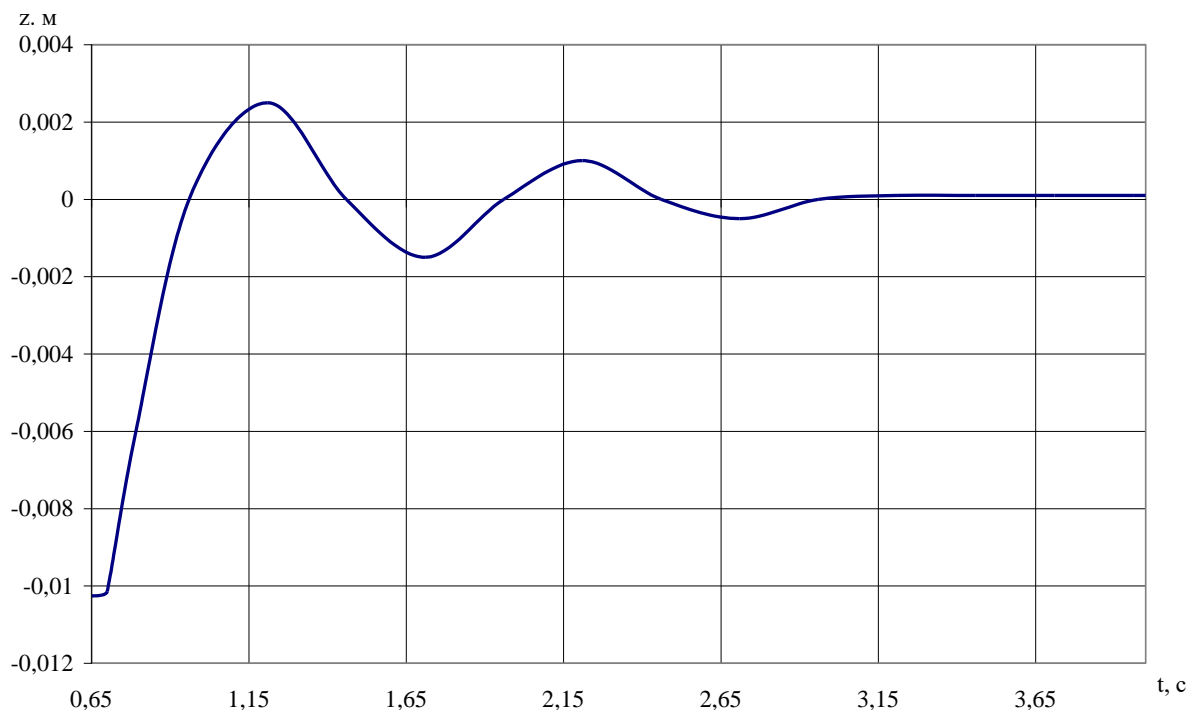


Рис. 4. Графік власних коливань маси на пневматичній ресорі при одиничному імпульсі збудження (відносне демпфірування 0,25 критичного)

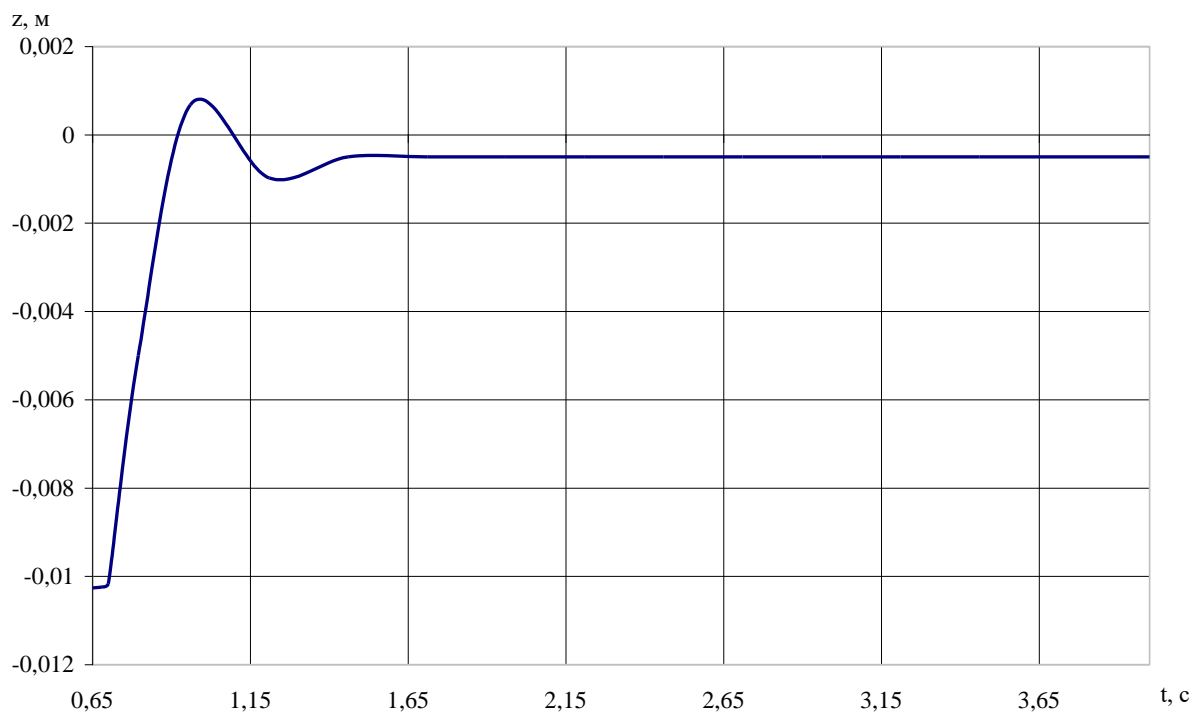


Рис. 5. Графік власних коливань маси на пневматичній ресорі при одиничному імпульсі збудження (відносно демпфірування 0,35 критичного)

Якщо отримані результати не задовольняють вимоги до динамічних характеристик ресорного підвішування, то розрахунок слід повторювати з варіюванням параметрів до отримання прийняттого результату.

**Висновки.** 1. Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень показує, що

пневматичне ресорне підвішування дозволяє вирішити завдання істотного поліпшення динаміки вагонів.

2. Запропоноване моделювання дає змогу на стадії проектування визначати раціональні параметри і характеристики системи пневматичного ресорного підвішування для вагонів.

### *Список використаних джерел*

1. Корниенко, В.В. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт [Текст] / В.В. Корниенко, В.И. Омеляненко. – Харьков: НТУ ХПИ, 2007. – Вып. 159. – С. 26-35.
2. Львов, А.А. Динамика вагонов электропоездов ЭР 22 и ЭР 200 на тележках с пневматическим подвешиванием [Текст] / А.А. Львов, Ю.С. Ромен, А.В. Кузнецов [и др.]. // Труды ЦНИИ МПС. – 1970. – Вып. 417. – 184 с.
3. Куценко, С.М. Пневматическое рессорное подвешивание тепловозов [Текст] / С.М. Куценко, Э.П. Елбаев, В.Г. Кирпичников [и др.]. – Харьков: Вища шк., 1978. – 97 с.
4. Маслієв, В.Г. Поліпшення динамічних якостей транспортних засобів шляхом застосування пневматичних ресор [Текст] / В.Г. Маслієв, А.О. Маслієв // Зб. наук праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 123. – С. 24-30.
5. Маслиев, В.Г. Параметры воздушного тракта пневматического рессорного подвешивания тепловоза 2ТЭ116 [Текст] / В.Г. Маслиев, Н.А. Лобачев // Конструирование и производство транспорта. – М.: Машиностроение, 1982. – Вып. 14. – С. 54-58.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

---

Мартинов Кирило Ігорович, магістрант кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. E-mail: [gorter10@gmail.com](mailto:gorter10@gmail.com).

Martynow Kirill, master student of department wagons Ukraine state academy of railway transport. E-mail: [gorter10@gmail.com](mailto:gorter10@gmail.com).

УДК 629.45: 621.331: 681.518.54

**ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СИСТЕМА ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА**

Канд. техн. наук В.В. Бондаренко, асист. Д.І. Скуріхін, магістрант М.В. Гончаренко

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА**

Канд. техн. наук В.В. Бондаренко, ассист. Д.И. Скурехин, магистрант М.В. Гончаренко

**PASSENGER CAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM**

**Cand. of techn. sciences V.V. Bondarenko, assist. D.I. Skurihin,  
master student M.V. Goncharenko**

*Досліджена можливість застосування сонячної енергетики у сфері вагонного господарства. Досліджений рівень інсоляції за маршрутом прямування поїздів Харків-Сімферополь та розрахована фотоелектрична система пасажирського вагона.*

***Ключові слова:** сонячна енергетика, пасажирський вагон, фотоелектрична система, ФЕС, інсоляція.*

*Исследована возможность применения солнечной энергетики в сфере вагонного хозяйства. Исследован уровень инсоляции по маршруту следования поездов Харьков-Симферополь и рассчитана фотоэлектрическая система пассажирского вагона.*

***Ключевые слова:** солнечная энергетика, пассажирский вагон, фотоэлектрическая система, ФЭС, инсоляция.*

*The solar energy application in the field of passenger car management is proved in the article and designed PV system of passenger car.*

***Keywords:** solar energy, passenger cars, photovoltaic system, FES, insolation*

**Вступ.** В Україні розвиток інфраструктури для отримання та споживання сонячної енергії вважається перспективним напрямком, оскільки середньорічний рівень інсоляції для більшості її територій є більшим, ніж у країнах Європи, які знаходяться на аналогічних широтах, а для півдня України відповідає рівню інсоляції країн південної Європи, у тому числі й Італії. У зв'язку з викладеним вище застосування сонячної енергії як альтернативного джерела електричної енергії для підприємств залізничної галузі та рухомого складу залізниць вважаємо актуальною проблемою, вирішення якої вимагає

проведення щільних та всебічних досліджень.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Останнім часом в Україні та у світі велике значення приділяється застосуванню енергозберігаючих технологій і альтернативних джерел електричної та теплової енергії у різних галузях народного господарства. В значній мірі це стосується галузі вагонного господарства – як одного з великих споживачів енергії серед інших галузей держави. Для регіону України серед різних видів альтернативної енергетики значний інтерес з економічної,

екологічної та енергетичної точок зору являє сонячна енергетика, оскільки: капітальні вкладення робляться тільки один раз, затрати при експлуатації мінімальні, з кожним роком вартість однієї кіловат-години знижується завдяки підвищенню їх коефіцієнта корисної дії, джерело енергії невичерпне; експлуатація фотоелектричних елементів виключає забруднення навколишнього середовища; використання фотоелектричних елементів дозволяє отримувати енергію у будь-якому місці, куди неможливо підвести лінію електропередачі.

Враховуючи актуальність та перспективність використання сонячної енергетики в Україні, у роботі була поставлена задача дослідити можливість застосування сонячної енергетики у сфері вагонного господарства, дослідити рівень інсоляції за маршрутом прямування поїздів Харків-Сімферополь та розрахувати фотоелектричну систему пасажирського вагона.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останніми роками вітчизняними та закордонними фахівцями активно досліджується перспектива використання альтернативних джерел енергії, насамперед сонячної, для отримання електричної та теплової енергії. Так, у ряді країн світу – США, Німеччині, Японії та ін. анонсовані державні програми, які націлені на заохочення населення та підприємств до використання сонячних елементів та сонячних колекторів. Наприклад, у Німеччині з 1997 року працює програма "сто тисяч сонячних дахів", за якою держава купує залишки енергії у громадян, що встановили фотоелектричні панелі, за ціною у три рази дорожче за ринкові ціни. США також представили державну програму "мільйон сонячних дахів", за якою до 2010 року 1000000 будівель повинні бути обладнані сонячними батареями [1, 2, 3].

Активно застосовуються сонячні батареї на транспорті (водному, повітряному та наземному). Існує також

світова практика обладнання залізничного рухомого складу фотоелектричними елементами. Так, італійські інженери у 2005 році презентували перший поїзд, який працює за допомогою сонячної енергії (проект PVTRAIN) [4]. Сонячні панелі розміщені на даху вагона та поставляють енергію для систем кондиціонування, освітлення та безпеки поїзда.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Аналіз вітчизняного і закордонного досвіду використання альтернативних джерел енергії та обґрунтування доцільності застосування сонячної енергетики у сфері вагонного господарства. Дослідження рівня сонячної радіації (інсоляції) за маршрутом прямування поїздів Харків-Сімферополь, будівництва та розрахунок фотоелектричної системи пасажирського вагона.

**Основна частина дослідження.** Загальна площа території України становить 603,7 тис. км<sup>2</sup>, при цьому, рівень надходження сонячної радіації досить високий, він становить 3,46 мільярдів мегават-годин на рік. Найбільше число годин сонячного опромінення (2300-2400 годин на рік) спостерігається у Криму та на узбережжі Чорного і Азовського морів. У степовій зоні України тривалість сонячного опромінення становить 2000-2200 годин. У напрямку полісся та на сході країни тривалість сонячного опромінення зменшується до 1740-1840 годин, у низинах закарпатської області число годин сонячного опромінення досягає 2025 годин на рік. Найбільш сонячні місяці – із травня по серпень, найменш сонячні – з листопада по лютий. За кліматичними умовами Україну можна віднести до регіонів із сонячною радіацією середньої інтенсивності.

Кількість сонячної енергії, що припадає на одиницю площі, становить 1000-1350 кВт\*год/м<sup>2</sup>, при цьому, згідно з дослідженнями останніх років, в умовах України виробництво теплової енергії становить лише 500-600 кВт\*год/м<sup>2</sup>.



## Рухомий склад залізниць

Для оцінки геліоенергетичного аналіз (табл. 1, 2).  
потенціалу України наведемо порівняльний

Таблиця 1

Період	Сумарна сонячна радіація, що досягає поверхні ґрунту по Україні		Еквівалентна кількість палива, млн т		
	МДж	кВт•год	Газ природний	Кам'яне вугілля	Нафта
Січень	4,53E+10	1,26E+10	1 006	1 677	1 006
Липень	3,62E+11	1,01E+11	8 049	13 416	8 049
Рік	2,44E+12	6,79E+11	54 333	90 555	54 333

Таблиця 2

Період	Сонячна радіація, що досягає поверхні ґрунту по Україні	
	МДж/м <sup>2</sup>	кВт•год/м <sup>2</sup>
Січень	75	21
Липень	600	167
Рік	4 050	1 125

З табл. 1 та 2 можна зробити висновок, що на територію України за рік надходить така кількість енергії сонця, яка перевищує рівень її внутрішнього споживання більш ніж у п'ятсот разів. Тобто досить використовувати лише 0,5% енергії сонця, яка досягає поверхні України, щоб задовольнити енергетичні потреби українців.

Існують два основних способи використання сонячної енергії:

- безпосереднє перетворення в електричну енергію за допомогою сонячних фотоелектричних модулів.

- перетворення сонячної енергії в низькопотенціальну теплову енергію.

Перший спосіб є найбільш привабливим з екологічної точки зору.

Основна проблема розвитку фотоенергетики – висока вартість електроенергії, однак найближчими роками прогнозується зростання виробництва сонячних батарей завдяки збільшенню їх ККД та удосконаленню технологій їх

виготовлення. Що стосується другого способу – сонячного теплопостачання, то в Україні вже реалізовано більш 50 експериментальних проектів у різних галузях народного господарства. Річний виробіток теплової енергії досягає 500-600 кВт\*год/м<sup>2</sup>, а строк окупності від 3 до 10 років.

З метою дослідження рівня сонячної радіації (інсоляції) за маршрутом прямування поїздів сполученням Харків-Сімферополь були зібрані та оброблені статистичні дані метеорологічних центрів [6], згідно з якими отримані географічні координати маршруту та відповідно до них було визначено рівні інсоляції через кожні 10 км протягом всього маршруту, який складає в цілому 683 км.

З рис. 1 видно, що протягом маршруту поїзда має місце досить високий рівень сонячної радіації (від 3046 до 3703 Вт/м<sup>2</sup>/день). При цьому середній рівень інсоляції на маршруті складає 3251 Вт/м<sup>2</sup>/день. Так, для порівняння,

вважається, що дуже низький середньорічний рівень інсоляції у Фінляндії (2410

Вт/м<sup>2</sup>/день), а дуже великий – у Центральній Австралії (5890 Вт/м<sup>2</sup>/день).

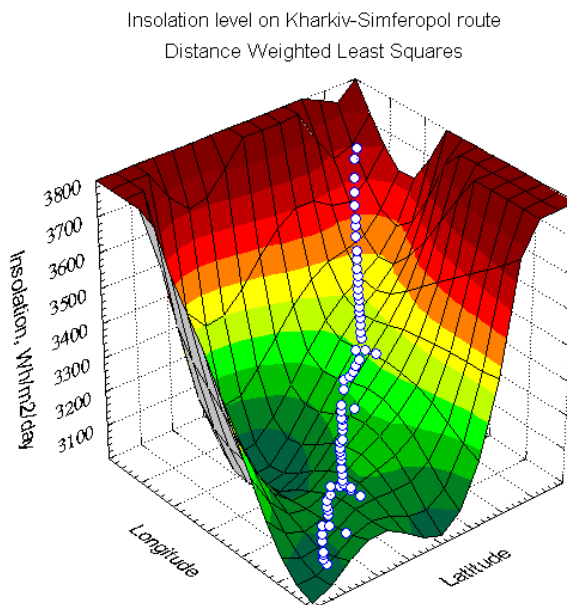


Рис. 1. Географічне розташування маршруту поїздів сполученням Харків-Сімферополь та зображення на тривимірному графіку залежності рівня сонячної радіації від географічних координат маршруту (“Latitude” – широта, “Longitude” – довгота, “Insolation” – інсоляція або сонячна радіація)

Нами була сформована фотоелектрична система вагона, яка зображена на рис. 2 [7]. За попередніми розрахунками, обладнавши сонячними батареями площину в 55м<sup>2</sup> даху вагона (загальна площа якого складає 78,85 м<sup>2</sup>), можна отримати близько 5 кВт електричної енергії, що складатиме за рік 93560 кВт\*год з одного вагона при середньому рівні інсоляції на маршруті у 3251 Вт/м<sup>2</sup>/день. На практиці фотоелектричні елементи можуть використовуватись як поодиночі, так і збиратись у сонячні батареї (фотомодулі) для отримання потрібної потужності. Типова батарея номіналом 50 Вт складається із 36 послідовно з’єднаних

сонячних елементів 100x100 мм<sup>2</sup>. Така батарея в робочій точці розвиває 17 В при струмі 3 А при освітленні 100 мВт/см<sup>2</sup> [5]. Модуль виконаний у вигляді панелі, в алюмінієвому каркасі. Панель являє собою фотоелектричний генератор, який складається зі скляної плити, з тильних боків якої між двома шарами ламінуючої плівки розміщені сонячні елементи, які електрично поєднані між собою шинами. До внутрішнього боку модуля приєднаний блок терміналів, у якому розташовані електричні контакти, призначені для підключення модуля.

Найкращі сонячні елементи на даний момент мають коефіцієнт корисної дії більше 30 %, та строк служби близько 30-

## Рухомий склад залізниць

50 років, робота їх безшумна, окрім цього, фотоелектричні елементи мають велику

надійність.



Рис. 2. Фотоелектрична система пасажирського вагона

Необхідно зазначити, що економіка України має відповідні потужності з виробництва необхідних компонентів та створення інфраструктури сонячної енергетики. Виробничі можливості тільки таких гігантів мікроелектроніки, як виробничі об'єднання «КВАЗАР», «ІРВА» (м. Київ), «Гравітон» (м. Чернівці), «Хартрон» (м. Харків), «Гамма» і «Електроавтоматика» (м. Запоріжжя), «Дніпро» (м. Херсон), «Позитрон» (м. Івано-Франківськ) дозволяють проводити повний технологічний цикл створення сонячних елементів. Україна має висококваліфікований науковий потенціал в цій галузі (Інститут фізики напівпровідників та Інститут електродинаміки НАНУ, Київський національний університет

ім. Тараса Шевченка, Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича, Національний технічний університет «КПІ»).

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Проведений аналіз робіт вітчизняних та закордонних авторів з метою дослідження світового досвіду впровадження енергозберігаючих технологій свідчить про широкі перспективи використання сонячної енергетики у сфері вагонного господарства та актуальність вирішення проблеми обладнання вітчизняного рухомого складу (вагонів) південного прямування сонячними модулями як додатковим джерелом електричної енергії.

### Список використаних джерел

1. Оборудование нетрадиционной и малой энергетики [Текст] / под ред. С.П. Осипова. – АО ВИЕН, 2000.
2. Солнечные батареи [Текст] / под ред. Д.Ю. Потапова. – Днепропетровск: Вища школа, 1982.
3. Альтернативная энергетика [Текст] / под ред. В.С. Кирилова. – М.: Госэнергоиздат, 1983.
4. [http://www.greencarcongress.com/2005/10/italian\\_trains\\_.html](http://www.greencarcongress.com/2005/10/italian_trains_.html)
5. <http://www.rpd.univ.kiev.ua/new/ukr/cikavo/solarenergy.php>
6. <http://www.discoversolarenergy.com/solar/radiation.htm>
7. Спосіб альтернативного енергозабезпечення вагонів рейкового рухомого складу від фотоелектричної системи [Текст]: пат. 101017 Україна: а 201033363 / Бондаренко В.В.; заявник та власник Українська державна академія залізничного транспорту, заявл. 17.09.2010; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4. – 5с.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

---

Бондаренко Вячеслав Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: bonvya@mail.ru.

Скуріхін Дмитро Ігоревич, асистент кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-35.

Гончаренко Максим Вікторович, магістрант кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-35.

Bondarenko Vyacheslav, cand. of techn. sciences, assistant professor of the department wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: bonvya@mail.ru

Skurihin Dmitry, assistant of the department wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35.

Goncharenko Maxim Viktorovich, master student the department wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35.

**УДК 629.4.023.14**

### **УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОВЕДЕННЯ РЕВІЗІЇ БУКС ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ЗАСОБАМИ ДІАГНОСТИКИ**

**Магістрант О.О. Кузінок**

### **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ РЕВИЗИИ БУКС ПАСАЖИРСКИХ ВАГОНОВ СРЕДСТВАМИ ДИАГНОСТИКИ**

**Магістрант А.А. Кузінок**

### **IMPROVEMENT OF THE AUDIT AXLE BOXES PASSENGER CARS DIAGNOSTICS TOOL**

**Master student A.A. Kuzinok**

*Наведено удосконалену систему проведення ревізії брук пасажирських вагонів засобами діагностики, що, на відміну від аналогів, забезпечує гнучкість архітектури побудови*

функціональних блоків діагностичної системи під конкретні завдання, мінімізує її ціну і розширює сферу застосування.

**Ключові слова:** буксовий вузол, вібродіагностика, дефекти, технічний стан, надійність, комплекс.

*Представлена усовершенствованная система проведения ревизии букс пассажирских вагонов средствами вибродиагностики, которая, в отличие от аналогов, обеспечивает гибкость архитектуры построения функциональных блоков диагностической системы под конкретные задания, минимизирует ее цену и расширяет сферу использования.*

**Ключевые слова:** буксовый узел, вибродиагностика, дефекты, техническое состояние, надежность, комплекс.

*Presented an improved system audit axle boxes vibrodiagnostics passenger cars means that unlike analogue architecture provides the flexibility to build functional blocks diagnostic system for a specific job, it minimizes the cost and extend the use. The offered system allows use one computer on the base which the system is formed for connecting to 16 stands on different axle boxes for the exposure defects with authenticity no less than 95% only. The system allows to expose the greater number defects axle boxes and, to carry out in future prognostication remaining resource and passing to repair on the technical state.*

**Keywords:** car axle boxes, vibrodiagnostics, defects, technical state, reliability, complex.

**Вступ.** Підтримання високого рівня надійності вузлів та агрегатів пасажирських вагонів вимагає своєчасного попередження, виявлення та встановлювання можливих несправностей, особливо прихованих, які не можливо виявити зовнішнім оглядом. Разом з тим, розбирання вузлів та агрегатів, враховуючи складність конструкції сучасних пасажирських вагонів, для виявлення прихованих несправностей та пошкоджень пов'язано зі значними витратами часу та коштів, а також з порушенням зв'язку деталей, що дуже скорочує термін роботи агрегатів та вузлів, знижує їх надійність [1-3]. Для вирішення цієї проблеми необхідні методи інструментального контролю щодо їх використання під час проведення планових видів ремонту пасажирських вагонів. В першу чергу це стосується букси – як найважливішого вузла вагона.

**Постановка проблеми.** Проблема забезпечення надійної роботи в експлуатації буксових вузлів, які належать до ходових частин, є одним із головних завдань ремонту пасажирських вагонів, їх відмови можуть призвести до негативних наслідків. Своєчасне виявлення та

запобігання розвитку несправностей підшипників буксових вузлів шляхом розроблення технології діагностування є визначальним заходом у комплексній системі ремонту пасажирських вагонів. У зв'язку з цим періодичний контроль (ревізія) стану буксових вузлів пасажирських вагонів слід проводити без демонтажу шляхом безрозбірного вібраційного діагностування. Віброакустичні методи дають змогу оцінювати стан вузла за параметрами динамічних (віброакустичних) процесів, які відбуваються у буксі [4-7].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як зазначається в роботах [7-8], у багатьох випадках розвиток несправностей буксових вузлів з роликівими підшипниками супроводжується наростанням рівнів шуму, вібрації, підвищенням температури, однак дані ознаки свідчать про наявність вже досить розвиненої несправності і не дозволяють виявляти несправності ще на початковій стадії зародження, тобто мають оцінювальний, констатувальний характер. Дослідження вібраційних характеристик буксових вузлів пасажирських вагонів

проведені в [6,9], однак питання визначення технічного стану елементів буксового вузла, окрім радіального зазору за допомогою вібродіагностичних методів, лишаються не розв'язаними.

**Визначення мети та задачі дослідження.** У більшості випадків руйнування буксових вузлів вагонів відбувається після поступового розвитку несправності [9]. Виявлення несправностей на ранній стадії розвитку, пильне спостереження за їхнім характером і фазою розвитку, достовірне прогнозування технічного стану підшипникових вузлів є завданням методів і засобів вібраційного діагностування. Метою та завданням даної роботи є розроблення системи вібродіагностування в процесі ревізії буксових вузлів пасажирських вагонів, яка безпосередньо впливає на оптимізацію системи, їх ремонту й одержання найбільшого ефекту від застосування такої технології.

**Основна частина дослідження.** Технічний стан буксового вузла визначається  $n$  незалежними величинами  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Отже, технічний стан можливо визначити, якщо відоме значення кожної із  $n$  величин  $x_i$ . Розв'язання такого завдання можливе і в тому випадку, якщо  $x_i$  будуть виражені через будь-які інші величини  $s_1, s_2, \dots, s_m$ , які відомі. Такий непрямий процес визначення невідомих параметрів стану  $x_i$  шляхом вимірювання доступних параметрів діагностичного сигналу  $s_1, s_2, \dots, s_m$  та обчислення параметрів стану  $x_i$  за допомогою відомих заздалегідь співвідношень  $x_i = x_i(s_1, s_2, \dots, s_m)$  називається діагностуванням. Таким чином, визначення залежності параметрів стану від величини параметрів сигналу складає найважливіший і дуже трудомісткий етап розробки системи діагностування буксових вузлів.

Останнім часом на мережі залізниць набули поширення комп'ютерні засоби діагностики технічного стану рухомого складу на основі віброакустичного методу контролю, що забезпечують підвищення безпеки руху та зниження експлуатаційних витрат [10].

Практика показала, що ефективне використання розроблених комплексів може бути забезпечено на вхідних, міжопераційних і вихідних операціях ремонту рухомого складу (статичний моніторинг), проведення контролю вагонів під час руху поїздів (динамічний моніторинг), а також при створенні дистанційних центрів контролю якості ремонту.

В результаті був створений комплекс «ОМСД», який призначений для оперативного контролю технічного стану колісних пар в умовах ремонтних підприємств залізничного транспорту на вхідних, міжопераційних і вихідних операціях ремонту.

Проводиться автоматичне виявлення несправностей за критерієм «придатний / брак»: підшипників на стенді (в роликовому відділенні); буксових вузлів колісних пар на стенді (у монтажному відділенні); колісних пар під пасажирським вагоном (у відділенні вихідного контролю).

Вимірювальна система діагностики механізмів «ОМСД» (див. рисунок) включає в себе: датчики вібрації (п'єзоакселерометри); підсилювачі заряду; аналого-цифровий перетворювач (АЦП); персональний комп'ютер з програмним забезпеченням «Варіант-2»; калібратор; принтер.

До складу технологічного обладнання комплексів вібродіагностики вузлів пасажирських вагонів з ОМСД входять: стенд вібродіагностики підшипників СВП-01В; стенд вібродіагностики колісних пар пасажирських вагонів СВ-01М; стенд вібродіагностики колісних пар і редукторних блоків у середній частині осі СВРП-02.

Алгоритм системи побудований на аналізі сигналів віброприскорень, які вимірюються на корпусах діагностованих об'єктів за допомогою п'єзодатчика.

Одержуваний спектр сигналів при обертанні механізмів дає можливість отримувати інформацію про технічний стан кожного елемента контролюваного об'єкта.

Відмінною особливістю системи ОМСД-02 від інших відомих систем

аналогічного призначення, що застосовуються на залізничному транспорті, є: повна автоматизація процесу діагностики; однозначне визначення результатів при мінімальному часі видачі даних контролю (8 с); висока вірогідність (від 95 % до 99,4 % залежно від типу об'єкта).



Рис. Вимірювальна система діагностики механізмів «ОМСД»

У системі вібродіагностики ОМСД-02 застосований комплексний підхід при аналізі сигналу, що надходить від досліджуваного об'єкта. При цьому використовуються параметри сигналу, що мають найбільшу інформаційну значущість на різних стадіях розвитку дефекту. Дефекти, які зароджуються, виявляються з використанням методу обвідної і статистичного моменту четвертого порядку тимчасового сигналу (ексцесу). Дефекти середньої стадії розвитку визначаються за прямим спектром сигналу, а значні дефекти вузлів – за середньоквадратичним значенням.

**Висновки.** Запропонована система ОМСД для проведення ревізії букс пасажирських вагонів, на відміну від аналогів, забезпечує: гнучкість архітектури побудови функціональних блоків під конкретні завдання, що мінімізує її ціну і розширює сферу застосування; використання тільки одного комп'ютера, на базі якого формується система, для підключення до 16 стендів вагонних пасажирських депо на вузлі; виявлення дефектів з достовірністю не менше 95 %; контроль одного об'єкта проводиться за 6 хв; не потрібний спеціально навчений персонал; виявлення більшого числа дефектів підшипникового вузла

накопичення бази даних, перехід до прогнозу залишкового ресурсу та ремонту за фактичним станом.

Практичне застосування запропонованої системи проведення ревізії букс дасть змогу підвищити точність

діагностики колісних пар з буксами, що запобігає їх руйнуванню, а отже, і аварії поїздів; скоротить витрати на виявлення дефектів колісних пар (підвищення продуктивності праці).

### *Список використаних джерел*

1. Борзилов, И.Д. О перспективах диагностирования элементов ходовых частей вагонов [Текст] / И.Д. Борзилов, П.В. Шевченко // «Вопросы улучшения технического содержания вагонов и совершенствования ходовых частей»: сб. – Днепропетровск: ДИИТ, 1980. – Вып. 212/6. – С. 39-41.
2. Мельничук, В.А. К вопросу повышения надежности буксовых узлов с подшипниками качения [Текст] / В.А. Мельничук, А.В. Донченко, И.Э. Мартынов // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 5. – С. 34-37.
3. Борзилов, И.Д. Удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту вагонів засобами технічної діагностики (Частина 1) [Текст]: навч. посіб. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – 91 с.
4. Смирнов, В.А. Вибродиагностика в действии [Текст] / В.А. Смирнов, А.А. Сергеев // Локомотив. – 2006. – № 4. – С. 38-41.
5. Осяев, А.Т. Перспективы вибродиагностики [Текст] / А.Т. Осяев, В.А. Смирнов // Локомотив. – 2006. – № 6. – С. 40-41.
6. Борзилов, И.Д. Визначення діагностичних ознак технічного стану елементів підшипників кочення буксових вузлів рухомого складу [Текст] / И.Д. Борзилов, В.Г. Равлюк // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – Вип. 15. – С. 100-105.
7. Заболотний, О.В. Вибродиагностика подшипников кочення методами периодически корельованих випадкових процесів [Текст] / О.В. Заболотний, В.Ю. Михайлинин // Відбір і обробка інформації. – 2002. – № 14(90). – С. 53-58.
8. Косенко, Г.Д. Техническая диагностика машин [Текст] / Г.Д. Косенко, З.Г. Гіоєв, В.П. Бабаков. – М.: Машиностроение, 1988. – 322 с.
9. Равлюк, В.Г. Визначення діагностичних ознак технічного стану елементів підшипників кочення буксових вузлів [Текст] / В.Г. Равлюк // Вагонний парк. – 2010. – № 9. – С.4-5.
10. Мэтью. Применение вибрационного анализа для контроля технического состояния подшипников качения [Текст] / Мэтью, Альфредсон // Тр. амер. общ-ва инж.-мех. Конструирование и технология машиностроения. – 1984. – Т. 106. – № 3. – С. 100-108.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

---

Кузінок Олексій Олександрович, магістрант кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-35.

Kuzinok Aleksej Aleksandrovich, master student of department wagons Ukraine state academy of railway transport. Tel.: (057) 730-10-35.



УДК 621.3.01

**О ВЗАИМНОМ ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЕКТОРОВ ДВИЖУЩИХСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Канд. техн. наук П.Я. Придубков

**ПРО ВЗАЄМНИЙ ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВЕКТОРІВ РУХОМИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ**

Канд. техн. наук П.Я. Придубков

**ON THE MUTUAL INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC VECTORS MOVING ELECTRICAL SYSTEMS**

Cand. of techn. sciences P. Pridubkov

*Показана взаимосвязь электромагнитных параметров различных инерциальных электротехнических систем с помощью инвариантных операций четырёхмерного обобщения, установлены дифференциальные аналитические зависимости, соответствующие уравнениям закона Ома электрических цепей, позволяющие описать взаимосвязь и взаимное влияние друг на друга электрических и магнитных векторов движущихся электрических систем.*

**Ключевые слова:** четырёхмерное векторное исчисление, инвариантные операции четырёхмерного обобщения операторов Лапласа и четырёхмерной дивергенции.

*Показано взаємозв'язок електромагнітних параметрів різних інерціальних електротехнічних систем за допомогою інваріантних операцій чотиривимірного узагальнення, встановлено диференціальні аналітичні залежності, відповідні рівнянням закону Ома електричних кіл, що дають змогу описати взаємозв'язок і взаємний вплив один на одного електричних і магнітних векторів електричних систем, що рухаються.*

**Ключові слова:** чотиривимірне векторне числення, інваріантні операції чотиривимірного узагальнення операторів Лапласа і чотиривимірної дивергенції.

*Intercommunication of electromagnetic parameters of different inertia electrical engineering systems by invariant operations of 4-measured generalization is shown, differential analytical dependences proper to equalizations of law of Ohm of electric chains are set, allowing to describe intercommunication and mutual influencing on each other of vectors of the locomotive electric systems electric and magnetic.*

**Keywords:** four-dimensional vector calculus operations four-invariant generalization of Laplace and four-divergence.

**Вступление.** Использование четырёх-мерного пространства при рассмотрении электромагнитных процессов электротехнических устройств железнодорожного

транспорта, позволяющее повысить эффективность их функционирования, предполагает необходимость исследования дифференциальных зависимостей, описывающих основные законы и уравнения электротехники основными векторами электродинамики [1].

Электрическая цепь представляет собой совокупность проводников, приёмников и источников электрической энергии, соединённых между собой в соответствии с заданной схемой и образующих пути для протекания электрического тока. В электротехнике уделяется большое внимание движущимся электрическим цепям, к которым относятся электрические системы железнодорожного транспорта.

Выведенные для неподвижных электрических цепей соотношения, описывающие электромагнитные процессы, при переходе от одной неподвижной инерциальной системы отсчёта (ИСО) к другой ИСО, движущейся относительно первой, преобразуются в соответствии с основными положениями релятивистской электродинамики.

Использование электродинамических потенциалов, объединённых в одно четырёхмерное образование (четырёх-вектор), и введение четырёхвектора плотности тока позволяют свести уравнения Максвелла к уравнению для четырёхвектора потенциала с инвариантными операциями четырёхмерного обобщения оператора Лапласа и оператора четырёхмерной дивергенции [2]. Изотропия четырёхмерного пространства имеет адекватное выражение в четырёхмерном векторном исчислении, согласно которому уравнения Максвелла являются инвариантными, то есть выглядят одинаково во всех инерциальных системах отсчёта.

Четырёхмерная запись уравнений Максвелла позволяет выявить взаимосвязь электромагнитных параметров электротехнических систем различных

ИСО. Кроме того, данная запись упрощает процесс рассмотрения дифференциальных аналитических (функциональных) зависимостей, соответствующих обмену сигналами (информацией) между движущимися относительно друг друга объектами.

Стало быть, исследование и уточнение дифференциальных зависимостей основных параметров движущихся электрических цепей, их четырёхмерных интерпретаций является актуальной проблемой, позволяющей повысить эффективность функционирования и точность расчёта электротехнических устройств железнодорожного транспорта.

**Основная часть.** Электромагнитное поле – это совокупность изменяющихся во времени, взаимно связанных, обуславливающих друг друга электрического и магнитного полей. Электромагнитные процессы, протекающие в данном поле, описываются системой уравнений Максвелла [3].

Уравнение, выражающее связь между ротором напряжённости магнитного поля и плотностью тока в той же точке поля, является первым уравнением Максвелла, которое представляет собой дифференциальную форму уравнения закона полного тока:

$$\operatorname{rot}\mathbf{H} = \boldsymbol{\delta},$$

здесь  $\boldsymbol{\delta}$  – вектор плотности полного тока, составляющими которого являются вектор плотности тока проводимости  $\boldsymbol{\delta}_{\text{пр}} = \nabla \mathbf{E}$  и вектор плотности тока смещения

$$\boldsymbol{\delta}_{\text{см}} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} :$$

$$\boldsymbol{\delta} = \boldsymbol{\delta}_{\text{пр}} + \boldsymbol{\delta}_{\text{см}} .$$

Третьим уравнением Максвелла является дифференциальная форма уравнения теоремы Гаусса:

$$\nabla \mathbf{D} = \rho.$$

Вышеуказанные уравнения представляют собой первую группу уравнений Максвелла, описывающих процессы электромагнитного поля:

$$\nabla \mathbf{D} = \rho, \quad \text{rot} \mathbf{H} = \delta. \quad (1)$$

Координаты  $x, y, z$  и  $t$  в уравнениях (1) можно заменить мировыми координатами  $x_1 = x, x_2 = y, x_3 = z$  и  $x_4 = t$  соответственно, с помощью которых все события в мире определяются в пространстве и времени, кроме того, необходимо принять во внимание четырёхмерный характер вектора [2] плотности тока, компоненты которого равны

$$\delta_\mu = (\delta, jcr),$$

при этом  $x$  - составляющая первого уравнения Максвелла запишется в виде

$$\frac{\partial H_z}{\partial x_y} - \frac{\partial H_y}{\partial x_z} = \frac{\partial D_x}{\partial t} + \delta_x. \quad (2)$$

Если учитывать, что векторы  $\mathbf{H}$  и  $\mathbf{D}$  образуют свой особый четырёхмерный тензор  $f = (\mathbf{H}, -c\mathbf{D})$ , то уравнение (2) имеет следующий четырёхмерный вид:

$$\frac{\partial f_{12}}{\partial x_2} + \frac{\partial f_{13}}{\partial x_3} + \frac{\partial f_{14}}{\partial x_4} = \delta_1.$$

Таким же образом могут быть преобразованы и две другие составляющие первого уравнения Максвелла. Данное преобразование в общем виде для  $\mu = 1, 2, 3$  записывается следующим образом:

$$\sum_{v=1}^4 \frac{\partial f_{\mu v}}{\partial x_v} = \delta_\mu. \quad (3)$$

При распространении уравнения (3) и на значение  $\mu = 4$  в соответствии с компонентами четвёртой строки тензора  $f = (\mathbf{H}, -c\mathbf{D})$  третьему уравнению Максвелла соответствует выражение

$$jc \left( \frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} \right) = \delta_4.$$

Операция  $\sum \frac{\partial}{\partial x_v}$ , введённая в выражении (3), в общем тензорном анализе называется «дифференцированием с последующим свертыванием». Она превращает четырёхтензор в четырёхвектор и обозначается **Div**:

$$\text{Div}_\mu f = \sum_{v=1}^4 \frac{\partial f_{\mu v}}{\partial x_v} = \delta_\mu. \quad (4)$$

Для каждого антисимметричного четырёхтензора  $T_{\nu\mu}$  выполняется общее соотношение:

$$\text{Div Div} T_{\nu\mu} = 0, \quad (5)$$

где  $\text{Div} = \nabla_v = \sum_v \frac{\partial}{\partial x_v}$  - четырёхмерная дивергенция.

Из последнего выражения следует, что дивергенция четырёхвектора плотности тока должна обращаться в нуль.

Компоненты трёхмерных векторов  $\mathbf{H}$  и  $\mathbf{D}$  преобразуются по правилу преобразования компонент четырёхтензора  $f = (\mathbf{H}, -c\mathbf{D})$ , поэтому при переходе от одной ИСО к другой все компоненты векторов электрического поля меняют свою величину и направление под действием компонент векторов магнитного поля и наоборот. Неизменными остаются только «продольные компоненты», то есть

компоненты по направлению относительного движения.

Ток электрического смещения возникает в любой диэлектрической (вещественной) среде распространения электромагнитного поля, в том числе и в вакууме, при изменении напряжённости электрического поля во времени:

$$\delta_{см} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = \frac{\partial(\epsilon_{\alpha} \mathbf{E})}{\partial t}.$$

Током проводимости является упорядоченное движение свободных электрических зарядов в проводящей среде. Данный ток является скаляром алгебраического характера:

$$i = \int_S \delta_{пр} dS,$$

где  $\delta_{пр}$  - поверхностная плотность тока проводимости;

$dS$  - элемент площадки поперечного сечения.

В соответствии с дифференциальной формой закона Ома плотность тока проводимости определяется соотношением

$$\delta_{пр} = \gamma \mathbf{E}.$$

Поэтому первому уравнению Максвелла соответствует выражение

$$\text{rot} \mathbf{H} = \delta_{пр} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t},$$

или

$$\text{rot} \mathbf{H} = \gamma \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}.$$

Согласно одному из основных положений векторного анализа дивергенция ротора равна нулю ( $\text{div} \text{rot} \mathbf{H} = 0$ ), стало быть:

$$\nabla \delta_{пр} + \nabla \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = 0.$$

Если учесть независимость дифференцирования по времени от пространственного дифференцирования, то

$$\nabla \delta_{пр} + \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \mathbf{D}) = 0.$$

Так как в соответствии с дифференциальной формой уравнения теоремы Гаусса  $\nabla \mathbf{D} = \rho$ , поэтому

$$\nabla \delta_{пр} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0.$$

Последнее выражение является четырёхмерной дивергенцией четырёхвектора плотности тока, которая, как следует из выражений (4) и (5), равна нулю [4]:

$$\nabla_{\mu} \delta_{\mu} = (\nabla \delta_{пр} + \nabla_{\tau} \delta_{\tau}),$$

здесь  $\nabla_{\tau} = \frac{\partial}{\partial x_4} = \frac{\partial}{\partial ct}$  - временная

компонента четырёхмерной дивергенции;

$\delta_{\tau} = j c \rho$  - временная компонента четырёхвектора плотности тока проводимости.

Из первого уравнения Максвелла следует, что магнитное поле может возникать не только в результате наличия тока проводимости, но также в результате изменения электрического поля во времени. Основное различие между этими токами усматривается в том, что первый возникает в результате движения электрических зарядов, второй же - в результате изменения электрического поля во времени, то есть в отличии природы их возникновения.

Между тем и ток проводимости, и ток смещения можно трактовать как изменение во времени потока вектора электрического смещения.

При протекании в проводящих средах постоянного тока одни электрические заряды сменяются другими, такими же, как и в предыдущие моменты времени. Картина стационарного электрического поля постоянного тока в макроскопическом смысле повторяется в смежные моменты времени. Стало быть, поле, созданное в проводящих средах разделяющимися зарядами, носит как бы статический характер [3] и в любой из смежных моментов времени его можно рассматривать как электростатическое поле, а среды – диэлектрическими.

Следовательно, можно предположить, что одна из двух сред стационарного электрического поля постоянного тока является проводящей, а другая – диэлектрической. На границе раздела данных сред в рассматриваемый момент времени должно выполняться условие

$$\sigma_s = D_n,$$

здесь  $\sigma_s = \frac{dq_s}{dS}$  - поверхностная плотность свободного заряда в данный момент времени на поверхности одной из проводящих сред;

$D_n$  - модуль вектора электрического смещения другой проводящей среды, рассматриваемой в качестве диэлектрической.

Поток вектора  $D_n$  электрического смещения сквозь любую поверхность  $S$  определяется интегралом [5]

$$\Psi_{эл.п} = \int_S D_n dS.$$

Если поверхность ( $S$ ) является замкнутой, то в соответствии с теоремой Гаусса «поток вектора электрического

смещения через любую замкнутую поверхность, окружающую некоторый объём, равен алгебраической сумме свободных зарядов  $\sum q_s$ , находящихся внутри этой поверхности» [2]:

$$\Psi_{эл} = \oint_S D_n dS = \sum q_s. \quad (6)$$

Разрабатывая теорию электромагнитного поля, Максвелл предположил, что теорема Гаусса остаётся справедливой и для любого электрического поля, связанного или несвязанного с неподвижными или как угодно движущимися зарядами (постулат Максвелла). Все выводы, вытекающие из данного допущения, не противоречат известным современной науке экспериментальным фактам. Это даёт основание утверждать, что в пределах современных знаний теорема Гаусса справедлива для любого электрического поля в любых условиях, в том числе и для стационарного электрического поля постоянного тока в проводящей среде.

Стало быть, заряды, входящие в правую часть соотношения (6), могут быть как статическими, так и меняющимися во времени. Последние обуславливают изменение во времени потока вектора электрического смещения. Поэтому при рассмотрении стационарного электрического поля постоянного тока в проводящей среде, как электростатического, можно констатировать, что

$$\frac{\partial \Psi_{эл.п}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \oint_S D_n dS = \frac{\partial (\sum q_s)}{\partial t}. \quad (7)$$

Учитывая, что пространственные координаты от времени не зависят, в правой части последнего выражения можно изменить порядок интегрирования и дифференцирования, поэтому

$$\frac{\partial \Psi_{\text{эл.п.}}}{\partial t} = \oint_S \frac{\partial \mathbf{D}_n}{\partial t} d\mathbf{S} = \frac{\partial(\Sigma q_s)}{\partial t}.$$

Изменение во времени (упорядоченное движение) свободных электрических зарядов является током проводимости  $i_{\text{пр}}$ :

$$\frac{\partial(\Sigma q_s)}{\partial t} = i_{\text{пр}},$$

стало быть:

$$\frac{\partial \Psi_{\text{эл.п.}}}{\partial t} = \frac{\partial(\Sigma q_s)}{\partial t} = i_{\text{пр}}.$$

Следовательно, изменение во времени потока вектора  $\mathbf{D}_n$  электрического смещения  $\Psi_{\text{эл.п.}}$  в проводящей среде  $\left(\frac{\partial \Psi_{\text{эл.п.}}}{\partial t}\right)$  можно трактовать как ток проводимости:

$$\frac{\partial \Psi_{\text{эл.п.}}}{\partial t} = i_{\text{пр}}. \quad (8)$$

Электрический ток проводимости является потоком вектора плотности тока [3]:

$$i_{\text{пр}} = \oint_S \delta_{\text{пр}} d\mathbf{S}.$$

Данный поверхностный интеграл в соответствии с теоремой Остроградского может быть преобразован в объёмный:

$$\oint_S \delta_{\text{пр}} d\mathbf{S} = \int_V \text{div} \delta_{\text{пр}} dV. \quad (9)$$

Исток вектора электрического смещения  $\mathbf{D}_n$  через замкнутую поверхность проводящей среды (исток потока этого вектора) определяется теоремой Гаусса в дифференциальной форме. Если

электрическое поле создаётся статическими зарядами, то

$$\text{div} \mathbf{D}_n = \rho.$$

Стало быть, истоку электрического поля меняющихся во времени зарядов соответствует выражение

$$\frac{\partial(\text{div} \mathbf{D}_n)}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t}.$$

Независимость пространственных координат от времени позволяет изменить порядок дифференцирования:

$$\text{div} \frac{\partial \mathbf{D}_n}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t}.$$

Для произвольно выбранного объёма  $V$  проводящей среды можно констатировать, что

$$\int_V \text{div} \frac{\partial \mathbf{D}_n}{\partial t} dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV,$$

или

$$\int_V \text{div} \frac{\partial \mathbf{D}_n}{\partial t} dV = \frac{\partial(\Sigma q_s)}{\partial t}. \quad (10)$$

Если учесть уравнение (9), а также и то, что

$$\frac{\partial(\Sigma q_s)}{\partial t} = i_{\text{пр}} = \oint_S \delta_{\text{пр}} d\mathbf{S},$$

то соотношение (10) следует записать как

$$\int_V \text{div} \frac{\partial \mathbf{D}_n}{\partial t} dV = \int_V \text{div} \delta_{\text{пр}} dV. \quad (11)$$

Так как объём  $V$  был выбран произвольно, то последнее равенство (11) не зависит от пределов интегрирования.

Поэтому его подынтегральные функции равны между собой:

$$\operatorname{div} \frac{\partial \mathbf{D}_n}{\partial t} = \operatorname{div} \boldsymbol{\delta}_{np},$$

тогда

$$\frac{\partial \mathbf{D}_n}{\partial t} = \boldsymbol{\delta}_{np}. \quad (12)$$

Левая часть последнего уравнения (12) представляет собой вектор плотности тока смещения  $\left( \frac{\partial \mathbf{D}_n}{\partial t} = \boldsymbol{\delta}_{cm} \right)$ , стало быть:

$\boldsymbol{\delta}_{np} = \boldsymbol{\delta}_{cm}$ , что полностью соответствует уравнению непрерывности полного тока, согласно которому полный ток  $\boldsymbol{\delta}_n$  всегда замкнут:

$$\oint_S \boldsymbol{\delta}_n d\mathbf{S} = 0.$$

Для однородных и изотропных проводящих сред векторы электрической индукции и напряжённости должны быть связаны соотношением

$$\mathbf{D}_n = \varepsilon_{an} \mathbf{E}_n,$$

здесь  $\varepsilon_{an}$  - диэлектрическая проницаемость проводящей среды.

Поэтому вектор плотности смещения может быть определён выражением

$$\boldsymbol{\delta}_{cm} = \varepsilon_{an} \frac{\partial \mathbf{E}_n}{\partial t}, \quad (13)$$

которое справедливо для любого объёма

$$\int_V \boldsymbol{\delta}_{cm} dV = \int_V \varepsilon_{an} \frac{\partial \mathbf{E}_n}{\partial t} dV.$$

Так как

$$\int_V dV = \iint_{SI} d\mathbf{S} dl,$$

следовательно

$$\int_S \boldsymbol{\delta}_{cm} d\mathbf{S} = \varepsilon_{an} \frac{\int d\mathbf{S}}{\int dl} \frac{\partial}{\partial t} \int_l \mathbf{E}_n dl.$$

Если учесть, что  $\int_S \boldsymbol{\delta}_{cm} d\mathbf{S} = i_c$ , как и то, что  $\varepsilon_{an}$  является удельной ёмкостью, а

значит,  $\varepsilon_{an} \frac{\int d\mathbf{S}}{\int dl} = C$ , а также, что

$\int_l \mathbf{E}_n dl = u_c$ , то можно констатировать:

$$i_c = C \frac{\partial u_c}{\partial t}. \quad (14)$$

Уравнение (14) может быть описано при помощи комплексных величин следующим выражением:

$$i_c = j\omega C \dot{u}_c,$$

которое является формулой, соответствующей закону Ома для диэлектрического участка среды распространения электромагнитного поля.

Уравнение (13) является дифференциальной формой вышеуказанного закона, в котором плотность тока смещения выражена через вектор напряжённости электрического поля. Стало быть, данное уравнение позволяет учитывать влияние электромагнитных параметров одной ИСО на электромагнитные параметры другой ИСО с помощью силы Лоренца или её магнитного аналога, используя тензор

четырёхмерного пространства

$$F_{\mu\nu} = \left( \mathbf{B}, -\frac{j}{c} \mathbf{E} \right).$$

Уравнение (12) для однородных и изотропных сред распространения электрического поля может быть записано следующим образом:

$$\frac{\partial(\epsilon_{a_n} \mathbf{E}_n)}{\partial t} = \delta_{np}.$$

Вектор плотности тока  $\delta_{np}$  электрического поля в проводящей среде определяется на основании закона Ома в дифференциальной форме [3] выражением

$$\delta_{np} = \gamma \mathbf{E}_n,$$

Напряжённость  $\mathbf{E}_n$  электрического поля постоянного тока в проводящей среде является величиной постоянной ( $\mathbf{E}_n = \text{const.}$ ), поэтому

$$\frac{\partial(\epsilon_{a_n} \mathbf{E}_n)}{\partial t} = \frac{\partial \epsilon_{a_n}}{\partial t} \mathbf{E}_n.$$

Таким образом:

$$\frac{\partial \epsilon_{a_n}}{\partial t} \mathbf{E}_n = \gamma \mathbf{E}_n.$$

#### Список использованных источников

1. Придубков, П.Я. Электромагнитные процессы железнодорожных систем и четырёхмерное пространство [Текст] / П.Я. Придубков // Залізничний транспорт України. – 2012. – № 5. – С. 35-39
2. Зоммерфельд, А. Электродинамика [Текст] / А. Зоммерфельд. – М.: Издательство иностранной литературы, 1958. – 502 с.
3. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле [Текст] / Л.А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 1986. – 263 с.
4. Мейерович, Э.А. Методы релятивистской электродинамики в электротехнике и электрофизике [Текст] / Э.А. Мейерович, Б.Э. Мейерович. – М.: Энергоатомиздат. 1987. – 232 с.
5. Тамм, И.Е. Основы теории электричества [Текст] / И.Е. Тамм. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2003. – 616 с.

Придубков Павло Якович, кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехніки та електричних машин Української державної академії залізничного транспорту.  
Pridubkov P., cand. of techn. sciences, associate professor Ukrainian State Academy of Railway Transport.

Следовательно, параметры проводящей среды, её диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_{a_n}$  и удельная проводимость  $\gamma$  связаны соотношением

$$\frac{\partial \epsilon_{a_n}}{\partial t} = \gamma.$$

а дифференциальной форме закона Ома соответствует выражение

$$\delta_{cm} = \frac{\partial \epsilon_{a_n}}{\partial t} \mathbf{E}_n. \quad (15)$$

**Выводы.** Таким образом, полученные аналитические зависимости (13) и (15), описывающие дифференциальные уравнения закона Ома, обеспечивают повышение эффективности функционирования электротехнических систем железнодорожного транспорта. Это обусловлено тем, что при переходе от электромагнитных параметров одной ИСО к аналогичным параметрам другой движущейся ИСО, данные выражения позволяют учитывать влияние электрических параметров первой ИСО на магнитные параметры второй ИСО и наоборот.



**АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

---

УДК 621.331.1

**АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМБІНОВАНОГО ФІЛЬТРА ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ**

Д-р техн. наук Я.В. Щербак, асп. Ю.О. Семененко

**АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМБИНИРОВАННОГО ФИЛЬТРА ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ**

Д-р техн. наук Я.В. Щербак, асп. Ю.А. Семененко

**ANALYSIS OF DYNAMIC CHARACTERISTICS COMBINING A FILTER TRACTION SUBSTATIONS**

Doct. of techn. sciences J.V. Shcherbak, postgraduate J.A. Semenenko

*У статті проведений аналіз динамічних процесів активного фільтра послідовного типу, що застосовується для покращення якості електричної енергії на виході тягової підстанції постійного струму.*

**Ключові слова:** комбінований фільтр, динамічні характеристики, електрична енергія, випрямлена напруга, передавальна функція, розімкнута система.

*В статье проведен анализ динамических процессов активного фильтра последовательного типа, который целесообразно применять для улучшения качества электрической энергии на выходе тяговой подстанции постоянного тока.*

**Ключевые слова:** комбинированный фильтр, динамические характеристики, электрическая энергия, выпрямленное напряжение, передаточная функция, разомкнутая система.

*In this paper the analysis of dynamic processes active filter serial-type, used to improve the quality of electric power at the output of the DC traction substation. It is advisable to apply for DC traction substations to suppress the variable component of the rectified voltage, which is the source of interfering effects on circle rail robot, automation and communication. In practice, the operation of electric power systems of transport, the use of passive filtration method has some significant drawbacks, which requires finding more effective methods. The use of passive filter to suppress low frequency harmonics noncanonical is impractical due to significant growth of mass and size parameters. Increasing the degree of filtering ripple is achieved by using combined systems, which are connected by a combination of a specific pattern of passive and active filters.*

**Keywords:** filter combination, the dynamic characteristics of the electrical energy, the rectified voltage transfer function, open loop system.

**Вступ.** Застосування в системах пристроїв вимагає зниження впливу залізничної автоматики мікропроцесорних тягового струму на рейкові кола. Це

ставить задачу зниження величини змінної складової випрямленої напруги тягової підстанції.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Змінна складова випрямленої напруги тягової підстанції постійного струму є джерелом заважаючого впливу на кола залізничної автоматики та зв'язку. Як показує практика експлуатації систем електропостачання електричного транспорту, застосування пасивних методів фільтрації має ряд суттєвих недоліків, що вимагає пошуку більш ефективних методів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналізу пасивних методів фільтрації присвячений цілий ряд робіт, в яких показана оптимальність застосування в потужних системах живлення LC-фільтрів як одноланкових, так і багатоланкових [2-4]. Порівняльний аналіз ефективності використання фільтрів показує, що застосування пасивних фільтрів доцільно тільки для придушення канонічних гармонік [1].

Застосування пасивних фільтрів для придушення низьких частотних неканонічних гармонік є недоцільним через значне зростання їх масогабаритних показників.

Підвищення ступеня фільтрації пульсації досягається застосуванням комбінованих систем, які являють собою комбінацію з'єднаних за певною схемою пасивного та активного фільтра [5-7].

Порівняльний аналіз схем активних фільтрів для силових перетворювальних установок викладений у [6].

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою даної роботи є аналіз динамічних процесів активного фільтра послідовного типу, що застосовується для покращення якості електричної енергії на виході тягової підстанції постійного струму.

**Основна частина дослідження.** Схема комбінованого фільтра наведена на рис. 1. Пасивна ланка фільтра складається з індуктивності  $L$  та конденсатора  $C$ . Активна ланка складається з підсилювача  $K$ , вихідний сигнал якого через трансформатор  $T$  подається в коло пасивної ланки, динамічної ланки  $G(p)$  та датчика змінної складової вихідної напруги ДЗС. Компенсація пульсаційної складової  $U_n(p)$  здійснюється внесенням у ланцюг пасивної ланки напруги  $U_k(p)$ , яка формується каналом зворотного зв'язку.

Для синтезу динамічних властивостей комбінованого фільтра розглянемо еквівалентну схему, яка наведена на рис. 2.

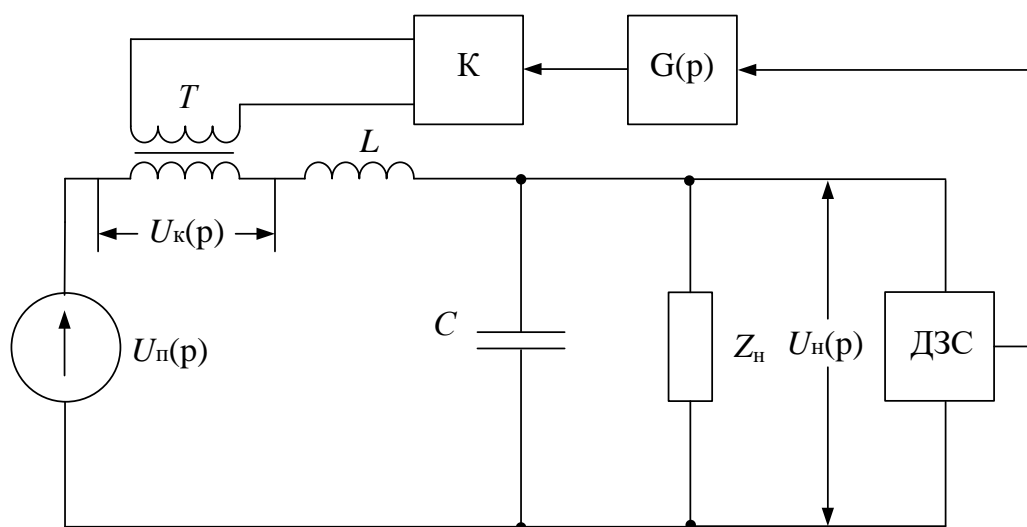


Рис. 1. Структурна схема комбінованого фільтра

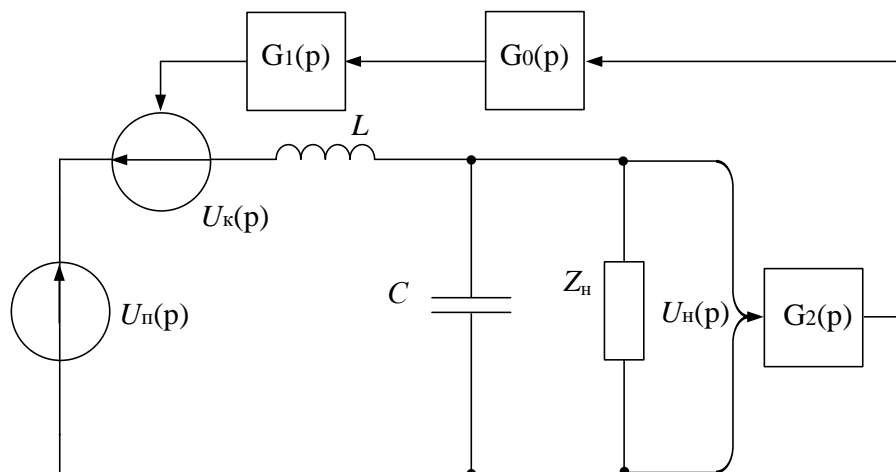


Рис. 2. Еквівалентна схема комбінованого фільтра

Згідно з еквівалентною схемою комбінованого фільтра напруга на навантаженні з урахуванням активної та пасивної складової фільтра схеми визначається рівнянням

$$U_n(p) = [U_n(p) - U_k(p)] \cdot H(p), \quad (1)$$

де  $H(p) = \frac{1}{T_o^2 p^2 + 2\xi T_o p + 1}$  – передавальна функція пасивного фільтра;

$T_o = \sqrt{LC}$  – постійна часу пасивного фільтра.

Компенсуючий сигнал визначається властивостями кола зворотного зв'язку.

$$U_k(p) = U_n(p) \cdot G_0(p) \cdot G_1(p) \cdot G_2(p), \quad (2)$$

де  $G_1(p) = K_1 \frac{T_1 p}{T_2 p + 1}$  – передавальна функція корегуючої ланки;

$$G_2(p) = \frac{K_2}{T_3 p + 1}$$

– передавальна функція датчика змінної складової напруги  $U_n(p)$ ;  
 $K_2$  – коефіцієнт трансформації.

Підставивши вираз (2) в (1), отримаємо

$$U_n(p) = U_n(p) \cdot H(p) - U_n(p) \cdot G_0(p) \cdot G_1(p) \cdot G_2(p) \cdot H(p). \quad (3)$$

Рівнянню (3) відповідає структурна схема, що наведена на рис. 3.

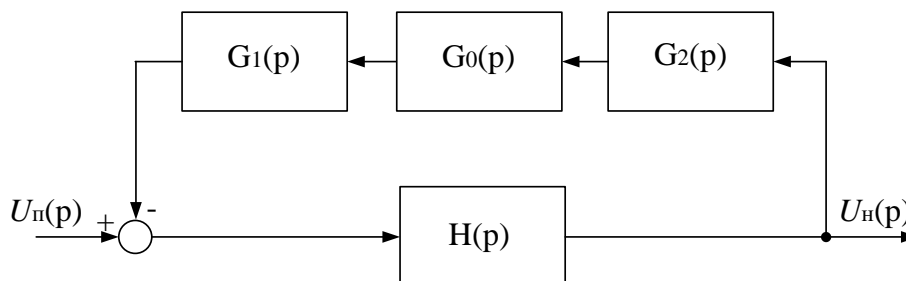


Рис. 3. Структурна схема комбінованого фільтра

Згідно із структурною схемою, фільтра визначається як передавальна функція комбінованого

$$W(p) = \frac{U_n(p)}{U_n(p)} = \frac{H(p)}{1 + G_0(p) \cdot G_1(p) \cdot G_2(p) \cdot H(p)}. \quad (4)$$

Аналіз виразу (4) вказує на те, що динамічні параметри комбінованого фільтра визначаються властивостями ланки з передавальною функцією  $G_0(p)$ . Для синтезу передавальної функції  $G_0(p)$  доцільно використання методу частотних характеристик. При цьому приймаємо допущення, що трансформатор у смузі пропускання комбінованого фільтра є

безінерційною ланкою. В цьому випадку передавальна функція розімкнутої системи визначається як

$$W_p(p) = G_1 \cdot H(p). \quad (5)$$

Логарифмічні частотні характеристики наведені на рис. 4.

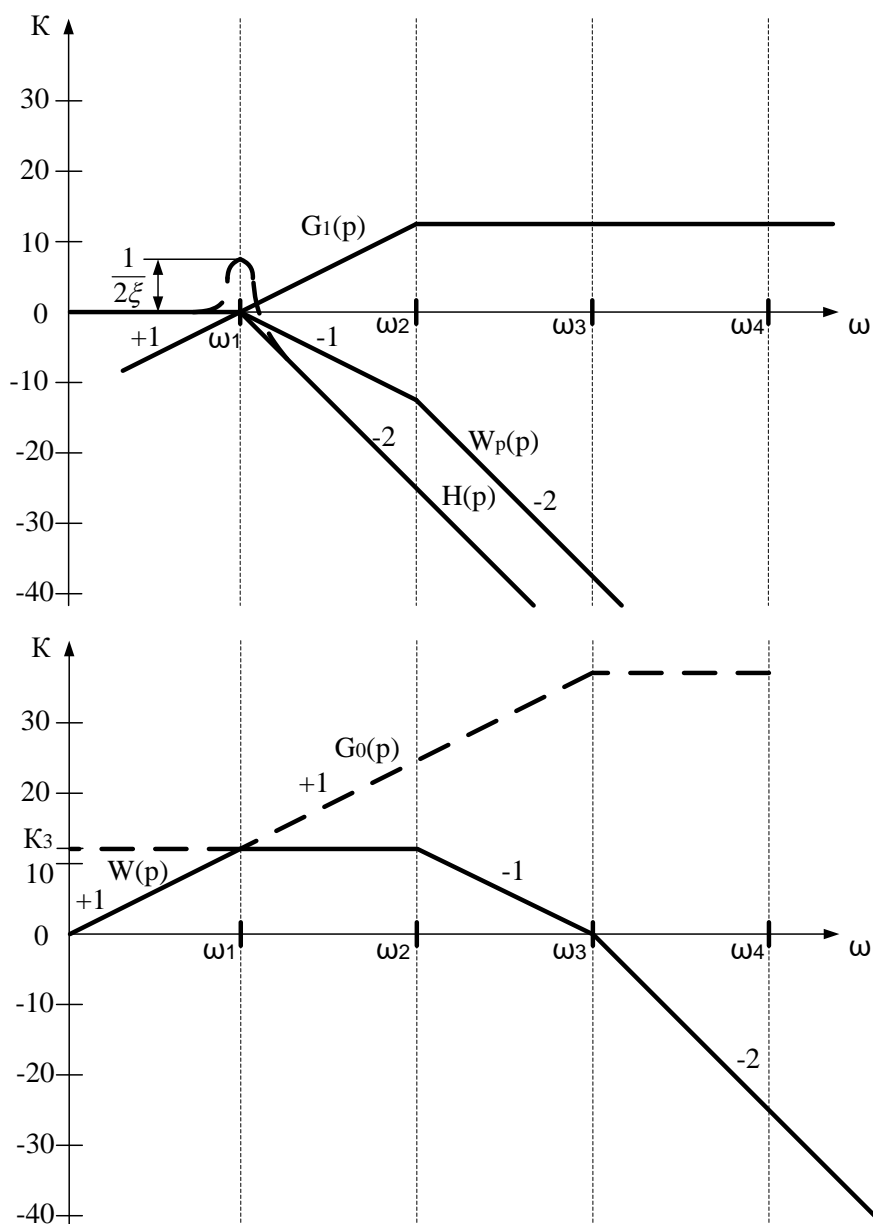


Рис. 4. ЛАХ розімкнутої системи

Бажана логарифмічна характеристика розімкнутої системи має трапецеїдальну форму. Смуги пропускання, при спаді передачі на 3 дБ, визначаються сполученням частотами  $\omega_1$  і  $\omega_2$ . За межами смуги пропускання нахил асимптот логарифмічної характеристики складає 20 дБ/дек, що забезпечує достатній запас стійкості і достатньо високу швидкість у перехідних режимах.

Передавальна функція корегуючої ланки має вигляд

$$G_0(p) = K_3 \frac{T_1 p + 1}{T_3 p + 1} \quad (6)$$

Для перевірки та підтвердження достовірності результатів теоретичних досліджень була розроблена імітаційна комп'ютерна модель активного фільтра послідовного типу в середовищі MATLAB (рис. 5).

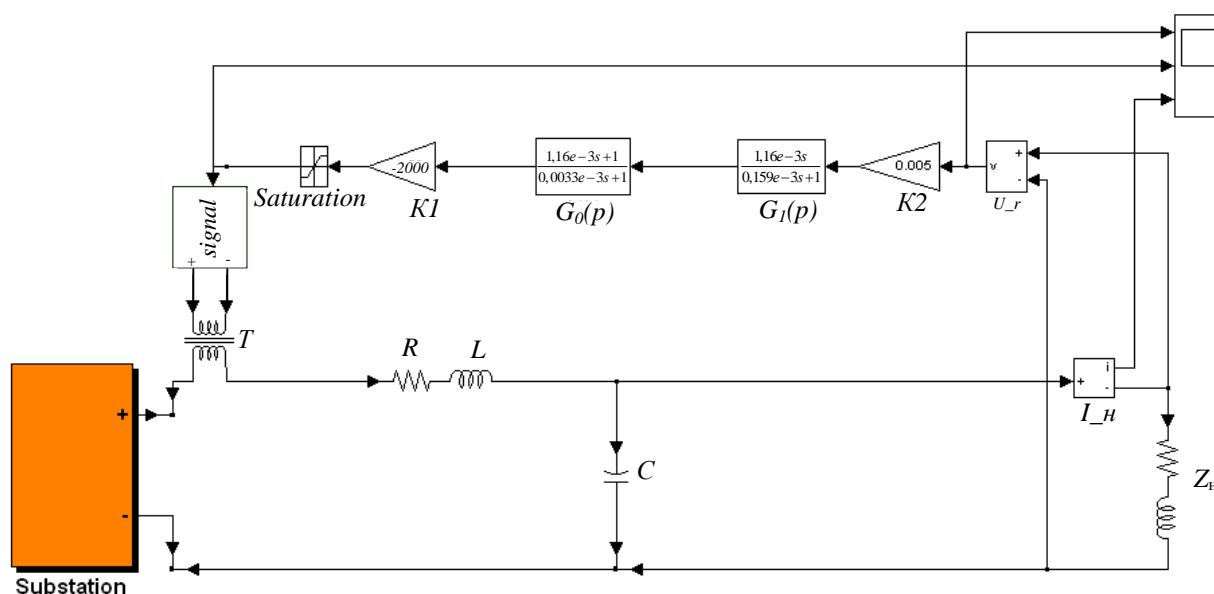


Рис. 5. Імітаційна модель запропонованого активного фільтра послідовного типу в середовищі MATLAB

В даній комп'ютерній моделі блок Substation імітує роботу трифазної мережі живлення. Сигнал струму навантаження  $Z_n$  вимірюється блоком  $I_n$ , і через послідовно з'єднані два блоки  $G_0(p)$  та  $G_1(p)$  з передавальними функціями, поданими вище, та підсилювачі  $K_1$  і  $K_2$ , надходить на вхід блока signal, який у свою чергу формує компенсуючий сигнал. Розділяючий трансформатор  $T$  служить для гальванічної розв'язки силової частини схеми та блока signal. Детермінований  $\Gamma$ -подібний пасивний фільтр представлений

згладжувальним реактором  $L$  та конденсатором  $C$ .

На рис. 6 подані графіки, де перша крива відповідає напрузі на навантаженні без активного фільтра, а друга крива – при роботі активного фільтра. Як видно, пульсаційна складова напруги навантаження значно компенсована.

Аналіз поданих на рис. 6 графіків вказує, що даний активний фільтр послідовного типу забезпечує достатньо високу ефективність компенсації гармонік у широкому діапазоні частот.

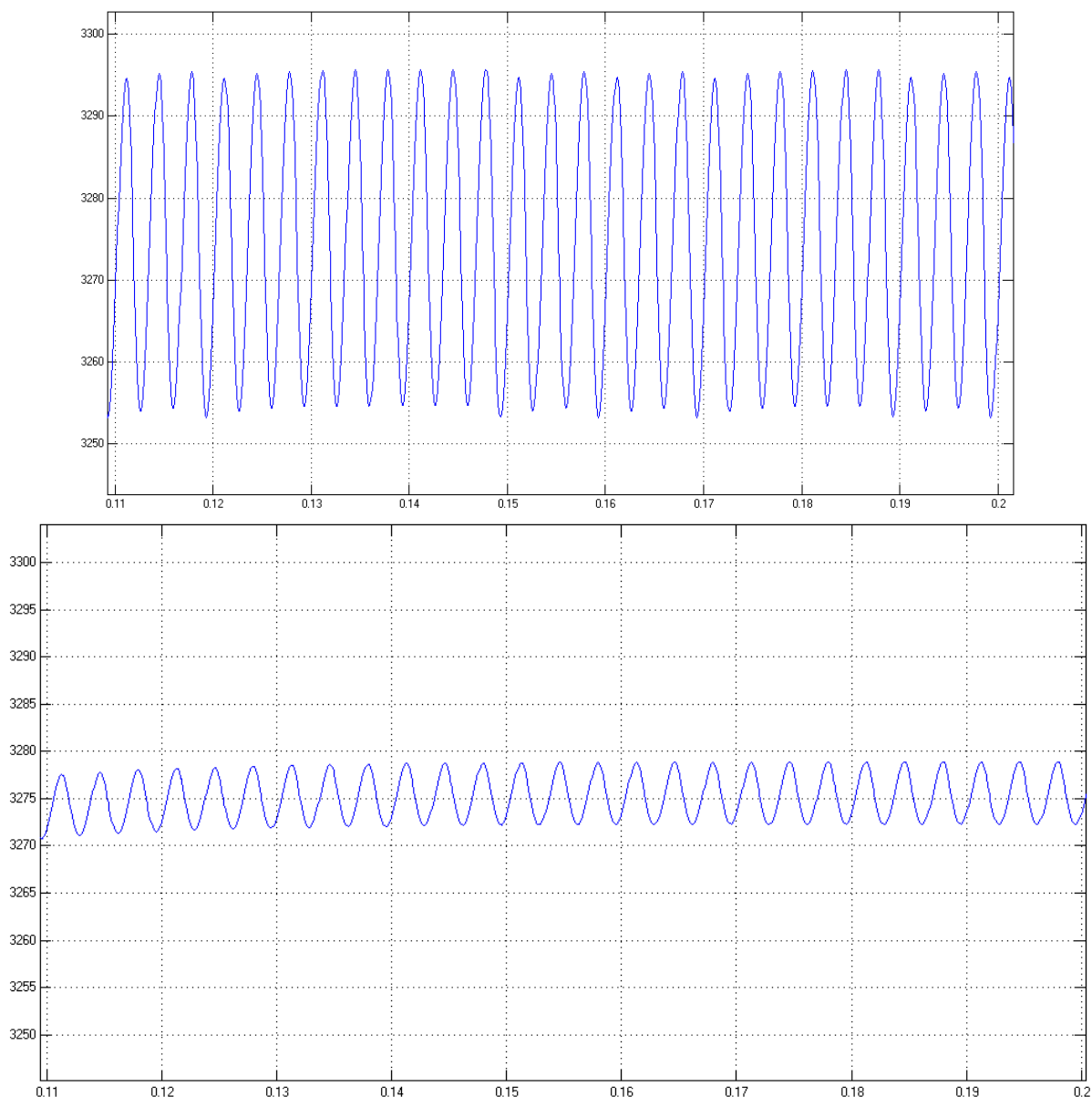


Рис. 6. Графіки напруги навантаження без активного фільтра (зверху) та з ним (знизу)

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Детальний аналіз динамічних процесів активного фільтра послідовного типу показав, що його застосування доцільно для покращення якості електричної енергії на виході тягової підстанції постійного струму, що досягається за рахунок компенсації гармонік напруги та струму контактної

мережі в широкому діапазоні частот. Таким чином досягається необхідний рівень електромагнітної сумісності із суміжними електроустановками, а також зменшується вплив тягового струму на рейкові кола в системах тягового електропостачання постійного струму без значного ускладнення та подорожчання систем фільтрації тягової підстанції.

### Список використаних джерел

1. Щербак, Я.В. Анализ электромагнитных процессов в фильтрующей установке тяговой подстанции постоянного тока [Текст] / Я.В. Щербак, И.В. Слободчиков // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – №4 – С. 48-52.
2. Рябенский, В.М. Сравнительный анализ сглаживающих фильтров на основе обобщенной Т-образной схемы [Текст] / В.М. Рябенский // Изв. вузов СССР. Сер. Энергетика. – 1977. – №7. – С. 140-144.
3. Рябенский, В.М. О выборе схемы пассивного фильтра для сглаживания выпрямленного напряжения [Текст] / В.М. Рябенский, Я.Ф. Анисимов // Труды Николаевского кораблестроительного института. – Николаев: НКИ, 1973. – Вып. 73. – С. 47-53.
4. Гольдштейн, Е.И. Проектирование сглаживающих фильтров [Текст] / Е.И. Гольдштейн, А.К. Маер. – Томск: Изд-во ТГУ, 1971. – 171 с.
5. Губаревич, В.Н. Основы проектирования активных энергетических фильтров [Текст] / В.Н. Губаревич, В.М. Рябенский, А.А. Шерман // АН УССР. – К.: ИЭД, 1979. – №192. – 44 с.
6. Гусев, И.И. Активные энергетические фильтры для мощных преобразователей [Текст] / И.И. Гусев, А.А. Шерман // Современные задачи преобразовательной техники. – К.: ИЭД АН УССР, 1975. – Т.6. – С. 284-295.
7. Гусев, И.И. Активный фильтр компенсационного типа для мощных вентильных преобразователей [Текст] / И.И. Гусев, А.А. Шерман, Г.В. Ахвердян [и др.] // ЭП. Преобразовательная техника. – 1980. – №4. – С. 15-18.
8. Щербак, Я.В. Активна фільтрація вихідної напруги тягової підстанції постійного струму [Текст] / Я.В. Щербак., Ю.О. Семененко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – №127. – С. 146-151.

---

Щербак Яків Васильович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-73.

E-mail: sherbak47@mail.ru

Семененко Юрій Олександрович, аспірант кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Української державної академії залізничного транспорту.

Тел.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua

Shcherbak Jakiv Vasylovych, Doctor of Technical Sciences Professor Head of Department Department automated electric vehicle Ukrainian State Academy of Railway Transport tel.: (057) 730-10-73. E-mail: sherbak47@mail.ru

Semenenko Juriy Aleksandrovich, Postgraduate Department automated electric vehicle Ukrainian State Academy of Railway Transport tel.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua

УДК 621.314

**ОБЗОР СХЕМ ТРЕХФАЗНЫХ АКТИВНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С КОРРЕКЦИЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ДЛЯ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Асп. О.А. Плахтій

**ОГЛЯД СХЕМ ТРИФАЗНИХ АКТИВНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ З КОРЕКЦІЄЮ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

Асп. О.А. Плахтій

**THREE-PHASE ACTIVE RECTIFIERS WITH POWER FACTOR CORRECTION FOR DC TRACTION SUBSTATION**

Postgraduate A. Plakhtiy

*В статье приведен обзор и сравнение схем активных выпрямителей, позволяющих реализовать коррекцию коэффициента мощности и устранить высшие гармоники входного тока. Представлен ряд требований, исходя из которых была выбрана оптимальная схема трехфазного выпрямителя тяговой подстанции, обеспечивающая коррекцию коэффициента мощности.*

**Ключевые слова:** *трехфазный активный выпрямитель, коррекция коэффициента мощности, ККМ, тяговая подстанция.*

*Діодні і тиристорні трифазні випрямлячі, застосовані на тягових підстанціях постійного струму, в ряді випадків не тільки не забезпечують можливість рекуперації енергії, але також є потужним джерелом вищих гармонік загальнопромислової мережі, у зв'язку з чим є морально застарілими. Актуальним є пошук нових схемних рішень для випрямлячів тягової підстанції постійного струму. У статті наведено огляд схем активних випрямлячів з корекцією коефіцієнта потужності. Подано ряд вимог, виходячи з яких була обрана оптимальна схема для випрямляча тягової підстанції.*

**Ключові слова:** *трифазний активний випрямляч, корекція коефіцієнта потужності, ККМ, тягова підстанція.*

*The thyristor and diode three-phase rectifiers are used on the DC traction substations. These schemes have a number of drawbacks. In some cases, they do not provide the ability to recover energy, but also they are powerful source of current harmonic for general industrial electric grid. The presence of higher harmonics in power grid has the following negative consequences: distortion of the supply voltage; pickup in telecommunication and control circuits; heating and additional losses in transformers and electrical machines, which are powered from the power supply system; reducing the efficiency of the power supply system and technical devices. Basis of this, used schemes are outdated. The searching of new solutions for rectifying circuit installations traction substation is urgent. This article provides an overview of highly active rectifier circuits: the scheme of the three-phase active rectifier step-up, step-down circuit three-phase, active Vienna-rectifier, single-key scheme three-phase active rectifier. These schemes allows to implement the following options: power factor correction, sinusoidal input current, eliminating harmonic in input*



current, regulation of the output voltage of the rectifier, energy recovery in the network. The article presents the optimal scheme for the rectifier traction substation.

**Keywords:** three-phase active boost rectifier, power factor correction, PFC, DC traction substation.

**Введение.** На тяговых подстанциях постоянного тока применяются диодные и тиристорные трехфазные выпрямители. Данные схемы обладают рядом недостатков. В ряде случаев они не только не обеспечивают возможность рекуперации энергии, обладают низким коэффициентом мощности, но также являются мощным источником высших гармонических составляющих тока в общепромышленную сеть. Наличие высших гармоник тока в электросети несет следующие негативные последствия: искажение формы питающего напряжения; наводки в телекоммуникационных и управляющих цепях, снижение КПД самой системы электроснабжения и питающихся от нее технических устройств. В связи с этим применяемые схемы являются морально устаревшими. Актуальным является поиск путей модернизации выпрямительных установок тяговых подстанций [1].

**Целью данного исследования** является анализ возможности применения

схем активных трехфазных выпрямителей с коррекцией коэффициента мощности на тяговых подстанциях постоянного тока.

**Трехфазный активный полномостовой повышающий выпрямитель.** Существуют различные топологии схем активных выпрямителей (далее АВ), обеспечивающие коррекцию коэффициента мощности. Одной из наиболее хорошо зарекомендовавших себя схем, имеющей высокие энергетические показатели, является схема активного полномостового повышающего выпрямителя [2]. Данная схема обеспечивает реализуемый коэффициент мощности, близкий единице, режим работы непрерывных токов и возможность реализации двунаправленного потока энергии, т.е. возможность рекуперации. Схема активного повышающего выпрямителя представлена на рис. 1. Форма входного напряжения и тока представлена на рис. 2.

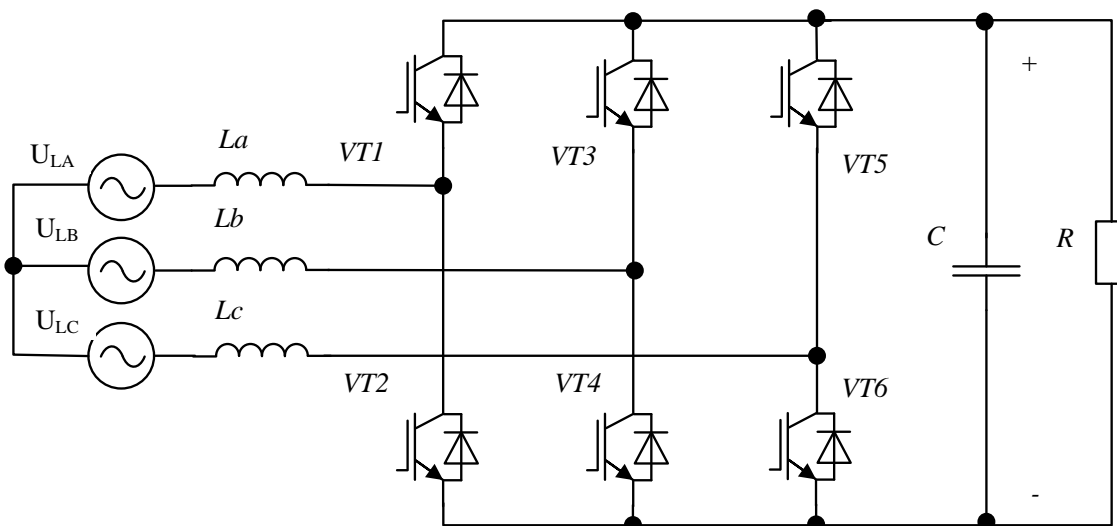


Рис. 1. Активный повышающий выпрямитель с коррекцией коэффициента мощности

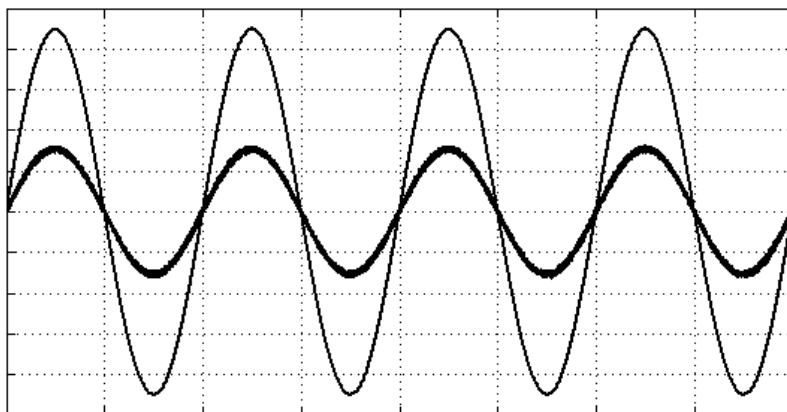


Рис. 2. Форма входного напряжения и тока фазы повышающего полномостового АВ

В состав данного преобразователя входит шесть полностью управляемых ключей типа IGBT. Обязательным условием возможности реализации синусоидальной формы входного тока выпрямителя является поддержание выходного напряжения преобразователя выше входного фазного напряжения активного выпрямителя. Отсутствие высших гармонических составляющих входного тока приводит к возможности значительного уменьшения входного ЭМС фильтра.

Недостатком схемы является необходимость использовать шесть активных ключей для обеспечения коэффициента мощности, близкого единице, когда, например, в схеме Виенна необходимо всего лишь три ключа, а в одноключевой схеме соответственно только один. Кроме того, в связи с тем, что схема по определению является повышающей, нет возможности регулирования выходного напряжения в диапазоне от нуля до значения амплитуды фазного напряжения.

**Активный полномостовой понижающий выпрямитель.** Трехфазный активный понижающий выпрямитель изображен на рис. 3. Преобразователь имеет возможность регулирования выходного напряжения в диапазоне от нуля до номинального значения сети, обеспечивая при этом синусоидальную

форму входного тока и коэффициент мощности, близкий к единице.

Трехфазная понижающая схема может передавать мощность в нагрузку звена постоянного тока с незначительными (пренебрежительно малыми) искажениями входных токов, т.е. форма входных токов практически синусоидальна и схожа с формой повышающего выпрямителя, изображенной на рис. 2.

Данный преобразователь имеет регулируемое значение выходного напряжения в диапазоне от нуля до значения амплитуды фазного напряжения сети. Для корректной работы преобразователя необходимы двухквadrантные биполярные ключи, что хорошо реализуется последовательным соединением IGBT транзистора и силового диода. Недостатком данной схемы являются более высокие удельные потери в вентилях по сравнению с повышающим выпрямителем, обусловленные более высоким среднеквадратичным значением токов при последовательном соединении IGBT и диода, а также отсутствие возможности регулирования выходного напряжения выше фазного напряжения сети. Преобразователь способен работать в инверторном режиме, т.е. также обеспечивает возможность рекуперации. Однако рекуперация в данном типе преобразователя возможна только при обратной (отрицательной) полярности

выходного напряжения, что делает применение ее на тяговой подстанции

невозможной без дополнительных силовых устройств смены полярности.

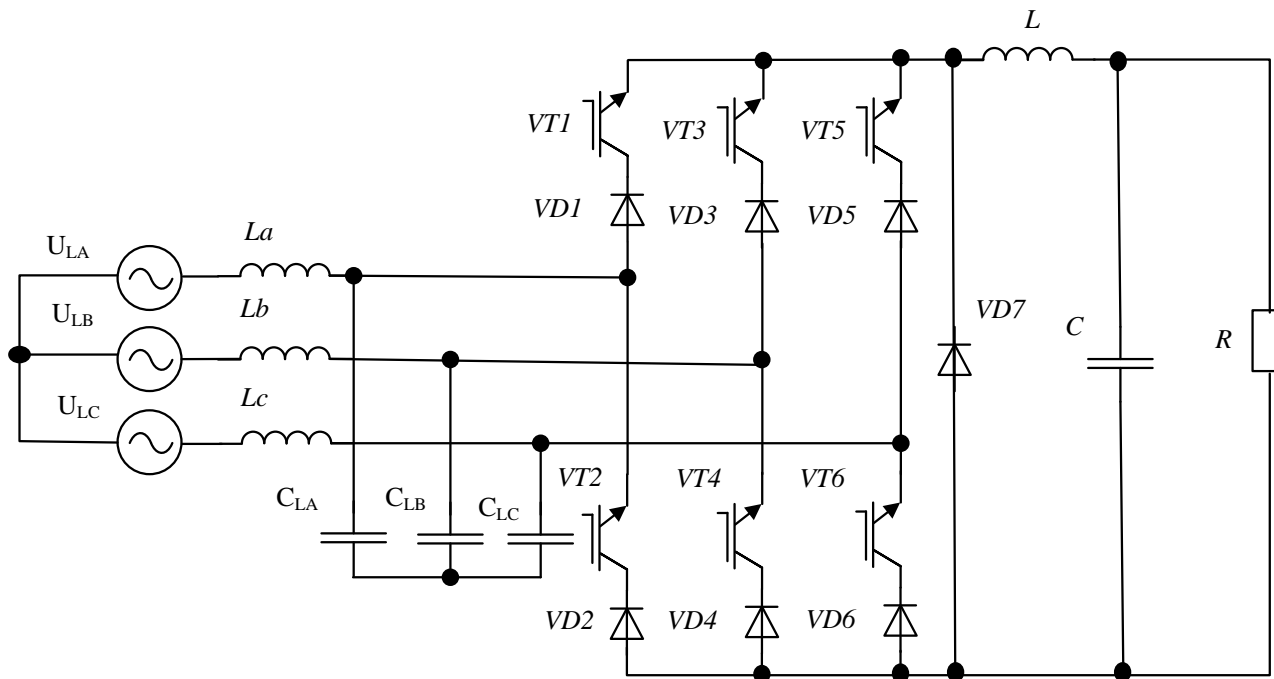


Рис. 3. Активный полномостовой понижающий выпрямитель

**Виенна-выпрямитель.** На данном этапе одной из наиболее изученных трехфазных схем коррекции коэффициента

мощности является схема Виенна-выпрямителя [3]. Схема представлена на рис. 4.

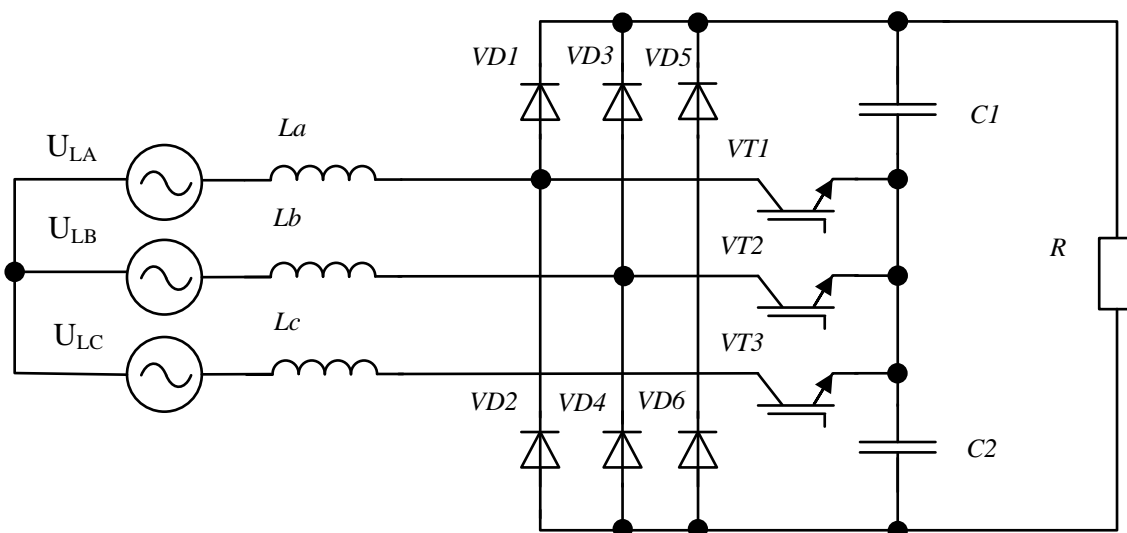


Рис. 4. Схема Виенна-выпрямителя

Регулирование выходного напряжения происходит в диапазоне выше номинального значения напряжения сети, при этом реализуется синусоидальная форма входного тока и коэффициент мощности, близкий к единице. Преобразователь работает в режиме беспрерывных токов и имеет форму фазного тока, схожую с полностовыми схемами, изображенную на рис. 2. Достоинством данной схемы является уменьшенное количество силовых ключей в сравнении с полностовыми схемами. Напряжение, приложенное к ключу, равно половине выходного, что дает возможность применения ключей низшего класса, имеющих соответственно более низкую стоимость. Недостатком схемы является отсутствие возможности реализации рекуперации.

**Одноключевой трехфазный активный выпрямитель.** В виду того, что полностью управляемые силовые ключи являются достаточно дорогостоящими, стоит вопрос реализации активного выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности с минимальным количеством активных ключей. В случае, когда

необходимо уменьшить входные фильтры и реализовать активную коррекцию мощности, возможна реализация АВ всего с одним активным ключем [4]. Схема одноключевого повышающего АВ представлена на рис. 5. Схема имеет регулирование уровня выходного напряжения выше значения напряжения сети и не обеспечивает возможности применения рекуперации.

Индуктивности  $L_a$ ,  $L_b$  и  $L_c$  работают в режиме прерывистых токов в связке с диодами  $D1-D6$ . В конце интервала нарастания тока в дросселе ток достигает своего пикового значения, которое также пропорционально приложенному напряжению трехфазной сети. Когда транзистор  $Q1$  запирается, то диод  $D7$  становится прямосмещенным и дроссели передают накопленную в них энергию в нагрузку. Так как пик входных токов пропорционален амплитуде линейного напряжения, то среднее значение входных токов также приблизительно пропорционально значению линейного напряжения сети. Форма входного тока одноключевого повышающего АВ представлена на рис. 6.

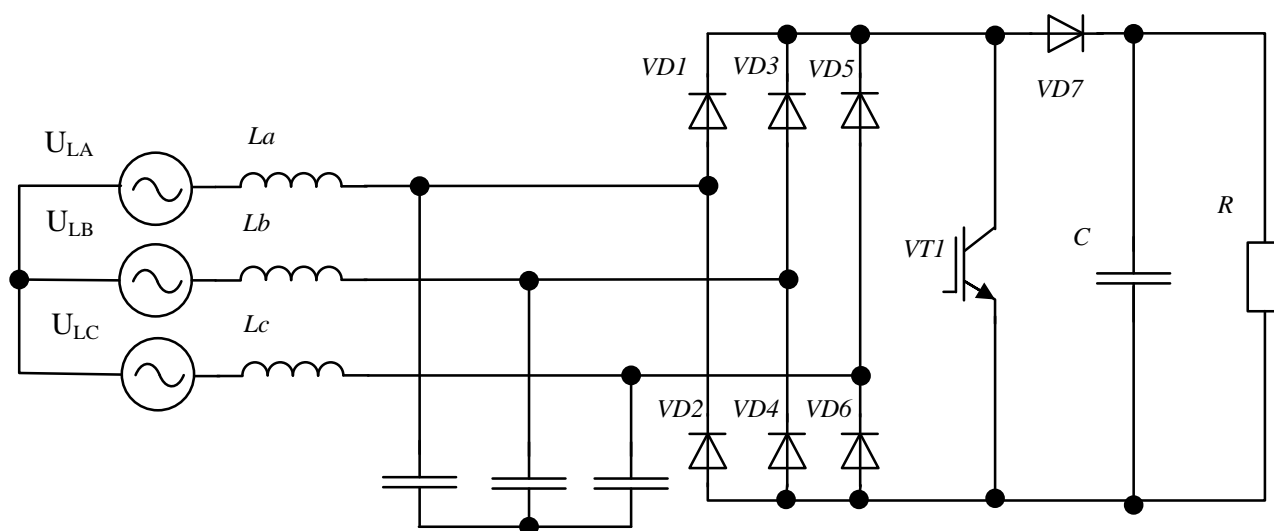


Рис. 5. Одноключевая схема повышающего активного выпрямителя

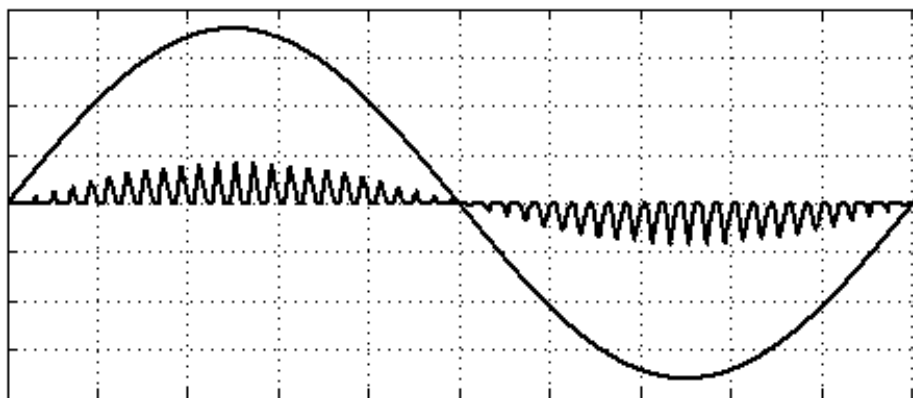


Рис. 6. Форма входного напряжения и тока фазы одноключевого повышающего АВ

Преобразователь имеет достаточно высокое содержание высших гармоник, но их количество, как и общий коэффициент гармонических искажений формы тока может быть уменьшен при дополнительном применении реактивных фильтров.

**Сравнительный анализ схем коррекции мощности.** Для выбора оптимальной схемы выпрямительного агрегата тяговой подстанции представлен ряд критериев: поддержание выходного напряжения 3,3 кВ в широком диапазоне нагрузок (от десятков ампер до нескольких килоампер), возможность реализации рекуперации энергии, реализация коэффициента мощности, близкого единице, минимальное содержание высших гармоник потребляемого тока.

Сводные характеристики схем активных выпрямителей представлены в таблице.

Одноключевая схема АВ оптимальна для реализации активных выпрямителей малой и средней мощности без рекуперации. Связано это с высокими удельными и пиковыми нагрузками ключа, и при реализации высокоомощного выпрямительного агрегата мощностью порядка нескольких мегаватт исполнение одноключевой схемы является недопустимой.

Схема Виенна-выпрямителя обладает высокими энергетическими характеристиками, обеспечивает коэффициент

мощности, близкий к единице, и оптимальна в качестве активного выпрямителя тяговой подстанции без необходимости рекуперации энергии.

Полномостовая понижающая схема АВ для реализации рекуперации требует смены полярности выходного напряжения, что обуславливает необходимость дополнительных выходных устройств, чем проигрывает полномостовой повышающей схеме.

Полномостовая повышающая схема АВ отвечает всем вышеставленным требованиям: обеспечивает коэффициент мощности, близкий к единице, низкое содержание высших гармоник сети и является оптимальной схемой активного выпрямителя тяговой подстанции.

**Вывод.** В статье представлен анализ современных схем активных трехфазных выпрямителей с коррекцией коэффициента мощности. Оптимальной схемой АВ для тяговой подстанции постоянного тока с реализацией рекуперации является схема активного трехфазного полномостового повышающего выпрямителя. В случае, если реализация рекуперации не является необходимой, оптимальной схемой является схема Виенна-выпрямителя.

В дальнейшем необходимыми являются исследования систем управления данными преобразователями в условиях динамических изменений нагрузки и искажений питающей сети.

Параметры схем активных трехфазных выпрямителей

Параметр	Полномостовая повышающая схема АВ	Полномостовая понижающая схема АВ	Схема Виенна-выпрямителя	Одноключевая схема АВ
Выходное напряжение В	Выше $U_L^*$	Ниже $U_L^*$	Выше $U_L^*$	Выше $U_L^*$
Напряжение на ключе, В	$U_{\text{ВЫХ}}$	$U_{\text{ВЫХ}}$	$U_{\text{ВЫХ}}/2$	$U_{\text{ВЫХ}}$
Возможность рекуперации	Есть	При смене полярности $U_{\text{ВЫХ}}$	нет	нет
Напряжение на конденсаторах фильтра, В	$U_{\text{ВЫХ}}$	$U_{\text{ВЫХ}}$	$U_{\text{ВЫХ}}/2$	$U_{\text{ВЫХ}}$
Количество полностью управляемых ключей	6	6	3	1
Количество диодов	6	6	6	7
Коэффициент мощности	0,98-0,99	0,92-0,98	0,98-0,99	0,73
$\cos \varphi$	0,99-1	0,99-1	0,99-1	0,98-1
Коэффициент гармонических искажений формы тока THD	3-12%	3-12%	3-12%	60-90%

\*  $U_L$  – входное фазное напряжение АВ.

**Список использованных источников**

1. Горячев, В.Я. Основные способы управления параметрами энергетических систем для снижения влияния нелинейных нагрузок на показатели качества электрической энергии [Текст] / В.Я. Горячев, Д.А. Кузьмин, Н.Б. Джазовский // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №6. – С.23-31.
2. Н. Мао. Analysis and Design of a High Frequency Three-Phase Boost Rectifier [Текст] / Н. Мао, D. Boroyevich, A. Ravindra, F. Lee // IEEE Applied Power Electronics Conference, 1996 Record, С. 538-544.
3. Чаплыгин Е.Е. Виенна-выпрямитель – трехфазный корректор коэффициента мощности [Текст] / Е.Е. Чаплыгин, Во Минь Тьинь, Нгуен Хоанг Ан // Силовая электроника (приложение к журналу «Компоненты и технологии»). – 2006. – №1. – С. 20-23.
4. Ghanem, M. A. New single phase buck-boost converter with unity power factor [Текст] / Ghanem, M., Haddas, K.A, and Ray, G // IEEE APEC, 1993, P. 785-792.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Я.В.Щербак

Плахтій Олександр Андрійович, аспірант кафедри автоматизованих систем електротранспорту Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-73. E-mail: 83et@mail.ru.

Plahty Alexander A., postgraduate department automated electric Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-73. E-mail: 83et@mail.ru.

УДК 621.314

**АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ШИМ**

Асп. Е.Я. Ивакина

**АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ШІМ**

Асп. К.Я. Івакіна

**THE ANALYSIS OF DYNAMIC PROCESSES OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC IS ADJUSTING OF TENSION OF TRANSFORMER WITH SHIM**

Postgraduate K.I. Ivakina

*У статті виконано аналіз динамічних процесів системи автоматичного регулювання, яка має випрямляч з широтно-імпульсною модуляцією. Показано вирівнюючу дію фактора пульсацій на зміни коефіцієнта передачі перетворювача.*

**Ключові слова:** випрямляч, широтно-імпульсна модуляція, замкнута структура, коефіцієнт передачі, фактор пульсацій, процес кінцевої тривалості.

*В статье выполнен анализ динамических процессов системы автоматического регулирования, содержащей выпрямитель с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения. Показано выравнивающее действие фактора пульсаций на изменения коэффициента передачи выпрямителя.*

**Ключевые слова:** выпрямитель, широтно-импульсная модуляция, замкнутая структура, коэффициент передачи, фактор пульсаций, процесс конечной длительности.

*In the article the analysis of dynamic processes of the system of automatic control, containing a rectifier with latitudinal-impulsive modulation of output tension, is executed. The analysis of dynamic processes is executed for the system of automatic control of output tension of rectifier with an integral regulator. The analysis of dynamic processes is executed with the use of impulsive model of transformer and mathematical vehicle Z – transformations. The condition of process of eventual duration is got. It is shown, that due to the changes of factor of pulsations influence on the transitional process of changes of coefficient of transmission of rectifier is compensated. The results of theoretical researches are confirmed by the results of imitation design in the Matlab environment.*

**Keywords:** rectifier, latitudinal-impulsive modulation, reserved structure, coefficient of transmission, factor of pulsations, process of eventual duration.

**Введение.** Создание мощных стабилизированных систем питания для железнодорожного транспорта напрямую связано с динамическими характеристиками полупроводникового преобразователя электрической энергии.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями.** Повышение

качества электрической энергии в входной и выходной цепях полупроводниковых преобразователей является актуальной задачей. Решение этой задачи напрямую связано с динамическими характеристиками преобразователя как элемента замкнутой структуры автоматического регулирования.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Динамические характеристики тиристорного выпрямителя и широтно-импульсного преобразователя в разных режимах работы достаточно изучены и изложены в ряде работ, среди которых следует отметить [1, 2, 3, 4, 5].

В работах [1, 2, 4] получены импульсные модели тиристорного выпрямителя для режимов непрерывного и прерывистого токов, с учетом и без учета угла коммутации.

В работах [3, 4, 5] изложены импульсные модели широтно-импульсного преобразователя для разных режимов в цепи нагрузки при постоянстве величины входного напряжения.

Анализ результатов исследований, приведенных в перечисленных работах, указывает на то, что повышение динамических характеристик напрямую связано с уменьшением длительности тактового интервала преобразователя, что

эквивалентно расширению его полосы пропускания.

Одним из путей улучшения частотных свойств выпрямителя является применение в нем вместо фазового управления широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [5]. Объединение в преобразователе свойств выпрямителя и широтно-импульсного преобразователя вносит коррективы в протекании динамических процессов.

**Определение цели и задачи исследований.** Цель работы заключается в теоретических и экспериментальных исследованиях динамических процессов в замкнутых структурах, содержащих выпрямитель с ШИМ.

**Основная часть исследований.** Выпрямитель с ШИМ при малых отклонениях управляющего воздействия  $\Delta U_y(t)$  представляет собой амплитудно-импульсный модулятор второго рода. Импульсная модель выпрямителя с ШИМ для режима непрерывного тока изображена на рис. 1.

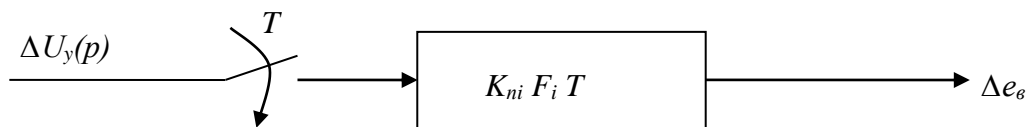


Рис. 1. Импульсная модель выпрямителя с ШИМ

Особенностью импульсной модели является то, что статический коэффициент передачи  $K_{ni}$  и фактор пульсаций  $F_i$  являются переменными величинами. Вызвано это воздействием пульсационной составляющей выходного напряжения выпрямителя на импульсную последовательность ШИМ. В силу того, что коэффициент передачи  $K_{ni}$  и фактор пульсаций  $F_i$  связаны между собой, следует ожидать ослабление влияния их изменений на динамические свойства замкнутой системы автоматического регулирования. Для исследования данной предпосылки рассмотрим замкнутую систему

автоматического регулирования выходного напряжения выпрямителя с ШИМ с интегральным регулятором, передаточная функция которого

$$G(p) = \frac{1}{T_1 p}. \quad (1)$$

Выбор такой структуры объясняется возможностью реализации предельного быстродействия. Структурная схема рассматриваемой системы изображена на рис. 2.



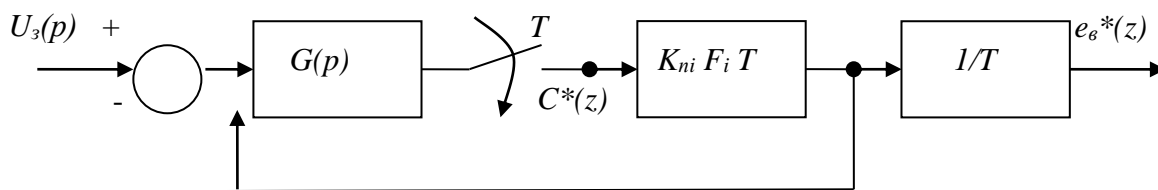


Рис. 2. Структурная схема системы регулирования

Связь между входным  $U_3(p)$  и выходным  $e_\epsilon^*(z)$  сигналами, записанная в форме  $z$ - преобразования, определяется следующим образом:

$$e_\epsilon^*(z) = C^*(z) \cdot K_{\text{ш}} F_i T;$$

$$C^*(z) = \frac{U_3 G^*(z)}{1 + K_{\text{ш}} F_i T G^*(z)};$$

$$e_\epsilon^*(z) = \frac{K_{\text{ш}} F_i T \cdot U_3 G^*(z)}{1 + K_{\text{ш}} F_i T G^*(z)}; \quad (2)$$

В силу того, что разность порядков полиномов знаменателя и числителя передаточной функции (1) приведенной непрерывной части системы равна единице, ее реакция на последовательность  $\delta(t)$  импульсов, формируемых импульсным элементом, равна единице. Для фиксации импульсным элементом левосторонних значений выходного сигнала регулятора  $G(p)$  представим выражение (2) в следующем виде

$$e_\epsilon^*(z) = \frac{K_{\text{ш}} F_i \cdot U_3 G^*(z)}{1 + z^{-1} \cdot K_{\text{ш}} F_i T G^*(z,1)}, \quad (3)$$

где  $G^*(z,1) = z_{\epsilon=1} \left\{ \frac{1}{T_1 p} \right\}$ .

Согласно с [7] модифицированное  $z$ -преобразование передаточной функции  $G(p)$  равно

$$G^*(z,1) = \frac{1}{T_1} \cdot \frac{z}{z-1}. \quad (4)$$

С учетом  $z$ -преобразования передаточной функции  $G(p)$  характеристическое уравнение системы приобретает вид

$$z - 1 + K_{\text{ш}} F_i T = 0. \quad (5)$$

Совместив корни характеристического уравнения (5) с началом  $z$ -плоскости, получим условия процесса конечной длительности

$$T_1 = K_{\text{ш}} F_i T, \quad (6)$$

где  $T$  – период дискретности ШИМ.

Для оценки динамических свойств системы рассмотрим ее реакцию на единое входное воздействие

$$U_3(p) = L\{1(t)\} = \frac{1}{p}. \quad (7)$$

$Z$ -преобразование полинома числителя выражения (3) имеет вид

$$z\{U_3 G^*(z)\} = z \left\{ \frac{1}{T_1 p^2} \right\} = \frac{T}{T_1} \cdot \frac{z}{(z-1)^2}. \quad (8)$$

С учетом формул (6) и (8) выражение для выходного сигнала (3) преобразуется к виду

$$e_e^*(z) = \frac{z \cdot K_{ni} F_i \frac{T}{T_1}}{(z-1)(z-1 + K_{ni} F_i \frac{T}{T_1})}. \quad (9)$$

Выражение (9) описывает переходный процесс в системе при единичном входном воздействии.

Анализ выражений (6) и (9) указывает на то, что при строгом описании процессов в системе необходимо учитывать изменения на каждом интервале дискретности ШИМ статического  $K_{ni}$  и динамического  $F_i$  коэффициентов. Период повторяемости указанных коэффициентов определяется периодом дискретности выпрямителя.

Выражение для фактора пульсаций, записанное согласно [8] для  $i$ -го тактового интервала ШИМ, имеет вид

$$F_i = \frac{1}{1 + K_{ni} \frac{T}{T_1} (1 - \gamma)}, \quad (10)$$

Из (12) следует то, что переходный процесс в системе заканчивается за один тактовый интервал ШИМ, что соответствует порядку передаточной функции приведенной непрерывной части системы.

На рис. 3 приведена имитационная модель выпрямителя с ШИМ и системы автоматического регулирования, созданная в среде Matlab. Модель содержит трехфазную систему питающих выпрямитель с ШИМ напряжений  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ . Выпрямитель представлен в виде блока Voltodobavka. Нагрузка выпрямителя

где  $\gamma$  – относительная длительность импульса ШИМ.

Из (10) следует, что изменение  $K_{ni}$  вызывает соответствующее изменение  $F_i$ . Из этого следует, что изменение фактора пульсаций вызывает снижение чувствительности системы к изменениям ее параметров. Данное обстоятельство позволяет при анализе динамических процессов рассматривать в выражении (10) усредненные на интервале дискретности выпрямителя значения  $K_{ni}$ .

При выборе из условия (6)

$$K_{ni} F_i \frac{T}{T_1} = 1,$$

выражение для выходного сигнала (9) преобразуется к виду

$$e_e^*(z) = \frac{1}{z-1}. \quad (11)$$

Разложив (11) в степенной ряд Лорана, получим значения выходной координаты системы в тактовые моменты ШИМ

$$e_e(nT) = z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + z^{-4} + \dots + z^{-n}. \quad (12)$$

выполнена на L1 и R1. Блок Step2 формирует скачек сигнала управления. Постоянная времени регулятора  $G(p)$  выбрана в соответствии с условием процесса конечной длительности. На рис. 4 представлены осциллограммы переходного процесса и скачка сигнала управления. Верхняя осциллограмма характеризует изменение выходного сигнала регулятора в переходном режиме. Как следует из осциллограммы, переходный процесс в системе заканчивается за один тактовый интервал ШИМ, что подтверждает аналитический расчет.

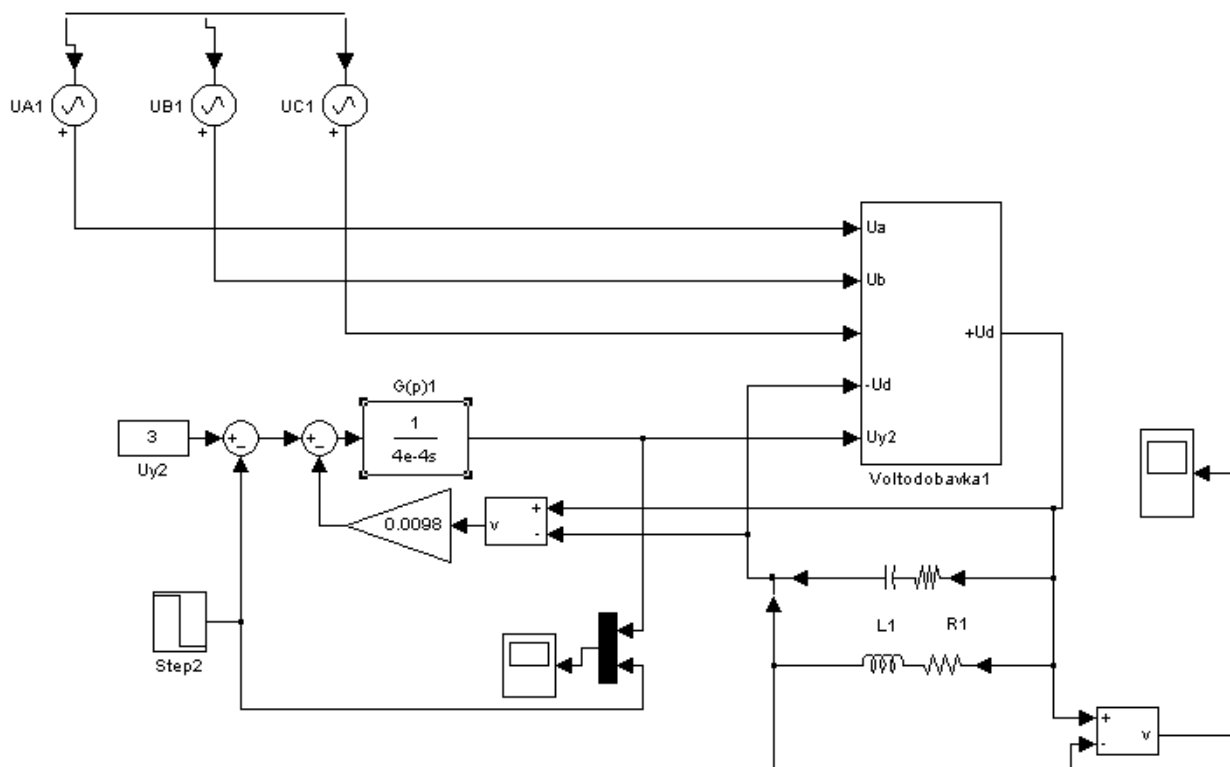


Рис. 3. Модель системи регулювання

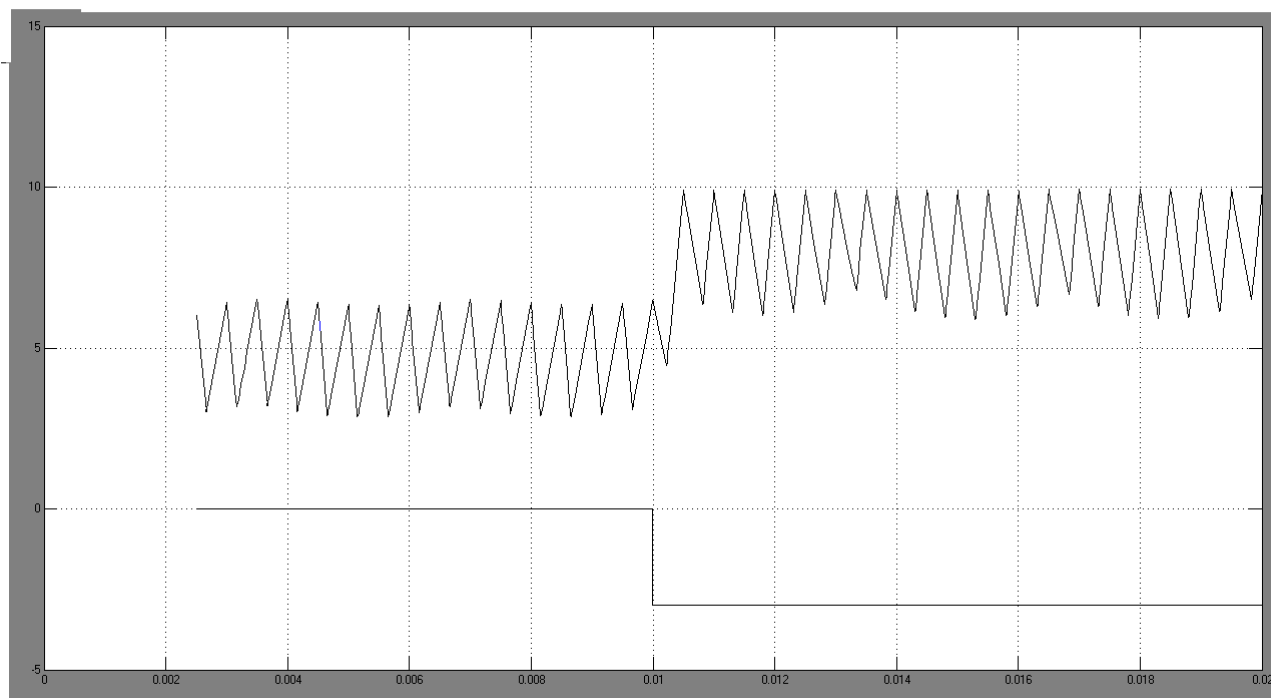


Рис. 4. Осцилограммы переходных процессов

**Выводы из исследований и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении.** В результате выполненных исследований установлено, что применение усредненных значений

статического коэффициента передачи и фактора пульсаций позволяет с достаточной точностью описывать динамические процессы в замкнутых структурах, содержащих выпрямитель с ШИМ.

### *Список использованных источников*

1. Шипилло, В.П. Вентильный преобразователь как элемент системы автоматического регулирования [Текст] / В.П. Шипилло // *Электричество*. – 1967. – №11. – С.63-70.
2. Донской, Н.В. Управляемый выпрямитель в системах автоматического управления [Текст] / Н.В. Донской, А.Г. Иванов, В.М. Никитин, А.Д. Поздеев. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 352 с.
3. Чикотило, И.И. Исследование устойчивости и переходных режимов тиристорных широтно-импульсных преобразователей в быстродействующих замкнутых системах [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.09.12 / И.И. Чикотило. – Харьков, 1979. – 239 с.
4. Щербак, Я.В. Теоретические основы и методы регулирования субгармоник полупроводниковых преобразователей электроэнергии [Текст]: дис... д-ра техн. наук: 05.09.12 / Я.В. Щербак. – Харьков, 2001. – 408 с.
5. Щербак, Я.В. Широтно-импульсный преобразователь с широтно-импульсной модуляцией второго рода в условиях несимметрии [Текст] / Я.В. Щербак // *Технічна електродинаміка*. – К., 1999. – №1. – С.31-35.
6. Розанов, Ю.К. Основы силовой электроники [Текст] / Ю.К. Розанов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 296 с.
7. Джури, Э. Импульсные системы автоматического регулирования [Текст] / Э. Джури. – М.: Физматиздат, 1963. – 455 с.
8. Шипилло В.П., Фактор пульсаций в системах регулирования с вентильными преобразователями [Текст] / В.П. Шипилло, Ю.С. Зинин // *Электричество*. – 1977. – №3. – С. 86-89.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Ю.И.Гусевский

---

Івакіна Катерина Яківна, аспірантка Харківського національного університету міського господарства.

Ivakyna Catherine Yakovlevna, postgraduate Kharkiv National University city-ray economy.

**БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА КОНСТРУКЦІЇ**

---

УДК 625.143

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ИЗГИБНОЙ ЖЕСТКОСТИ РЕЛЬСОВ В ЗОНЕ СТЫКОВ**

Д-р техн. наук А.Н. Даренский, ассист. А.В. Клименко

**РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВІДНОСНОЇ ЖОРСТКОСТІ РЕЙОК НА ВИГІН В ЗОНІ СТИКІВ**

Д-р техн. наук О.М. Даренський, асист. А.В. Клименко

**THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE RELATIVE FLEXURAL RIGIDITY OF THE RAILS IN THE AREA OF JOINT**

Doct. of techn. sciences A.N. Darenskiy, asist. A.V. Klimenko

*В статье изложены результаты экспериментальных исследований относительной изгибной жесткости целого рельса и рельсов в зоне стыка. Приведены результаты эксперимента и выполнен их анализ. Установлен коэффициент относительной изгибной жесткости рельсовой нити в зоне стыка по отношению к целому рельсу с учетом влияния расстояния между опорами, уровня натяжения гаек стыковых болтов и величины стыкового зазора.*

**Ключевые слова:** *рельсовый стык, дискретное подрельсовое основание, упруго-диссипативные характеристики, прогиб.*

*У статті викладені результати експериментальних досліджень відносної жорсткості цілої рейки та рейок в зоні стику на вигин. Наведено результати експерименту і виконано їх аналіз. Встановлено коефіцієнт відносної жорсткості рейкової нитки в зоні стику на вигин по відношенню до цілої рейки з урахуванням впливу відстані між опорами, рівня натягу гайок стикових болтів і величини стикового зазору.*

**Ключові слова:** *рейковий стик, дискретна підрейкова основа, пружньо-диссипативні характеристики, прогин.*

*The article presents the results of experimental studies of the relative flexural rigidity of the rails in the joint area and established empirical relationships based on their technical characteristics and conditions. To achieve this goal in conducting experimental studies determined the value of deflection as a rail or rail joint under static load, and the task was to determine the patterns of change in the relative bending stiffness of the rail at two fixed bearings in the joint area. The results of experiments carried out and analyzed. Established coefficient relative flexural rigidity yarn rail at the junction relative to the entire rail with the influence of the distance between supports, the level of tension bolts and nuts butt butt gap size. This information allows the study of interaction of numerical methods and rolling path in the areas of rail joints, including special environments industrial railways.*

**Keywords:** *rail joints, discrete rail base, elastic-disipativnye characteristics, deflection.*

**Актуальность.** В работе «Особенности расчетов взаимодействия пути и подвижного состава в зоне рельсовых стыков при дискретном подрельсовом основании» [1] была предложена математическая модель взаимодействия пути и подвижного состава в зоне рельсовых стыков при дискретном подрельсовом основании с нелинейными упруго-диссипативными характеристиками. Эта модель, в отличие от наиболее распространенных расчетных схем [2, 3], при которых путь рассматривается как балка на сплошном упругом основании, позволяет учитывать дополнительные динамические силы, вызванные неравноупругостью дискретного подрельсового основания. Значения таких динамических сил могут составлять до 10 % для условий магистральных дорог и до 15 % для условий дорог необщего пользования. Эта модель была реализована в программной системе MathCAD, однако ее применение для численных исследований сил взаимодействия пути и подвижного состава в зоне рельсовых стыков сдерживается из-за отсутствия информации о характеристиках изгибной жесткости рельсовых нитей в зонах стыков, информации о влиянии технических характеристик стыков на этот параметр.

**Цель и задачи.** Таким образом, целью экспериментальных исследований явилось получение объективной информации об изгибной жесткости рельсов в зоне стыков и установление эмпирических зависимостей с учетом их технических характеристик и состояний. Для достижения этой цели при проведении экспериментальных работ определялись величины прогиба как целого рельса, так и рельсового стыка под действием статической нагрузки, при этом ставилась задача определения закономерности изменения относительной изгибной жесткости рельса на двух неподвижных опорах в зоне стыка, при смене величины стыкового зазора, расстояния между опорами, уровня

натяжения гаек стыковых болтов, величины прикладываемой нагрузки.

**Методика. Оборудование.** Испытания проводились в лаборатории кафедры строительной механики и гидравлики УкрГАЗТ на универсальной испытательной машине ГРМ-1 (рис. 1). Испытывались два рельса Р65 длиной по одному метру, скрепленные между собой двухголовой четырехдырной накладкой с помощью болтов, одновитковых шайб, гаек. Для затяжки гаек использовался динамометрический ключ.

Было проведено 2 серии испытаний. В первой серии испытывался целый рельс длиной 1 м, под статической нагрузкой, нагрузка менялась от 0 до 200 кН, добавлением по 25 кН, так же менялось расстояние между опорами (0,45 м; 0,5 м; 0,55 м).

Во второй серии испытывался рельсовый стык, при этом менялось расстояние между опорами (0,45 м; 0,5 м и 0,55 м), уровень натяжения гаек стыковых болтов (0,25 кНм; 0,3 кНм; 0,4 кНм), величина стыкового зазора (0 мм; 5 мм; 10 мм; 20 мм). При этом каждое нагружение осуществлялось не менее 3-х раз.

**Результаты исследований.** На рис. 2 приведены графики зависимостей деформации целого рельса от величины приложенной нагрузки, при расстоянии между опорами 0,45 м; 0,5 м; 0,55 м. Поскольку основной задачей исследований было принято получение информации об относительной жесткости рельсовой нити в зоне стыка к относительной жесткости целого рельса, были получены по этим данным значения изгибной жесткости рельса при вертикальной нагрузке и зависимость изменения этого параметра от расстояния между опорами – шпалами. Данные эксперимента были обработаны общепринятыми статистическими методами, и искомая зависимость была определена в виде:

$$D_{\text{зрел}} = 5,20 \times 10^{-6} \times l_{\text{ш}}^{1,2117}, \quad (1)$$

где  $l_{\text{ш}}$  – расстояние между опорами, м.

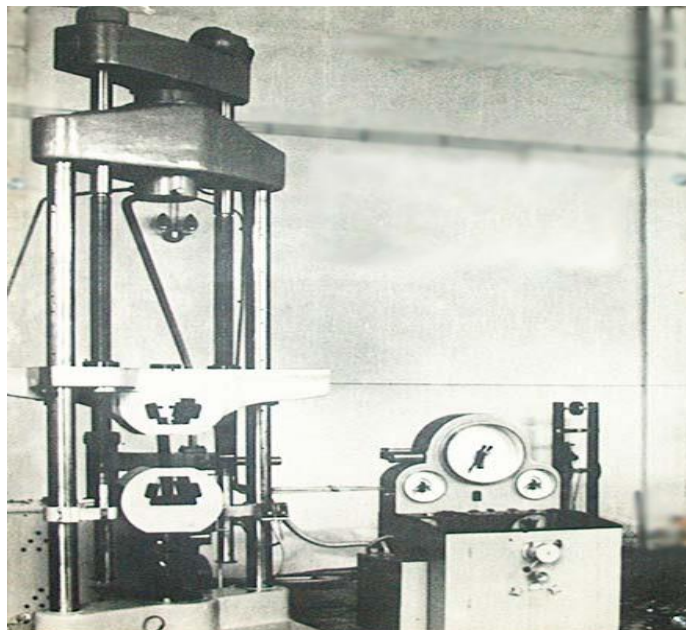


Рис. 1. Универсальная испытательная машина ГРМ-1

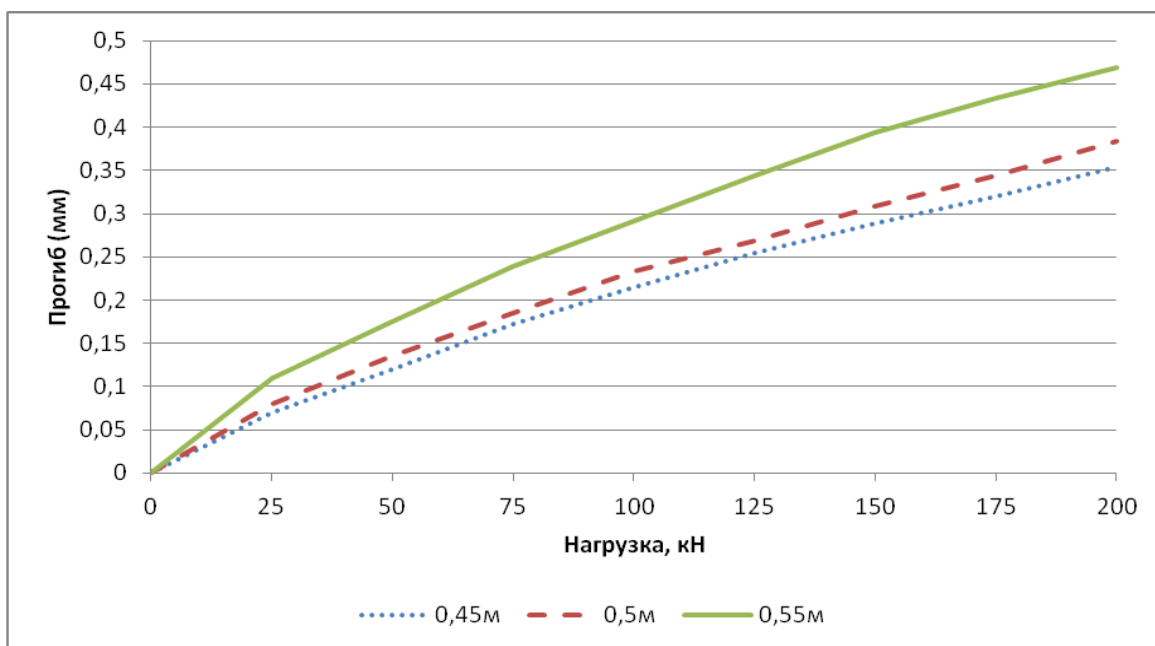


Рис. 2. Зависимость прогибов в зоне рельсовых стыков при величине статической нагрузки рельса

На рис. 3 приведены результаты экспериментальных исследований нагруженного рельсового стыка при изменении величины стыкового зазора, расстояния между опорами, величины натяжения гаек стыковых болтов.

На рис. 4 изображено отношение деформации рельса к величине прикладываемой нагрузки при стыковом зазоре 5 мм; 10 мм; 20 мм.

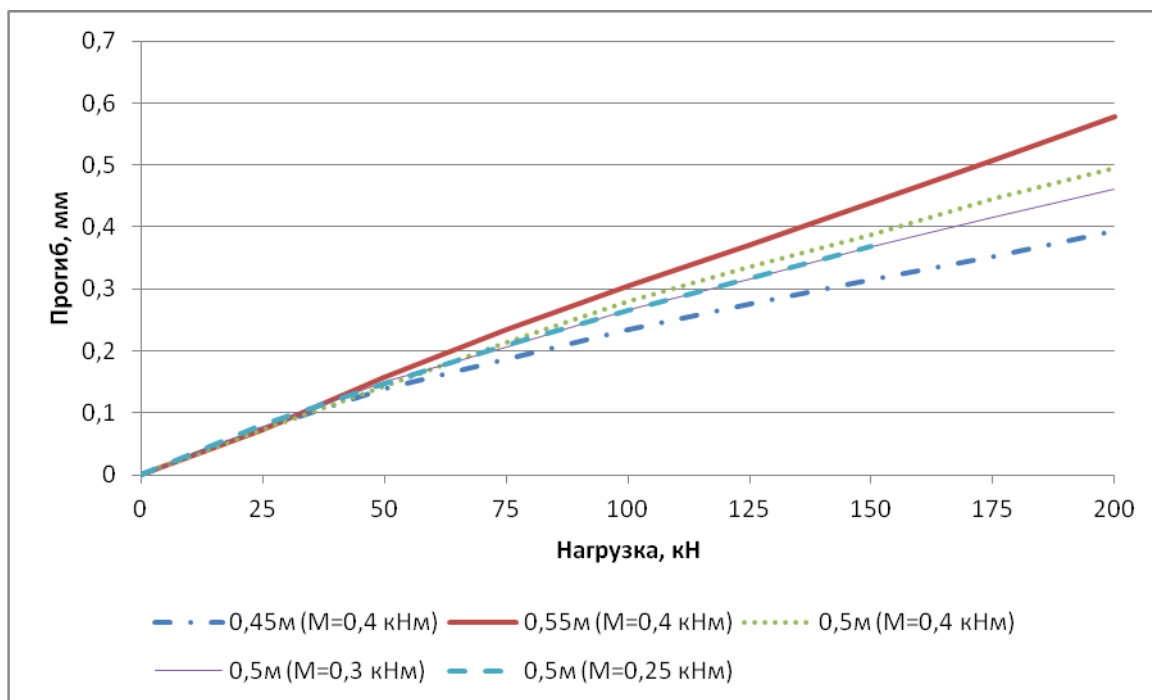


Рис. 3. Зависимость прогибов в зоне рельсовых стыков при величине статической нагрузки при стыковом зазоре 0 мм

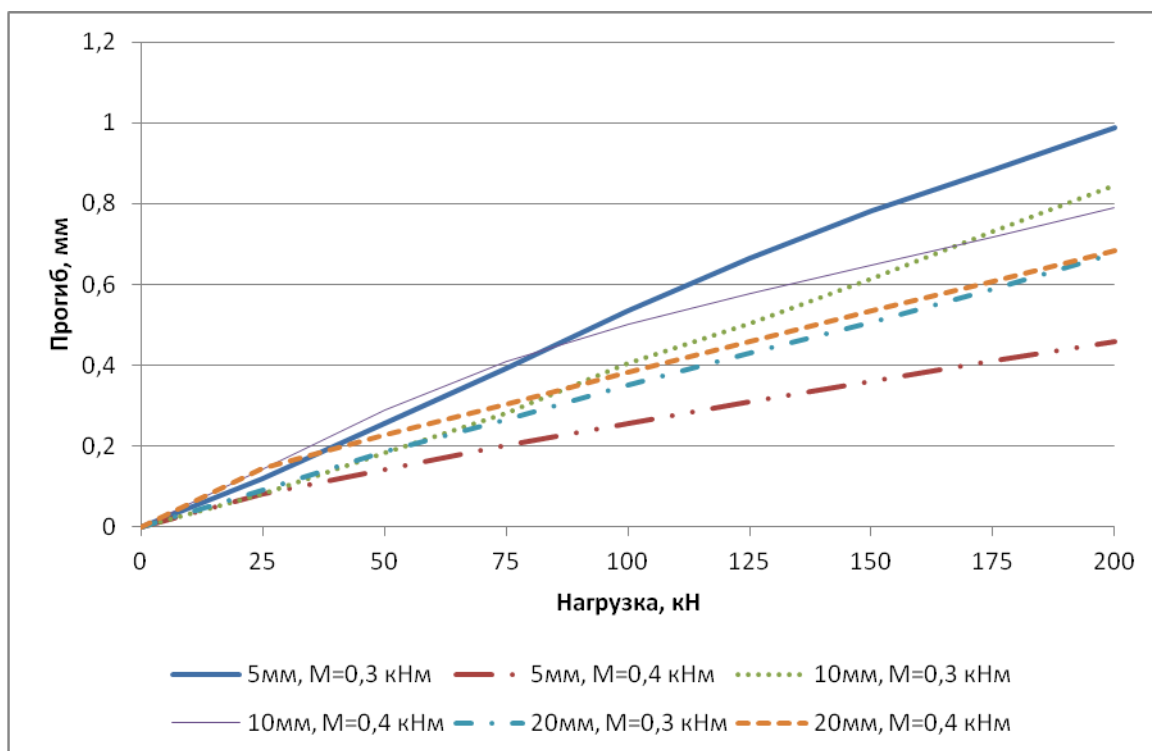


Рис. 4. Зависимость прогибов в зоне рельсовых стыков при величине статической нагрузки при стыковом зазоре 5 мм; 10 мм; 20 мм



На основании обработки приведенных выше результатов экспериментальных работ была получена эмпирическая зависимость изгибной жесткости рельсовой

нити в зоне стыка от расстояния между рельсовыми опорами, момента натяжения гаек стыковых болтов и величины стыкового зазора:

$$D_{зст}(M, \Delta, l_{шт}) = (6,47 \times 10^{-6} \times l_{шт}^{1,3416})(1,523 - 1,308 \times 10^{-3} \times M)(1 + 40,403 \times \Delta), \quad (2)$$

где  $l_{шт}$  – расстояние между опорами (м);

$M$  – уровень натяжения гаек стыковых болтов (Н/м);

$\Delta$  – величина стыкового зазора (м).

Коэффициент относительной жесткости рельсовых нитей в зоне стыка и вне зоны стыка можно определять по выражению:

$$k = \frac{D_{зст}}{D_{зрел}}. \quad (3)$$

Тогда искомая эмпирическая зависимость коэффициента относительной изгибной жесткости будет иметь вид:

$$k = 1,244 \times l_{шт}^{0,1299}(1,523 - 1,308 \times 10^{-3} \times M)(1 + 40,403 \times \Delta), \quad (4)$$

здесь все обозначения прежние.

Полученная информация позволяет выполнять исследования численными методами взаимодействия пути и подвижного состава в зонах рельсовых стыков, в том числе в особых условиях эксплуатации промышленных железных дорог.

**Выводы.** Таким образом, на основании проведенных экспериментальных работ и их последовательной обработки удалось установить коэффициент относительной изгибной жесткости рельсовой нити в зоне стыка по отношению к целому рельсу с учетом влияния расстояния между опорами, уровня натяжения гаек стыковых болтов и величины стыкового зазора.

#### *Список использованных источников*

1. Даренский, А.Н. Особенности расчетов взаимодействия пути и подвижного состава в зоне рельсовых стыков при дискретном подрельсовом основании [Текст] / А.Н. Даренский, А.В. Клименко // Вісник СНУ ім. Даля. – Луганськ, 2013. – № 9 (198). – Ч. 1.
2. Вериго, М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М.Ф. Вериго, А.Я. Коган. – М.: Транспорт, 1986 – 589 с.
3. Шахунянц, Г.М. Железнодорожный путь [Текст]: монография / Г.М. Шахунянц – М.: Транспорт, 1987 – 497 с.

Даренський Олександр Миколайович, доктор технічних наук, професор кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-58.

Клименко Андрій Володимирович, асистент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-58. E-mail: iandrew.ua@gmail.com.

Darenskiy Alexander, doct. of techn. sciences, professor Department of the way track hazyaystva Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-58.

Andrey Klimenko assistant Department of the way and track facilities Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-58. E-mail: iandrew.ua @ gmail.com.

УДК 666.9.015.42:666.971.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА ГИДРАТАЦИИ ИЗВЕСТИ РАСТВОРАМИ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Д-р хим. наук А.Н. Плугин, д-р техн. наук Г.Н. Шабанова,  
канд. техн. наук С.А. Киселева

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ГІДРАТАЦІЇ ВАПНА РОЗЧИНАМИ ЕЛЕКТРОЛІТІВ

Д-р хім. наук А.М. Плугін, д-р техн. наук Г.М. Шабанова,  
канд. техн. наук С.А. Кисельова

## FEATURES OF LIME HYDRATATION PROCESS BY ELECTROLYTE SOLUTIONS

Doct. of chem. sciences A. Plugin, doct. of techn. sciences G. Shabanova,  
cand. of techn. sciences S. Kiseleva

*В статье рассмотрены особенности процесса гидратации извести растворами электролитов, проанализировано их влияние на параметры гашения извести и кремнеземсодержащего вяжущего – температуру и время гашения. Разработано представление о механизме действия растворов электролитов на параметры гашения и процесс гидратации извести, основанное на отношении произведения концентраций ионов, составляющих твердое вещество, к произведению растворимости данного вещества.*

**Ключевые слова:** известь, гидратация, температура гашения, время гашения, электролиты, ионы, произведение растворимости.

*У статті розглянуто особливості процесу гідратації вапна розчинами електролітів, виконано аналіз їх впливу на параметри гашення вапна та кремнеземвмісного в'язучого. Розроблено уявлення про механізм дії розчинів електролітів на параметри гашення й процес гідратації вапна, яке базується на відношенні добутку концентрацій іонів, що складають тверду речовину, до добутку розчинності даної речовини.*

**Ключові слова:** вапно, гідратація, температура гашення, час гашення, електроліти, іони, добуток розчинності.

*In the article, the features of lime hydration process by electrolyte solutions are considered. Their influence on the lime slaking parameters (temperature and time) as well as silica containing binder is analyzed. Mechanism of electrolyte solutions action on the parameters of slaking and hydration process of lime is proposed. Given fact is based on the ratio between concentrations product of ions consisting of solid substance and solubility product of given one.*

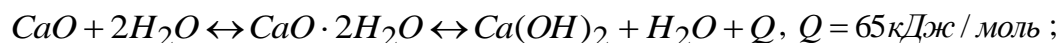
**Keywords:** lime, hydration, temperature of slaking, time of slaking, electrolytes, ions, solubility product.

**Постановка проблеми.** Процессы гидратации в системе  $CaO - H_2O$ , являющейся частью системы  $CaO - SiO_2 - H_2O$ , имеют большое практическое значение при разработке современных строительных материалов. Известь

является одним из основных компонентов вяжущего силикатных сырьевых смесей, что делает актуальной модификацию вяжущих материалов в системе  $CaO - H_2O$ . Такая модификация вяжущих может быть достигнута путем введения различных

добавок, например, хорошо растворимых неорганических соединений, что позволит регулировать кинетику процессов, протекающих в системе  $CaO - SiO_2 - H_2O$ .

**Анализ последних исследований и публикаций.** Процесс гидратации  $CaO$  исследовался многими авторами [1-4]. На кинетику процесса и свойства образовавшихся гидратов влияют многие факторы, в том числе температура,  $pH$  раствора и наличие определенных ионов. Модификация веществ в системе  $CaO - H_2O$  растворами электролитов, например,  $NaOH$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $K_2SO_4$ ,  $MgSO_4$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $K_2CO_3$ ,  $Na_2SiO_3$ ,  $H_3BO_3$ , влияет на константу скорости гидратации за счет изменения растворимости  $Ca(OH)_2$



– образующийся на поверхности частиц извести малорастворимый  $Ca(OH)_2$  диссоциирует на ионы  $Ca^{2+}$  и  $OH^-$ , переносящиеся в процессе диффузии с поверхности частиц извести в раствор [5, 8].

При гашении избытком воды  $Ca(OH)_2$  образует суспензию с частицами коллоидных размеров (от  $2 \cdot 10^{-8}$  до  $5 \cdot 10^{-7}$  м). На поверхности дисперсной фазы адсорбируются молекулы воды, образуя положительно заряженные мицеллы, способные взаимодействовать, например, с частицами кремнезема, несущими на поверхности отрицательный заряд. При низких водо-известковых соотношениях гидратацию, в основном, обуславливает вода, механически удерживаемая в коагуляционной сетке геля  $Ca(OH)_2$  [6, 9, 10].

Кинетика гашения извести изменяется в присутствии добавок электролитов. Процесс гидратации ускоряется при введении добавок, образующих более растворимые, по сравнению с  $Ca(OH)_2$ , соединения и замедляется добавками, образующими малорастворимые оболочки на поверхности частиц извести [8]. По некоторым данным, добавка  $NaOH$

и образования нерастворимых комплексов [5-7].

При взаимодействии извести с водой, сразу после их контакта, происходит растворение  $CaO$  с образованием кальций гидроксида, при этом процесс можно подразделить на следующие стадии:

– впитывание воды с образованием метастабильной кристаллогидратной формы – оксигидрата кальция  $CaO \cdot 2H_2O$ , причем порошок исходной извести уплотняется;

– оксигидрат кальция самопроизвольно разлагается с выделением большого количества тепла, превращаясь в порошкообразный продукт:

ускоряет гидратацию извести, по другим сведениям – замедляет [6, 11]. Добавки  $K_2CO_3$  и  $MgSO_4$  замедляют гашение извести, добавки солей хлоридов металлов повышают растворимость извести и увеличивают скорость ее гашения за счет образования более растворимых комплексных солей [12-14]. Электролиты с многовалентными анионами ( $K_2SO_4$ ,  $CaSO_4$  и др.) приводят к замедлению гидратации, а с одновалентными ( $KCl$ ,  $CaCl_2$ ,  $KNO_3$  и др.) – препятствуют образованию пленки и ускоряют гидратацию [8]. Также известно, что добавки кремнезема и глинозема повышают растворимость извести [6].

**Постановка цели и задачи исследования.** Целью данного исследования является установление механизма влияния электролитов с различными катионной и анионной составляющими на процесс гидратации извести, что позволит целенаправленно управлять кинетикой процесса гидратации в системе  $CaO - H_2O$ .

**Основная часть исследования.** Для достижения поставленной цели исследовано влияние добавок некоторых хорошо растворимых неорганических соединений на физико-технические

## Будівельні матеріали та конструкції

параметры гашения извести и вяжущего, состоящего из смеси извести и кремнеземсодержащего отхода мелющих тел.

В исследовании применялись материалы:

– комовая известь (ООО «Завод ЗЖК» корпорации "Харьковские строительные материалы»);

– тонкодисперсный кремнеземистый отход производства мелющих тел (г. Славянск, Донецкая обл.), в котором 92 масс.% составляет  $SiO_2$  в виде  $\beta$ -кварца, а удельная поверхность отхода –  $1710 \text{ м}^2/\text{кг}$  [15];

– добавки 2 % растворов солей  $K_2CO_3$ ,  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ,  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ,  $NaOH$ ,

$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ,  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ ,  $CaCl_2$  (в пересчете на безводные соединения).

Скорость и температура гашения извести и вяжущего (отношение компонентов «известь : отход мелющих тел = 1 : 1») определялись по стандартной методике [16]. Дисперсность извести соответствует проходу сквозь сито  $900 \text{ отв}/\text{см}^2$ , вяжущего – проходу сквозь сито № 008. Данные о соединениях, образующихся в растворе извести с добавками, произведения их растворимости, а также результаты исследований представлены в таблице.

Таблица

Зависимость времени и температуры гашения от вида добавки-электролита

Вид добавки электролита	Образующиеся с $CaO$ соединения	Значение произведения растворимости $PP$	Источник	Параметры гашения			
				для извести		для вяжущего	
				температура, $^{\circ}C$	время, мин	температура, $^{\circ}C$	время, мин
$H_2O$	$Ca(OH)_2$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	[17]	96	2	57	3,5
$NaOH$	$NaOH$ $Ca(OH)_2$	– $3,1 \cdot 10^{-5}$	– [17]	64	9,5	62	3,5
$K_2CO_3$	$CaCO_3$ $KOH$	$4,8 \cdot 10^{-9}$ –	[17, 18] –	77	5,5	62	4,0
$MgCl_2$	$Mg(OH)_2$ $CaCl_2$	$1,2 \cdot 10^{-11}$ –	[19] –	72	2,0	68	1,0
$CaCl_2$	$Ca(OH)_2$ $CaCl_2$	$3,1 \cdot 10^{-5}$ –	[17] –	85	1,0	62	1,0
$BaCl_2$	$Ca(OH)_2$ $Ba(OH)_2$ $CaCl_2$	$3,1 \cdot 10^{-5}$ $5,0 \cdot 10^{-3}$ –	[17] [20] –	84	2,0	61	2,5
$AlCl_3$	$Al(OH)_3$ $CaCl_2$	$6,0 \cdot 10^{-13}$ –	[21] –	92	1,5	77	1,0
$MgSO_4$	$Mg(OH)_2$ $CaSO_4$	$1,8 \cdot 10^{-11}$ $6,1 \cdot 10^{-5}$	[19] [17]	60	10,5	49	13,5
$Al_2(SO_4)_3$	$CaSO_4$ $Al(OH)_3$	$6,1 \cdot 10^{-5}$ $6,0 \cdot 10^{-13}$	[17] [21]	88	2,5	73	2,5

Анализ результатов исследований показал, что все рассмотренные добавки-электролиты снизили температуру гашения

извести относительно температуры гашения водой ( $96^{\circ}C$ ).

Добавки  $MgSO_4$ ,  $NaOH$ ,  $K_2CO_3$  выступают замедлителями процессов гидратации извести. Минимальные значения параметров гашения ( $60^\circ C$ ,  $10,5$  мин) наблюдаются при использовании раствора  $MgSO_4$ . При взаимодействии извести с раствором  $MgSO_4$  возможно протекание реакции:  
 $Ca(OH)_2 + MgSO_4 \rightleftharpoons CaSO_4 + Mg(OH)_2$ .  
 Сравнение значений произведений растворимости  $PP_{Ca(OH)_2}$ ,  $PP_{CaSO_4}$  и  $PP_{Mg(OH)_2}$  показало, что значение  $PP_{Mg(OH)_2} = 1,2 \cdot 10^{-11}$  минимально, что ведет к снижению  $pH$  и повышению растворимости  $Ca(OH)_2$ . После полного связывания катионов  $Mg^{2+}$  в  $Mg(OH)_2$  образуется  $CaSO_4$ , что ведет к образованию малорастворимой пленки на поверхности зерен  $Ca(OH)_2$  и, как следствие – к уменьшению температуры и времени гашения извести.

В присутствии  $NaOH$  температура гашения снижается с  $96$  до  $64^\circ C$ , а время гашения – с  $2$  до  $9,5$  мин. Увеличение концентрации ионов  $OH^-$  ведет к соответствующему уменьшению концентрации ионов  $Ca^{2+}$ , так как значение

$$PP_{Ca(OH)_2} = [Ca^{2+}] \cdot [OH^-]^2 = 3,1 \cdot 10^{-5}$$

является константой. Это замедляет скорость образования и количество  $Ca(OH)_2$  в растворе.

В присутствии добавки  $K_2CO_3$  протекает реакция  $K_2CO_3 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 + 2KOH$ , сопровождающаяся образованием малорастворимого кальций карбоната со значением  $PP_{CaCO_3} = 4,8 \cdot 10^{-9}$ , существенно меньшим, по сравнению с  $PP_{Ca(OH)_2} = 3 \cdot 10^{-5}$ . Это ведет к уменьшению  $pH$  и растворению  $Ca(OH)_2$ , что замедляет скорость гашения извести с  $2$  до  $5,5$  мин, а температуру – с  $96$  до  $77^\circ C$ .

По сравнению с рассмотренными добавками, раствор  $Al_2(SO_4)_3$  ускоряет гашение извести до  $2,5$  мин. Механизм действия  $Al_2(SO_4)_3$ , по аналогии с вышесказанным для  $MgSO_4$  и  $K_2CO_3$ , по нашему мнению, можно объяснить образованием малорастворимого  $CaSO_4$ , однако сравнение произведений растворимости  $PP_{CaSO_4} = 6,1 \cdot 10^{-5}$  и  $PP_{Ca(OH)_2} = 3,1 \cdot 10^{-5}$  не позволяет сделать такой вывод. Величина произведения концентраций ионов  $Ca^{2+}$  и  $OH^-$  в растворе извести  $[(6,1 \cdot 10^{-5})^{0,5} \cdot (3,1 \cdot 10^{-5})^{0,5} = 4,3 \cdot 10^{-5}]$  меньше, чем произведение растворимости  $PP_{CaSO_4} = 6,1 \cdot 10^{-5}$ , что исключает образование осадка  $CaSO_4$ . Следовательно, влияние добавки  $CaSO_4$  на гидратацию извести обусловлено нахождением  $CaSO_4$  в растворе в ионном состоянии. Изменение скорости гашения извести связано, видимо, только с уменьшением толщины двойного электрического слоя на частицах извести, и, соответственно, с некоторым ускорением гашения извести на стадии диффузионного отвода продуктов ее растворения за счет сокращения пути диффузии.

Анализ влияния растворов хлоридов на параметры гашения извести показал, что в зависимости от природы катиона, все растворы хлоридов уменьшают температуру гашения извести, практически не изменяя кинетики (времени) гашения. Раствор  $AlCl_3$  изменяет температуру гашения в наименьшей степени (с  $96$  до  $92^\circ C$ ),  $MgCl_2$  – в наибольшей (до  $72^\circ C$ ), а растворы  $BaCl_2$  и  $CaCl_2$  – примерно одинаково (до  $84$  и  $85^\circ C$  соответственно). Наибольшее влияние раствора  $MgCl_2$  обусловлено невозможностью образования  $CaCl_2$  (связанного с его высокой растворимостью) и связыванием ионов  $OH^-$  в  $Mg(OH)_2$ . Наименьшее влияние раствора  $AlCl_3$  обусловлено образованием в щелочной среде не ионов  $OH^-$ , а ионов

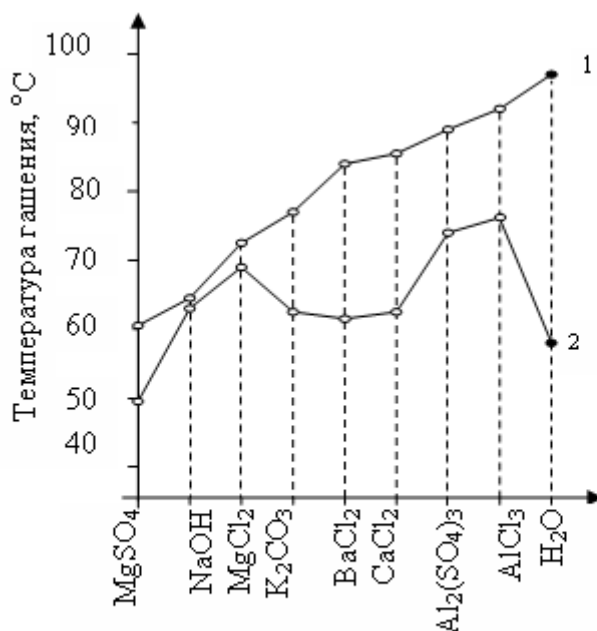
$Al(OH)_4^-$ , не являючися общими для  $Ca(OH)_2$  и не изменяющих его ионного произведения [22]. Добавка раствора  $BaCl_2$  уменьшает температуру гашения извести незначительно, что связано с невозможностью образования  $Ba(OH)_2$ , произведение растворимости которого ( $5 \cdot 10^{-3}$ ) значительно выше произведения растворимости  $Ca(OH)_2$  ( $3,1 \cdot 10^{-5}$ ), в связи с чем состав твердой фазы остается неизменным. Время гашения снижается возможно за счет некоторого увеличения скорости диффузионного отвода продуктов растворения извести. При добавлении раствора  $CaCl_2$  никаких соединений, кроме  $Ca(OH)_2$ , в растворе не возникает. Введение добавки повышает концентрацию ионов  $Ca^{2+}$ , это приводит к снижению концентрации ионов  $OH^-$ , а следовательно и  $pH$  раствора, вызывая растворение  $Ca(OH)_2$ , что уменьшает время гашения извести до 1 мин.

Рассмотрим влияние растворов электролитов на процесс гидратации извести в вяжущем. Анализ результатов,

представленных в таблице, выявил существенное различие в характеристиках гидратации вяжущего с добавкой  $SiO_2$  по сравнению с гидратацией извести без этой добавки. Так, при использовании воды температура гашения вяжущего уменьшилась с 96 до 57 °C по сравнению с гашением извести без добавки  $SiO_2$ .

При использовании всех электролитов, за исключением магний сульфата, температура гашения вяжущего оказалась выше 57 °C – температуры гашения вяжущего водой, что можно объяснить повышением растворимости извести в присутствии добавки тонкодисперсного кремнезема [15]. Самое значительное снижение температуры гашения вяжущего наблюдается при использовании раствора  $MgSO_4$ : температура при этом снизилась с 57 °C до 49 °C.

Добавки растворов  $K_2CO_3$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $AlCl_3$ ,  $NaOH$ ,  $MgCl_2$ ,  $BaCl_2$ ,  $CaCl_2$  повысили экзотермию гидратации вяжущего (см. рисунок).



Вид добавки електроліта, концентрація – 2%

Рис. Влияние добавки электролита на температуру гашения:  
1 – извести  $CaO$ , 2 – вяжущего ( $CaO$  – 50 масс.%, отход  $SiO_2$  – 50 масс.%)

Наибольшее увеличение температуры гашения наблюдается при использовании растворов, содержащих многовалентный катион  $Al^{3+}$ :  $Al_2(SO_4)_3 - 73^\circ C$ ,  $AlCl_3 - 77^\circ C$ . В ряду хлоридов двухвалентных металлов ( $+_{12}Mg \rightarrow +_{20}Ca \rightarrow +_{56}Ba$ ) температура гашения уменьшается с увеличением заряда ядра атома металла: 68, 62 и  $61^\circ C$  соответственно.

Что касается времени гашения вяжущего, то при использовании воды оно составило 3,5 мин. В ряду выбранных электролитов, замедлителями процесса гидратации являются раствор  $MgSO_4$  (13,5 мин) и раствор  $K_2CO_3$  (4 мин). Раствор  $NaOH$  на время гашения не повлиял, что может быть связано с его химическим взаимодействием с активной кремнеземсодержащей добавкой:  $NaOH + SiO_2 = NaSiO_3 + H_2O$ .

Растворы, содержащие многозарядные анионы  $SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$  замедляют гидратацию извести в вяжущем по сравнению с добавками, содержащими однозарядный хлорид-ион. Все растворы хлоридов металлов ускорили взаимодействие извести в вяжущем с

водой, наиболее существенно время гашения снизилось при использовании растворов  $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$  и  $AlCl_3$  (по 1,0 мин).

**Выводы.** Исследовано влияние добавок-электролитов на параметры гашения извести и известково-кремнеземистого вяжущего (температуру и время гашения). Разработано представление о механизме действия растворов электролитов на параметры гашения и процесс гидратации извести, основанное на отношении произведения концентраций ионов, составляющих твердое вещество, к произведению растворимости данного вещества: произведение концентраций  $C_{Ca^{2+}} \cdot C_{OH^-}$  ионов  $Ca^{2+}$  и  $OH^-$  в жидкой фазе сырьевой смеси силикатного кирпича равно произведению растворимости  $PP_{Ca(OH)_2}$  в растворе  $Ca(OH)_2$ . Добавки-электролиты изменяют величину произведения концентраций ионов  $C_{Ca^{2+}} \cdot C_{OH^-}$ , тогда как произведение растворимости  $PP_{Ca(OH)_2}$  остается неизменным.

### Список использованных источников

1. Knibbs N.V.S. Lime and limestone: the Origin, Occurrence, Properties, Chemistry, Analysis and Testing of Limestone, Dolomite and their Products, and theory of lime – burning and Hydration [Text] / N.V.S. Knibbs, B.J. Gee. – Canada: H.L. Hall Corporation LTD, 1974. – 232 p.
2. Осин, Б.В. Условия высокопрочного гидратационного твердения извести [Текст] / Б.В. Осин, В.А. Ульянова, В.В. Волкова // Изв. вузов.: Строительство и архитектура. – 1973. – № 10. – С. 73 – 76.
3. Лашенко, Н.В. Твердофазовая гидратация воздушной извести [Текст] / Н.В. Лашенко // Строительные материалы. – 1981. – № 11. – С. 31.
4. Serris E. Study of hydration of CaO powder by gas-solid reaction [Text] / E. Serris, L. Favregeon, M. Pijolat [end oth.] // Cem. and Concr. Res. – 2011. – Vol. 41, Issue 10. – P. 1078 – 1084.
5. Якіменко, Я.Б. Кінетичні параметри гідратації CaO в розчинах електrolітів [Текст] / Я.Б. Якіменко, В.А. Волошинець // Технології та дизайн. – №1 (2). – 2012. – С. 1 – 11.
6. Бутт, Ю.М. Твердение вяжущих при повышенных температурах [Текст] / Ю.М. Бутт, Л.Н. Рашкович. – М.: Госстройиздат, 1969. – 232 с.
7. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон [Текст] / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.

8. Ведь, Е.И. Физико-химические основы технологии автоклавных строительных материалов [Текст] / Е.И. Ведь, Г.М. Бакланов, Е.Ф. Жаров. – К.: Будівельник, 1966. – 212 с.
9. Нестерова, Л.Л. Микроструктура цементного камня [Текст] / Л.Л. Нестерова, И.Г. Лугинина, Л.Д. Шахова. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. – 103 с.
10. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества [Текст]: пособ. для студ. вузов / А.В. Волженский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
11. Будников, П.П. Определение активности извести и ускорение ее гашения [Текст] / П.П. Будников, Л.Г. Гулинова, М.И. Гершман // Строительные материалы. – 1956. – № 7. – С. 16-25.
12. Кржеминский, С.А. К теории интенсификации процесса автоклавного твердения силикатных материалов на основе извести [Текст] / С.А. Кржеминский // Сб. тр. РОСНИИМС. – 1953. – № 4. – С. 127-137.
13. Будников, П.П. К теории интенсификации процесса автоклавного твердения силикатных материалов на основе извести [Текст] / П.П. Будников, М.А. Матвеев, С.И. Юрчак // Доклады АН СССР. – 1952. – Т. 84, № 5. – С. 1021-1024.
14. Волженский, В.А. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов [Текст] / В.А. Волженский, И.А. Иванов, Б.Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 255 с.
15. Корогодская, А.Н. Использование отходов химического производства при изготовлении барийсодержащих цементов на их основе [Текст] / А.Н. Корогодская, Г.Н. Шабанова, И.В. Гуренко и др. // Строительные материалы. – 2004. – № 3. – С. 14-15.
16. Бутт, Ю.М. Практикум по химической технологии вяжущих материалов [Текст] / Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1973. – 500 с.
17. Алексеев, В.Н. Количественный анализ [Текст] / В.Н. Алексеев. – М.: Госхимиздат, 1963. – 568 с.
18. Полинг, Л.К. Общая химия [Текст] / Л.К. Полинг; пер. с англ. В.М. Сахарова; под ред. М.Х. Карапетьянца. – 3-е изд. – М.: Мир, 1974. – 846 с.
19. Надеинский, Б.П. Теоретические обоснования и расчеты в аналитической химии [Текст] / Б.П. Надеинский. – М.: Высшая школа, 1959. – 444 с.
20. Технический анализ [Текст] / К.И. Годовская, Л.В. Рябина, Г.Ю. Новик, М.М. Гернер. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1972. – 488 с.
21. Киреев, В.А. Курс физической химии: учебн. для хим. спец. вузов [Текст] / В.А. Киреев. – М.: Госхимиздат, 1955. – 832 с.
22. Глинка, Н.Л. Общая химия: учеб. пос. для студ. вузов [Текст] / Н.Л. Глинка. – 19-е изд., перераб. – М., 1977. – 720 с.

---

Плугін Аркадій Миколайович, доктор хімічних наук, професор кафедри будівельних матеріалів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-63.

Шабанова Галина Миколаївна, доктор технічних наук, професор кафедри технології кераміки, вогнеупорів, скла та емалей Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Тел.: (057) 707-60-51. E-mail: gshabanova@kpi.kharkov.ua.

Кисельова Світлана Олександрівна, кандидат технічних наук кафедри охорони праці та навколишнього середовища Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-57. E-mail: kiselyovasa@ukr.net.

Plugin Arkady, doct. of chem. sciences, professor department of building materials Ukrainian State Academy of Railway Transport . Tel. : (057 ) 730 -10 - 63.

Shabanova Galina, doct. of techn. sciences, department of technology professor of ceramics, refractories , glass and emaley National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Tel. : (057 ) 707-60-51. E-mail: gshabanova@kpi.kharkov.ua.

Kiseleva Svetlana, cand. of techn. sciences department of Occupational Health and the Environment Ukrainian State Academy of Railway Transport . Tel. : (057 ) 730-10-57 . E-mail: kiselyovasa@ukr.net.

---



УДК 66.066

**ВПЛИВ ЧАСТОТИ КОЛИВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕС  
КОАЛЕСЦЕНЦІЇ ВОДИ В РОБОЧІЙ РІДИНІ**

Канд. техн. наук С.В. Воронін, асп. І.Ю. Сафонюк, магістрант А.В. Олійник

**ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС  
КОАЛЕСЦЕНЦИИ ВОДЫ В РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ**

Канд. техн. наук С.В. Воронин, асп. И.Ю. Сафонюк, магистр А.В. Олейник

**EFFECT FREQUENCY VIBRATIONS OF ELECTRIC FIELD ON THE PROCESS  
WATER COALESCENCE IN THE WORKING FLUID**

Cand. of techn. sciences C. Voronin, postgraduate student I. Safonyuk,  
master student A. Oliyinik

*Наведені результати експериментальних досліджень процесу коалесценції води в індустріальній оливі під дією змінного електричного поля. Встановлена залежність часу освітлення оливи від частоти поля.*

**Ключові слова:** емульсія, вода, час освітлення, коалесценція, седиментація, електричне поле, частота.

*Приведены результаты экспериментальных исследований процесса коалесценции воды в индустриальном масле под действием переменного электрического поля. Установлена зависимость времени осветления масла от частоты поля.*

**Ключевые слова:** эмульсия, вода, время осветления, коалесценция, седиментация, электрическое поле, частота.

*The paper presents the results of experimental studies of the process of coalescence of water in industrial oils under the influence of an alternating electric field. Dependence of light oil on the frequency of the electric field is established. Maintaining the desired purity of the working fluid is an important factor in the reliability of transmissions. One of the common pollutants fluids is water. Water in the oil is dispersed in the state. The most slowly deposited droplets with a diameter of about 5 microns. However, the process of settling water can be affected by treatment in an electric field. The reason for this is large difference of dielectric dispersion phases. The experimental data can be used to develop an electrical method of cleaning fluid for hydraulic machinery and other petroleum-based oils. The key issue is to achieve maximum performance purification process.*

**Keywords:** emulsion, water, time lighting, coalescence, sedimentation, electric field frequency.

**Вступ.** Підтримка заданої чистоти робочої рідини (РР) є важливим фактором надійності гідропривода. Одним із поширених забруднювачів РР є вода. Така вода може перебувати у вільному стані, розчиненому (знаходиться в колоїдному стані за рахунок полярних зв'язків) або бути емульсованою (желеподібний стан),

яка не відстоюється та призводить до утворення гідроген-водневих фракцій, корозії металічних елементів гідропривода, окислення РР, підвищення спінювання та погіршення дії присадок, що в свою чергу призводить до пришвидшеного зносу [1].

Найбільш поширеними методами відділення води від нафтових олив є

центрифугування, термовакuumне випаровування води, відстоювання, відділення за допомогою адсорбуючих полімерів. Однак ці методи не завжди є ефективними [2], оскільки вони мають або низьку продуктивність, або високу енергоємність та вартість.

**Постановка проблеми.** РР гідропривода являє собою неполярний діелектрик з відносною діелектричною проникністю 2...3, в якій розчинений сильно полярний діелектрик – вода, діелектрична проникність якої в 40 разів вища. Така суттєва різниця між властивостями РР і води надає підстави для дослідження та розроблення електричних методів очищення РР.

При застосуванні електричних методів потрібно проводити дослідження, спрямовані на визначення раціональних параметрів електричного поля, при яких процес видалення води з РР буде максимально ефективним, тобто коли має місце висока продуктивність процесу, висока тонкість очищення та малі енерговитрати.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес злиття крапель дисперсної системи (системи, яка складається із фаз, які не змішуються і не реагують хімічно між собою) називається коалесценцією. Коалесценція води в зовнішньому електричному полі досліджувалася вітчизняними вченими ще в

50-х – 60-х роках [3,4]. З тих пір цей процес застосовується в нафтопереробній галузі, однак вплив фактора чистоти в середовищі оливи не досліджувався.

Головним завданням при очищенні оливи від води є видалення крапель розміром менше 5 мкм. На такі краплі дія Броунівських сил перевищує дію гравітаційних сил, що унеможливує їх осідання. В такому випадку, щоб покращити седиментацію (осідання часток дисперсної фази під дією гравітаційного поля) води в оливі, необхідно створити умови для об'єднання цих крапель у більш великі. Якщо для об'єднання крапель необхідний їхній безпосередній контакт, то основною умовою ефективного укрупнення є:

$$A \geq D - d, \quad (1)$$

де  $A$  – амплітуда коливань краплі;

$D$  – відстань між випадковими сусідніми краплями;

$d$  – діаметр краплі.

Відстань між краплями (рис. 1) залежить від концентрації води в оливі та міри дисперсності. Амплітуда коливань, в свою чергу, – від геометричних розмірів крапель, в'язкості, густини та параметрів зовнішнього електричного поля, а саме напруженості та частоти.

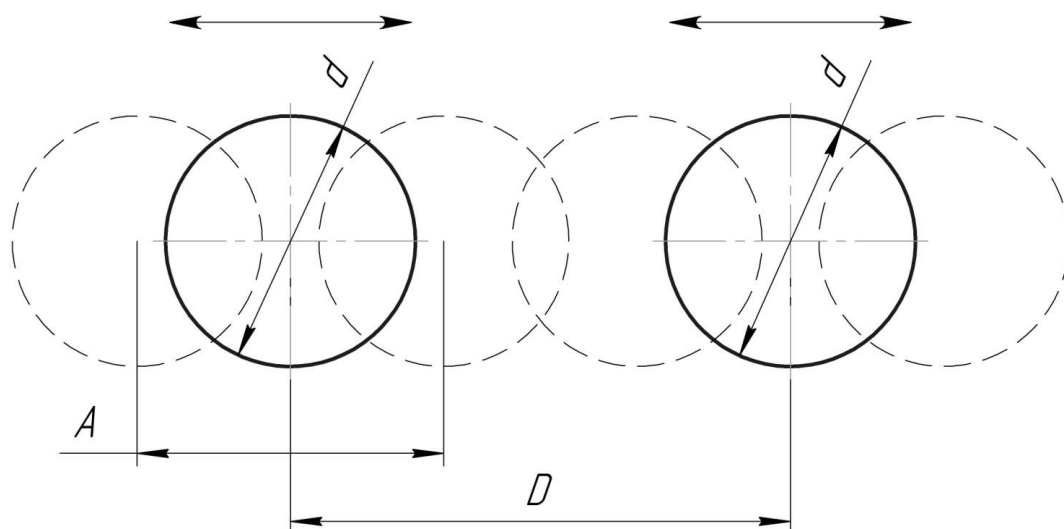


Рис. 1. Схема руху крапель води розміром менше 5 мкм

Змінюючи параметри зовнішнього поля, можна впливати на частоту та амплітуду коливань мікрокрапель [3, 4], однак для досягнення максимальної продуктивності процесу видалення води з робочих рідин потрібно встановлювати раціональні значення параметрів поля для кожного типу оливи та ступеня початкової дисперсності води.

**Метою** дослідження є визначення впливу частоти змінного електричного поля на процес коалесценції часток води в РР.

**Обладнання та методика дослідження.** Дослідженням піддавалась емульсія індустріальної оливи И-20 ГОСТ 20799-88 (90 %) і технічної води (10 %). Оскільки процес об'єднання крапель довготривалий і не має чіткої грані зупинки, за показовий час був прийнятий час освітлення емульсії.

Обладнання для визначення часу освітлення складається з мікроскопа МИМ-7, генератора електричного сигналу високої напруги, секундоміра. Схема розташування пробки емульсії та підводу напруги до електродів наведена на рис. 2.

Методика визначення часу освітлення емульсії полягає в наступному. Встановити необхідну частоту коливань та напругу на генераторі частоти 1. На знежирене та висушене тонке скло 3 лабораторної установки помістити одну краплю підготовленої емульсії. Навести фокус окуляра мікроскопа 2 на середину краплі. Одночасно ввімкнути генератор частоти 1 та секундомір. Зафіксувати час освітлення. Занести отримані дані до лабораторного протоколу.

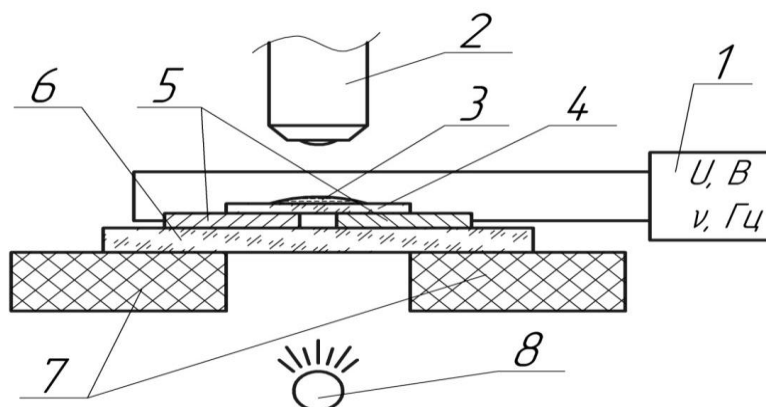


Рис. 2. Схема лабораторної установки:  
 1 – генератор частоти; 2 – окуляр мікроскопа; 3 – пробка емульсії;  
 4 – тонке скло; 5 – електроди; 6 – предметне скло;  
 7 – станина мікроскопа; 8 – джерело світла

**Обговорення результатів.** За отриманими експериментальними даними побудовані рівняння регресії, які відображають зміну часу початку освітлення та часу повного освітлення в діапазоні від 30 Гц до 3 МГц. Рівняння, що описує початок освітлення:

$$t_1 = 179 v^{-0.21}, \quad (2)$$

рівняння, що описує час повного освітлення:

$$t_2 = 356 v^{-0.185}, \quad (3)$$

де  $t_1$  – час початку освітлення, с;  
 $t_2$  – час повного освітлення, с;  
 $v$  – частота коливання зовнішнього електричного поля, Гц.

Результати досліджень показують, що частота зовнішнього електричного поля суттєво впливає на процес очищення оливи. На підставі розрахунків отримані графіки зміни часу від частоти поля (рис. 3). Встановлена нелінійна залежність часу

освітлення емульсії від частоти. Так при частоті, близькій до 300 Гц, освітлення емульсії починає спостерігатися після 50 с і триває довгий час (близько 5 хв), а при частоті 3 МГц освітлення починається після 7 с і триває протягом 9 с.

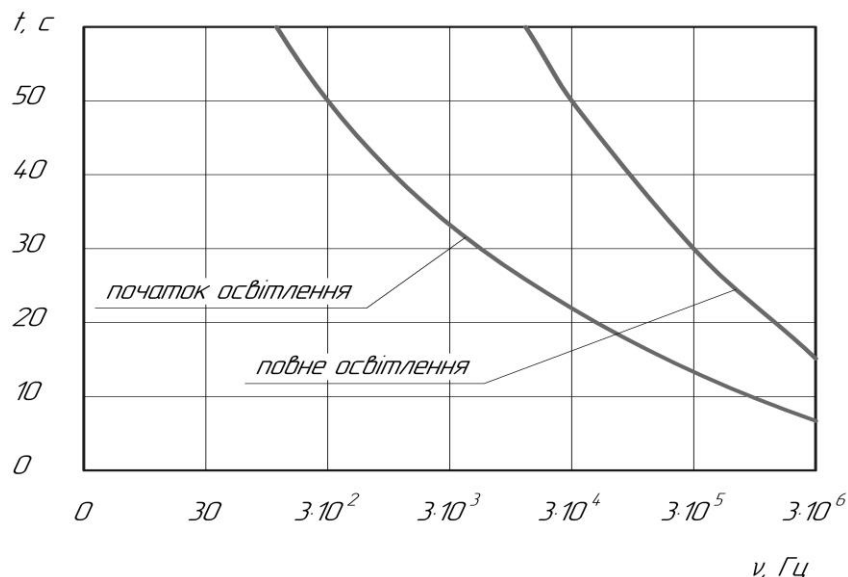


Рис. 3. Залежність часу освітлення емульсії від частоти коливань зовнішнього електричного поля

Такі дані дозволяють встановити швидкість коалесценції води, а також її зміну залежно від частоти зовнішнього поля. Наприклад, відносна швидкість коалесценції при частоті 300 кГц складає  $0,02 \text{ с}^{-1}$ , а при частоті 3 МГц –  $0,143 \text{ с}^{-1}$ .

### Висновки

1. Частота електричного поля є суттєвим фактором, що впливає на процес

коалесценції води в РР. Найшвидше такий процес протікає при частотах 1-3 МГц.

2. Отримані експериментальні дані можуть бути використані при розробленні електричного способу очищення РР для гідроприводів машин та інших оливи на нафтовій основі. Ключовим питанням залишається досягнення максимальної продуктивності процесу очищення.

### Список використаних джерел

1. John Sander. Water Pollution [Електронний ресурс] / John Sander // Lubrication Engineers International AG. – Режим доступу: <http://le-russia.ru/novosti-i-media/zagryaznenie-vodoy>
2. Лысиков, Е.Н. Анализ эффективности современных методов очистки жидких смазочных сред на углеводородной основе [Текст] / Е.Н. Лысиков, С.Н. Солонинченко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 115. – С. 117–121.
3. Панченков, Г.М. Поведение эмульсий во внешнем электрическом поле [Текст] / Г.М. Панченков, Л.К. Цабек. – М.: Химия, 1969. – 190 с.

4. Мартыненко, А.Г. Очистка нефтепродуктов в электрическом поле постоянного тока [Текст] / А.Г. Мартыненко, В.П. Коноплев, Г.П. Ширяева. – М.: Химия, 1974. – 87 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Н.П. Ремарчук

---

Воронін Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.:(057) 730-10-66.  
E-mail: voronin.sergey@ukr.net

Сафонюк Іван Юрійович аспір. кафедра будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (093)303-31-38. E-mail: jonisaf@meta.ua.

Олійник Андрій Васильович магістрант кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 730-10-72.

Voronin Sergey Volodimirovich, cand. of techn. sciences department of budivelnih , koliynih i vantazhno - rozvantazhuvalnih machines Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel. : (057 ) 730-10-66.

E-mail: voronin.sergey @ ukr.net

Safonyuk Ivan Yuriyovich, postgraduate of department budivelnih, koliynih i vantazhno - rozvantazhuvalnih machines Ukraine State Academy of Railway Transport.Tel. : (093 ) 303-31-38.E-mail: jonisaf@meta.ua.

Oliyynik Andriy Vasylovych, master student of department budiveln, koliynih i vantazhno - rozvantazhuvalnih machines Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel. : 730-10-72

УДК 691.3

### **ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ В ОБВОДНЕННОМ БЕТОНЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА**

**Канд. техн. наук Ал.А. Плагин, д-р хим. наук А.Н. Плагин, д-р техн. наук А.А. Плагин, ассист. А.А. Конев, А.А. Забияка**

### **ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В ОБВОДНЕНОМУ БЕТОНІ ПРИ ДІЇ ПОСТІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ**

**Канд. техн. наук О.А. Плагін, д-р хім. наук А.М. Плагін, д-р техн. наук А.А. Плагін, асист. О.А. Конєв, О.А. Забіяка**

### **THE ORIGINATION OF CRACKS IN THE WATERED CONCRETE UNDER THE INFLUENCE OF A DIRECT CURRENT**

**Cand. of techn. sciences Al.A. Plugin, doct. of chem. sciences A.N. Plugin, doct. of techn. sciences A.A. Plugin, assistant A.A. Konev, A.A. Zabiyaka**

*В данной статье приводятся результаты исследований трещинообразования в обводненном бетоне при воздействии пульсирующего однонаправленного электрического потенциала путем прямых наблюдений за развитием трещин с помощью оптико-микроскопического анализа, а также путем анализа возникновения электрических потенциалов и их распределения по высоте образца.*

**Ключевые слова:** образование трещин, обводненный бетон, электрический потенциал, постоянный ток, электрический заряд, деформации, внутренние напряжения.

*У даній статті наводяться результати досліджень процесу виникнення тріщин в обводненому бетоні при дії пульсуючого односпрямованого електричного потенціалу шляхом*

прямих спостережень за розвитком тріщин за допомогою оптико-мікроскопічного аналізу, а також шляхом аналізу виникнення електричних потенціалів та їх розподілу по висоті зразка.

**Ключові слова:** виникнення тріщин, обводнений бетон, електричний потенціал, постійний струм, електричний заряд, деформації, внутрішні напруження.

*This article presents the results of research of the crack origination in the watered concrete under the influence of a pulsating unidirectional electric potential. The research carried out by means of direct observations on the opening of cracks by optical microscopy analysis and by analysis of the origin of electrical potentials and their distribution over the height of the concrete sample. First was shown that the direct electric potential contributes to crack origination in the watered concrete. It was proposed the mechanism of the physical and chemical processes in the concrete during the origination of cracks.*

**Keywords:** crack origination, watered concrete, electrical potential, direct current, electric charge, deformation, internal stress.

**Введение.** Исследования коллектива ученых кафедры строительных материалов, конструкций и сооружений УкрГАЗТ в области электрокоррозии бетона показали, что при воздействии пульсирующего однонаправленного электрического потенциала (ПОЭП), а также переменного потенциала на обводненный бетон происходит разрушение цементного камня. Представленные в данной статье исследования являются продолжением и углублением начатых ранее исследований.

**Цель исследований.** Проверка факта трещинообразования в обводненном бетоне при длительном воздействии на него ПОЭП. Определение распределения электрического потенциала по высоте образца.

**Критический анализ литературных данных.** Как показано в работах [1, 2, 3], разрушение цементного камня происходит при воздействии ПОЭП на обводненный бетон. Это разрушение происходит за счет интенсификации выщелачивания портландита из цементного камня в водный поток. Кроме того, пульсирующий однонаправленный электрический потенциал, поляризуя бетон, в целом вызывает повышение концентрации одноименно заряженных частиц (ионов) в крайних зонах бетонного образца или конструкции. В зоне образца, к которой

прилегает электрод с положительным потенциалом, наблюдается повышение концентрации анионов  $\text{OH}^-$ , а в зоне контакта с водой – повышение концентрации катионов  $\text{Ca}^+$ . Таким образом, в бетоне возникают зоны избыточного заряда. Нами в работе [3] было выдвинуто предположение, что в зонах избыточного заряда может происходить увеличение внутренних растягивающих напряжений, в результате чего может происходить понижение прочности, появление деформаций и даже трещинообразование в бетоне. Поэтому был поставлен ряд экспериментов, направленных на подтверждение или опровержение указанных предположений.

Так, в работе [4] представлены результаты исследования изменения прочности при изгибе стандартных балочек из цементно-песчаного раствора при их поляризации напряжением 40 В. Было экспериментально установлено, что при приложении постоянного электрического поля на образцы из цементно-песчаного раствора малой прочности (с высоким В/Ц) эффекта изменения прочности не наблюдалось, а при приложении постоянного электрического поля на образцы из раствора высокой прочности наблюдался сброс прочности на 14 %. Позднее, после усовершенствования

методики измерений, нами было установлено влияния электрического напряжения на прочность цементно-песчаных балок различной прочности. В настоящее время рассматривается механизм этого влияния.

В работе [5] были представлены результаты экспериментальных исследований влияния ПОЭП на трещинообразование в бетоне, где показано по данным разрыва проволочных датчиков, что при длительном воздействии ПОЭП на бетон в нем возникают трещины. В статье приводятся результаты дальнейших исследований путем прямых наблюдений за развитием трещин с помощью оптико-микроскопического анализа, а также путем анализа возникновения электрических потенциалов и их распределения по высоте образца.

**Методы исследований и материалы.** Методика исследований заключается в воздействии ПОЭП на бетонный образец (призма) 400×100×100 мм, погруженный в проточную воду (рис. 1). Режим циклического электрического воздействия на образец: включено – 8 минут, выключено – 10 минут. В образце на различном расстоянии по высоте расположены электроды с шагом 100 мм. В нижней зоне образца расположено три электрода на расстоянии 10 мм от нижней грани. Измеряли разность потенциалов «верхний электрод – закладной электрод» согласно схеме и силу тока в цепи (рис. 2). Был произведен оптико-микроскопический анализ нижней грани образца.

В образце использован бетон невысокой прочности (10 МПа). Состав бетона приведен в таблице.



Рис. 1. Фото установки с образцом бетона

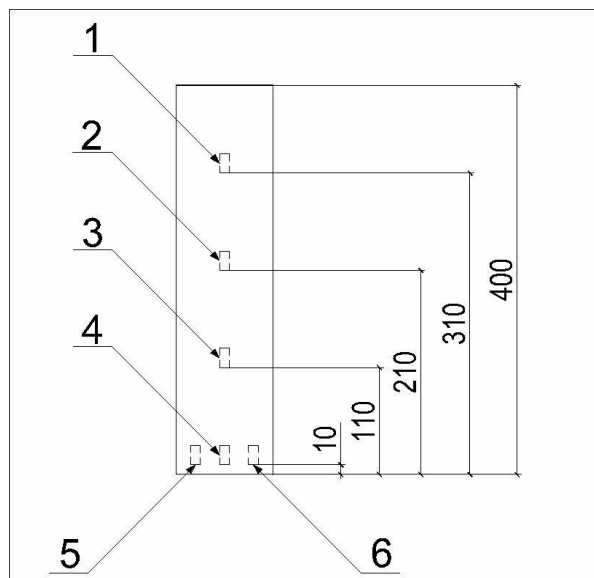


Рис. 2. Схема расположения электродов в образце

Таблица

Состав бетона и его технические и технологические характеристики

Прочность бетона, МПа	ОК, см	Ц, кг/м <sup>3</sup>	П, кг/м <sup>3</sup>	Щ, кг/м <sup>3</sup>	В, л/м <sup>3</sup>	СП, кг/м <sup>3</sup>	В/Ц
10	3÷4	167	667	1310	200	–	1,2

**Исследования повреждений и трещинообразования в бетоне.** В результате воздействия ПОЭП напряжением 30 В на бетонный образец в течение 740 суток (2 года и 10 дней) невооруженным глазом были обнаружены следующие повреждения:

- тонкие трещины на грани образца, контактирующего с водой (рис. 3, *а*);
- разрушение поверхности бетона (отслаивание, выкрашивание) (рис. 3, *б*).

Согласно выполненному оптико-микроскопическому анализу с увеличением

фрагментов с трещинами длина трещин составляет 20-30 мм каждая (рис. 4). Трещина 1 имеет длину около 30 мм и ширину раскрытия менее 0,05 мм. Трещина 2 шириной 0,03-0,07 мм (рис. 5) полностью заполнена новообразованиями белого цвета, что говорит о большем ее возрасте по сравнению с трещинами 1 и 3. Трещина 1 является развитием трещины 2. Трещина 3 имеет длину около 20-25 мм и ширину раскрытия менее 0,05 мм (рис. 6).

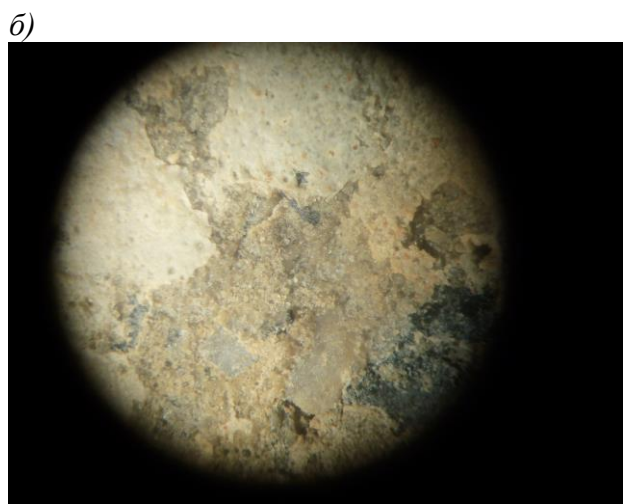
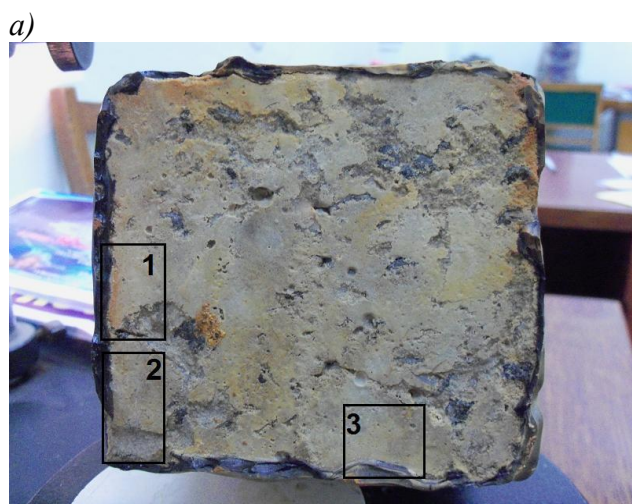


Рис. 3. Фото нижней грани бетонного образца с повреждениями: *а* – нижняя грань с окнами, где возникли трещины; *б* – увеличенный фрагмент с отслаиванием и выкрашиванием поверхности бетона; 1 – окно с трещиной 1 под углом 30° к боковой грани образца; 2 – окно с трещиной 2 и новообразованиями в ней белого цвета; 3 – окно с трещиной 3 под углом 30-45° к боковой грани образца



Рис. 4. Фрагмент трещины 1 из рис. 3, *а* (увеличение  $\times 25$ )

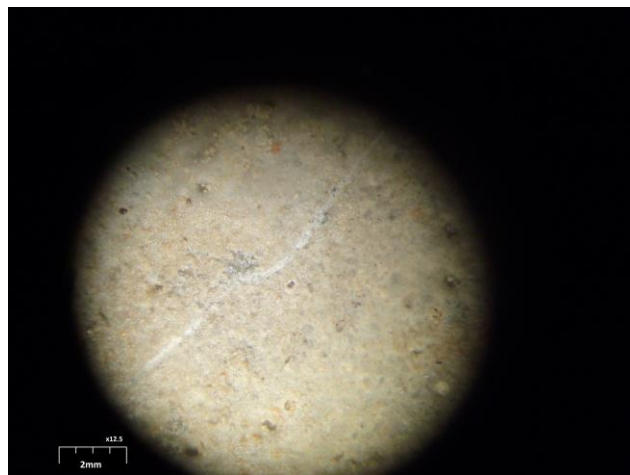


Рис. 5. Фрагмент трещины 2 из рис. 3, *а* (увеличение  $\times 12,5$ )





Рис. 6. Фрагмент трещины 3 из рис. 3, а (увеличение  $\times 87,5$ )

Такой характер трещин (сквозные на значительную глубину) при небольшом объеме образца (10x10x40 см) исключает их образование за счет таких факторов, как усадка бетона и контракция цементного камня. Проверка показала одинаковую температуру образца по всей его поверхности, что исключает возможность образования трещин из-за разной температуры.

Исключена также возможность возникновения трещин из-за давления от продуктов коррозии закладных электродов путем их изготовления из нержавеющей

стали. Кроме того, эти электроды не подключались к электрической цепи.

Следовательно, возникновение трещин произошло в результате воздействия ПОЭП на образец, находящийся в проточной воде в течение длительного времени.

На рис. 7 представлен график изменения разности потенциалов «положительный электрод – закладной электрод» в течение длительного времени (12 000 часов). Показания разности потенциалов снимались через 1 минуту после подачи напряжения на образец в каждом цикле.

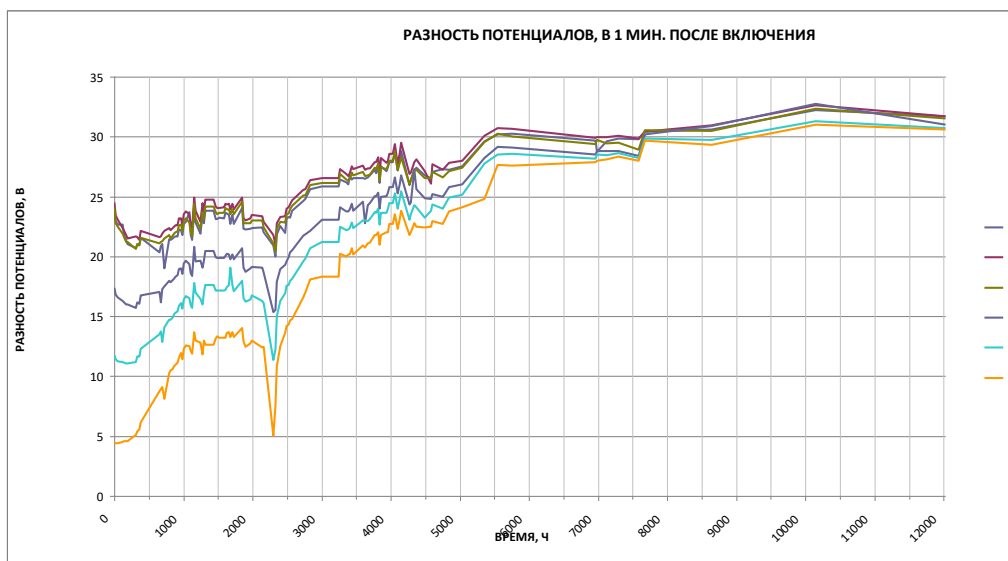


Рис. 7. Разность потенциалов «положительный электрод – закладной электрод» через 1 минуту после подачи напряжения

На рис. 8 представлений графік змінення різниці потенціалів «положительный электрод – закладной электрод» через 1 минуту після відключення напруги в кожному циклі

електрод». Показання різниці потенціалів снимались через 1 минуту після відключення напруги.

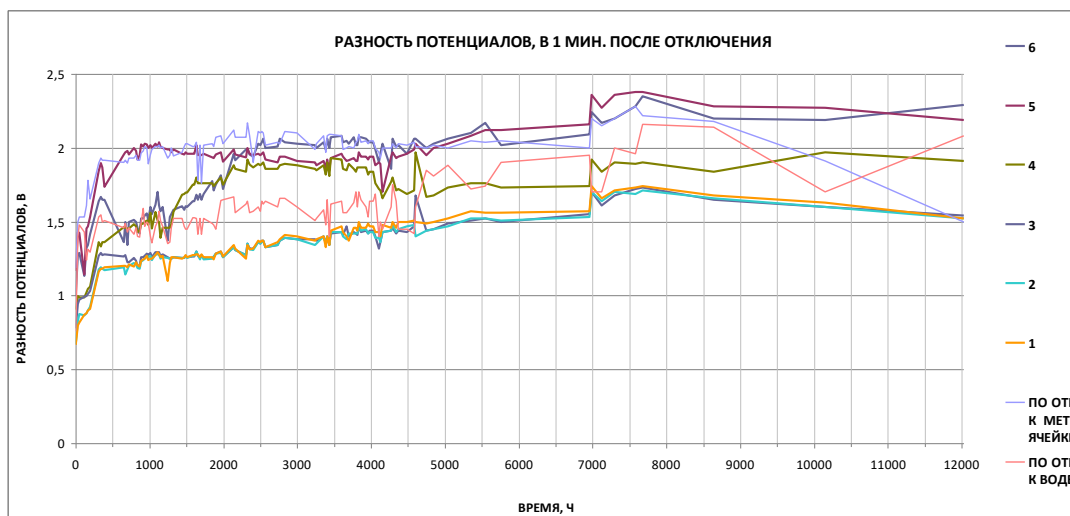


Рис. 8. Разность потенциалов «положительный электрод – закладной электрод» через 1 минуту после отключения напряжения в каждом цикле

По данным этих графиков построены графики изменения разности потенциалов «положительный электрод – закладные электроды 1÷6» через длительные промежутки времени 1500, 3000, 5000 и 10 000 часов (рис. 9, 10).

електроды 1÷6» через длительные промежутки времени 1500, 3000, 5000 и 10 000 часов (рис. 9, 10).

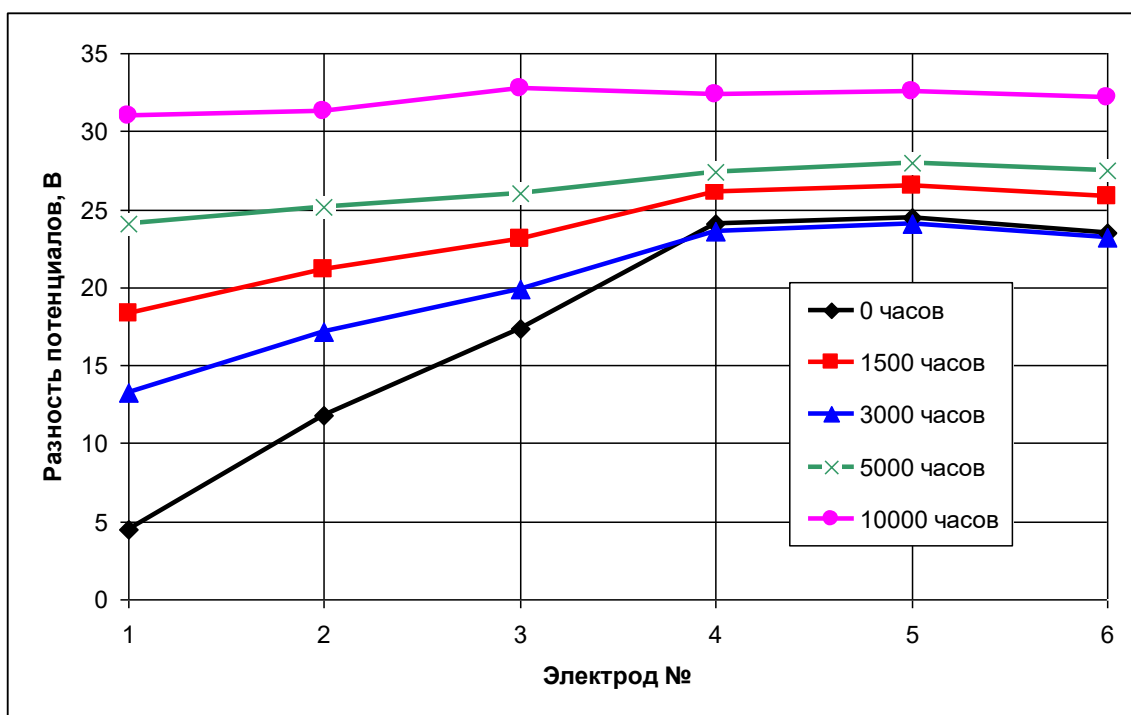


Рис. 9. Разность потенциалов на различных электродах через 1 минуту после включения напряжения в каждом цикле

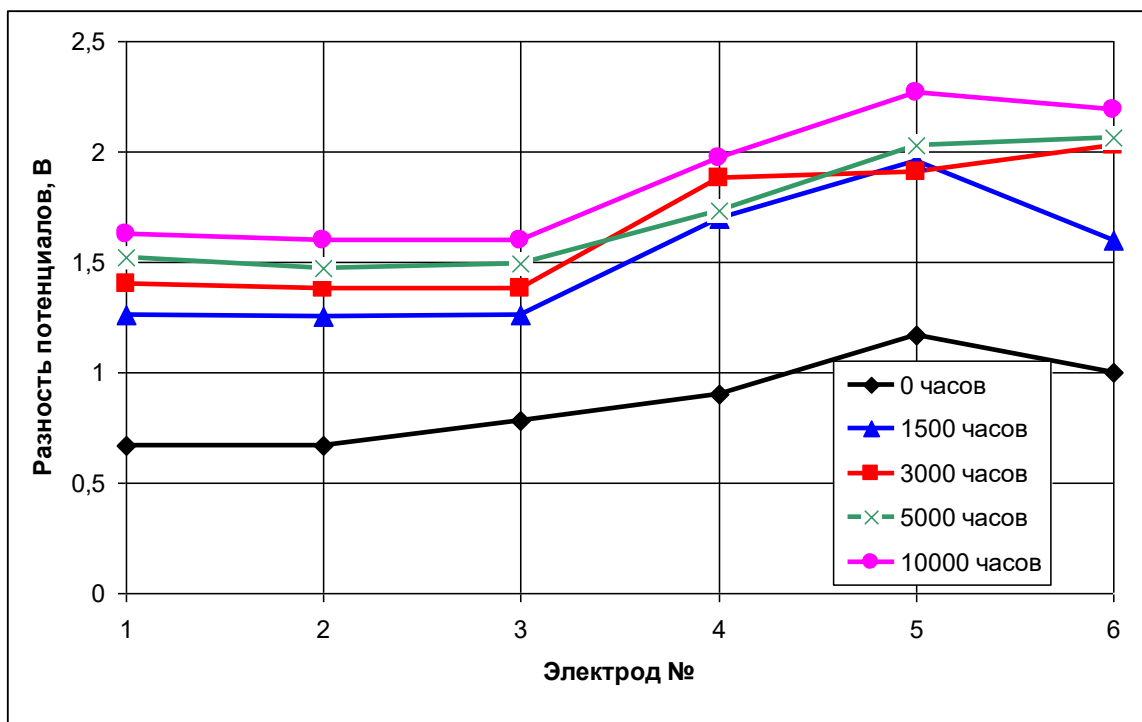


Рис. 10. Разность потенциалов на различных электродах через 1 минуту после отключения напряжения в каждом цикле

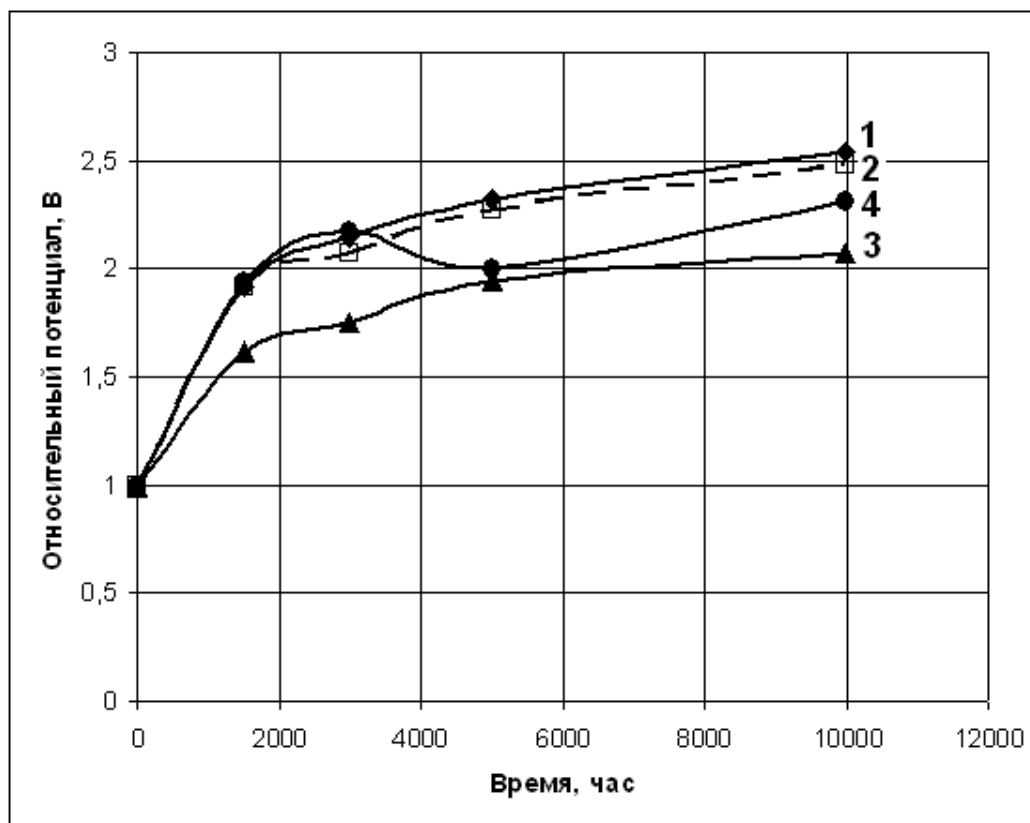


Рис. 11. Зависимость относительного потенциала на электродах 1, 2, 3 и 4 в течение длительного времени

Определим величины относительных потенциалов для электродов 1-4. Относительный потенциал определяем как отношение величины потенциала в определенный момент времени к его первоначальной величине. Построим графики зависимости относительных потенциалов (далее потенциалы) в течение длительного времени (рис. 11). Как видно из рис. 11, в электроде 3 потенциал сразу после начала воздействия напряжения значительно сильнее уменьшается, чем в остальных, и остается наименьшим до конца эксперимента. Величина потенциала нижнего электрода 4 остается в течение 2000 часов, как у верхних электродов, а к 3000 часам даже становится большим. Это свидетельствует о том, что сверху вниз переносятся электромиграционным потоком катионы  $Ca^{2+}$ , не успевая переходить в раствор и накапливаясь в нижней зоне образца. Однако к 5000 часам потенциал электрода 4 резко уменьшился.

Такое резкое уменьшение потенциала на электроде 4 свидетельствует о том, что в

подошве образца образовалась трещина, в нее попала вода, понизив концентрацию  $Ca(OH)_2$ . Вскоре его концентрация восстановилась, и потенциал снова увеличился.

### **Выводы и рекомендации.**

Установлено, что действие пульсирующего однонаправленного электрического потенциала (ПОЭП) на обводненный бетон обусловлено неравномерным растворением продуктов гидратации цемента, главным образом гидроксида кальция, по его глубине (высоте).

Это в свою очередь приводит к неравномерному накоплению по глубине бетона отрицательных и положительных потенциалов и избыточных зарядов и связанных с ними растягивающих напряжений и деформаций, что и является причиной возникновения трещин в бетоне.

Предложено углубить дальнейшие исследования с помощью методов физико-химического анализа.

### **Список использованных источников**

1. Исследование влияния токов утечки и блуждающих токов на здания и сооружения, расположенные возле электрифицированных железнодорожных путей [Текст] / А.Н. Плугин, Ал.А. Плугин, А.А. Дудин [и др.] // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2009. – № 40. – С. 88-104.
2. Плугин, Ал.А. Исследование влияния величины напряжения пульсирующего однонаправленного постоянного электрического поля на электрокоррозию бетона [Текст] / Ал.А. Плугин // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 115. – С. 56-67.
3. Плугин, Ал.А. Влияние постоянного тока на бетон обводненных конструкций и сооружений, расположенных вблизи электрифицированных железнодорожных путей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Ал.А. Плугин. – Харьков, 2010. – 256 с.
4. Плугин, Ал.А. Исследование влияния электрического поля на прочность цементного камня [Текст] / Ал.А. Плугин, А.А. Забияка, В.В. Перестюк [и др.] // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип.130. – С. 56-63.
5. Плугин, А.Н. Влияние постоянных токов утечки на трещинообразование бетонных и железобетонных конструкций [Текст] / А.Н. Плугин, Ал.А. Плугин, А.А. Конев [и др.] // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип.130. – С. 64-69.

---

Плугін Олексій Андрійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-62. E-mail: plugin07@rambler.ru.  
Плугін Аркадій Миколайович, д-р хім. наук, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-62. E-mail: plugin.star@mail.ru .

---

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-62. E-mail: plugin\_aa@rambler.ru.  
Конев Олександр Анатолійович, асистент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-62. E-mail: konev\_0411@mail.ru.  
Забіяка Олександр Анатолійович, зам. начальника відделення діагностики інженерних споруд Головного управління колійного господарства «Укрзалізниця» Тел.: (067) 379-82-03. E-mail: zabiayaka@uz.gov.ua.

Plugin Alexey, cand. of techn. sciences department building materials and structures konstruksiy Ukrainian State Academy of Railway Transport . Tel. : (057 ) 730-10-62 . E -mail: plugin07@rambler.ru.

Plugin Arkady, doct. of chem. sciences, professor department of building materials and structures konstruksiy Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. : (057 ) 730-10-62 . E -mail: plugin.star @ mail.ru.

Plugin Andrew, doct. of techn. sciences, professor department of building materials and structures konstruksiy Ukrainian State Academy of Railway Transport . Tel. : (057 ) 730 -10- 62.E -mail: plugin\_aa@rambler.ru.

Konev Alexander, assistant department of building materials and structures konstruksiy Ukrainian State Academy of Railway Transport . Tel. : (057 ) 730-10-62 . E -mail: konev\_0411@mail.ru.

Zabiyaka Alexander, deputy. chief of the diagnosis of engineering structures General Directorate of track facilities " UZ "Tel.: (067 ) 379-82-03. E -mail: zabiayaka@uz.gov.ua.

**УДК 625.017.39**

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛЕБЕТОННИХ КОЛОН ПРИ НАВАНТАЖЕННІ НА ЦЕНТРАЛЬНИЙ СТИСК**

**Канд. техн. наук Ю.В. Глазунов**

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛЕБЕТОННЫХ КОЛОНН ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ СЖАТИИ**

**Канд. техн. наук Ю.В. Глазунов**

### **EXPERIMENTAL INVESTIGATION STEEL-CONCRETE COLUMNS ON THE PROCESS OF LONGITUDINAL HAS BEEN DEVELOPED**

**Cand. of techn. sciences Y. Glazunov**

*Подано способи розрахунку сталобетонних колон на центральний стиск при передачі поздовжнього навантаження на бетон, на сталь; експериментальні дані про вплив способів передачі поздовжнього навантаження на характер деформування та зруйнування сталобетонних колон, а також вплив сил зчеплення між бетоном і сталлю на несучу здатність сталобетонних колон.*

**Ключові слова:** сталобетон, зовнішнє армування, тензодатчики, бетонне ядро, стальна оболонка, сталобетонний елемент.

*Представлены разработанные способы расчета сталобетонных колонн на центральное сжатие при передаче продольной нагрузки на бетон, на сталь; экспериментальные данные о влиянии способов передачи продольной нагрузки на характер деформирования и разрушения сталобетонных колонн; исследования о влиянии сил сцепления между бетоном и сталью на несущую способность сталобетонных колонн.*

**Ключевые слова:** сталобетон, внешнее армирование, тензодатчики, бетонное ядро, стальная оболочка, сталобетонный элемент.

*A method of strength calculation of rectangular section of steel-concrete columns depending on the process of longitudinal loading has been developed. Theoretical and experimental data have been compared. Cite experiment and theoretical investigation steel concrete constructions depending on the process of longitudinal loading has been developed and method their calculation. There was executed the experimental and theoretical researches of the steel-concrete elements, working by center compression.*

**Keywords:** *steel-concrete, method their calculation, rectangular section, process of longitudinal loading, have been compared.*

**Вступ.** Основні напрямки прогресу в будівництві належним чином пов'язані із застосуванням ефективних конструкцій. До таких конструкцій належать конструкції із зовнішнім армуванням, зокрема колони, складені з прямокутної обойми, заповненої бетоном.

Бетон у сполученні зі сталлюю арматурою виявляється основним матеріалом для житлово-громадянського, промислового, енергетичного, транспортного та сільськогосподарського будівництва.

Концентроване розташування листової арматури на зовнішніх гранях сталобетонних конструкцій дозволяє знизити їх масу, зменшити розміри перерізу порівняно із залізобетонними конструкціями та одержати економію сталі при однаковій висоті. Тому поряд з пошуками успішно конкуруючих рішень у залізобетоні стимулюється розвиток інших комплексних матеріалів і конструкцій, зокрема сталобетонних.

Економічність конструкцій із зовнішнім армуванням порівняно з традиційними залізобетонними забезпечується за рахунок більш раціонального використання матеріалів. Бетон, замкнений в обойму, має збільшену міцність за рахунок бокового стискання; сталю обойма значно захищена від втрати місцевої та загальної стійкості.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Конструкції із зовнішнім армуванням належать до найбільш ефективних і економічних конструкцій, необхідність упровадження яких у галузі будівництва стає актуальним.

Заміна сталевих конструкцій залізобетонними надає можливість економити сталь, але це не завжди пов'язано з економією грошових коштів. Тому поряд з пошуками успішно конкуруючих рішень у залізобетоні стимулюється розвиток інших комплексних матеріалів і конструкцій, зокрема сталобетонних.

Однак, широке застосування сталобетонних колон стримується через недостатню розробленість способів розрахунку, які повинні відображати особливості зовнішнього поздовжнього навантаження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [1-3] зазначено важливість впровадження конструкцій із зовнішнім армуванням як найбільш економічних конструкцій порівняно з традиційними залізобетонними. Економічність таких конструкцій забезпечується за рахунок більш раціонального використання матеріалів.

У науковій праці [1] відмічено, що армування бетону зовнішньою оболонкою сприяє підвищенню міцності такого конструктивного елемента, як сталобетон. Досягаються найкращі показники щодо роботи бетону при навантаженні, у результаті чого зменшуються усадочні деформації і підвищується опір бетону дії агресивного середовища.

У роботі [2] надано дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів, які знаходяться у складі сталобетонних конструкцій. Показано вплив матеріалів на несучу здатність і деформації сталобетонних елементів. Визначено геометричні характеристики поперечного перерізу

конструкції із сталобетону. Показано теоретичні рішення для оцінки напружено-деформованого стану згинаючих стержнів з урахуванням об'ємного напруженого стану бетонного ядра.

У роботах [3-5] розроблено методику розрахунку сталобетонних елементів прямокутного поперечного перерізу на міцність при осьовому стиску. Показано взаємодію сталеві оболонки і бетонного ядра, яке працює в умовах об'ємного напруженого стану зі змінними параметрами деформування. Наведено чисельні розрахунки напружено-деформованого і граничного стану перерізу сталобетонної конструкції.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою даного дослідження є визначення впливу способів передачі зовнішнього поздовжнього навантаження на несучу здатність сталобетонних конструкцій.

У наведеному дослідженні необхідно було вирішити такі завдання:

- розробити способи розрахунку сталобетонних конструкцій на центральний стиск при передачі поздовжнього навантаження на кожний конструктивний елемент окремо;

- у результаті проведеного експерименту визначити вплив способів передачі поздовжнього навантаження на характер деформування та зруйнування сталобетонних конструкцій;

- визначити наявність сил зчеплення між бетоном і сталлю та їх вплив на несучу здатність сталобетонних конструкцій;

- перевірити міцність сталобетонних балочних конструкцій при роботі на згин з визначенням сил зсуву по площині з'єднання листової арматури і бетону по довжині балки.

**Основна частина дослідження.**

Розглянемо дослідження напруженого стану сталобетонних колон при різних способах передачі поздовжнього навантаження. При визначенні висновку теоретичних залежностей для визначення несучої здатності передбачається таке:

- колона під навантаженням залишається прямою – не піддається поздовжньому вигину;

- бетонне ядро і оболонка зв'язані між собою силами зчеплення в дискретних точках по довжині і перерізу (рис. 1);

- розподіл поздовжніх контактних зусиль по периметру перерізу приймається рівномірним.

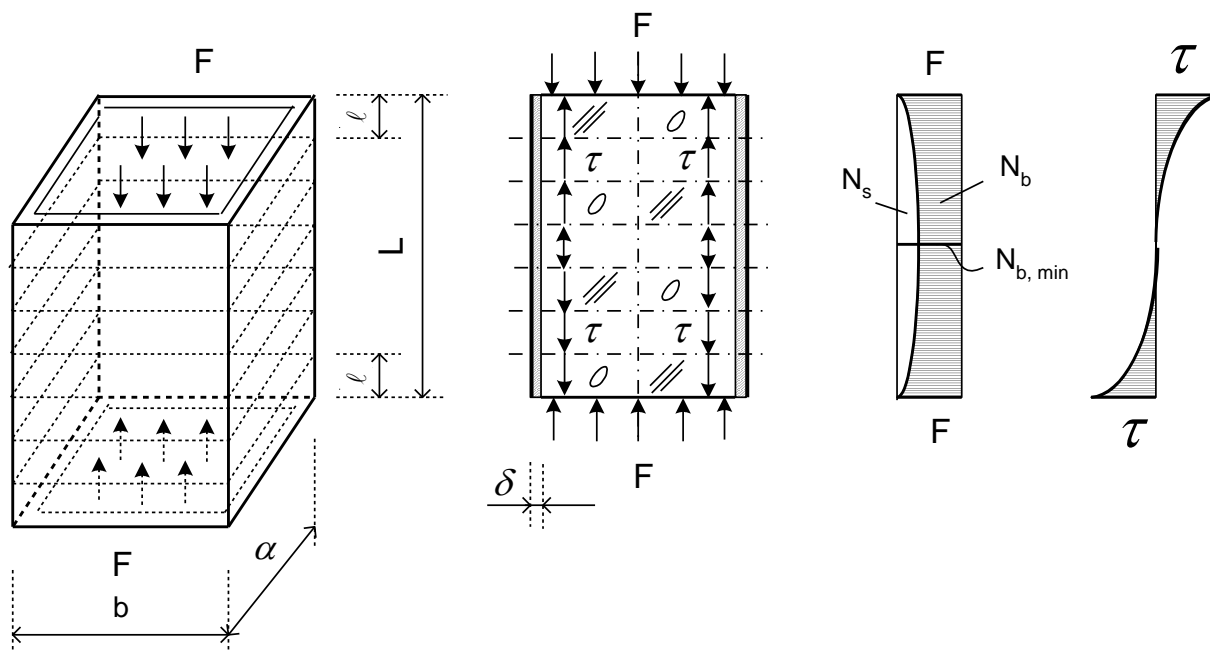


Рис. 1. Навантаження на бетон

Запишемо умови рівноваги:

$$N_s + N_c = N_{Ed}, \quad (1)$$

де  $N_s$  – розрахунковий опір сталевій оболонки за нормального зусилля;

$N_c$  – розрахункове нормальне зусилля стиску у бетонному ядрі;

$N_{Ed}$  – розрахункове значення зовнішньої прикладеної осьової сили.

Умова сумісності деформацій:

$$\Delta L_c = \Delta L_s, \\ \frac{N_s L}{E_s A_s} = \frac{N_c L}{E_c A_c}, \quad (2)$$

де  $E_s$  – розрахункове значення модуля пружності сталевій оболонки;

$E_c$  – модуль пружності бетону;

$A_s$  – площа поперечного перерізу сталевій оболонки;

$A_c$  – площа поперечного перерізу бетону.

Площа перерізу оболонки:

$$A_s = 2bh + 2(b - 2h)h = 4h(b - 2h). \quad (3)$$

Площа перерізу бетону:

$$A_c = (b - 2h)^2. \quad (4)$$

Враховуючи вирази (3) і (4) з умови (2) маємо таке значення:

$$N_c = N_s \frac{E_c (b - 2h)}{4hE_s}. \quad (5)$$

Зміна розмірів при поперечній деформації

$$\varepsilon'_c = \nu_c \varepsilon_c, \quad \varepsilon'_a = \nu_a \varepsilon_a.$$

Враховуючи, що  $\varepsilon_c = \varepsilon_a$ , а  $\nu_c < \nu_a$ , то  $\varepsilon'_c < \varepsilon'_a$ ,

де  $\varepsilon_c$  – значення відносних деформацій стиску бетону;

$\varepsilon_a$  – значення відносних деформацій розтягу конструкційної сталі;

$\nu$  – коефіцієнт Пуассона.

Розмір поперечного перерізу бетону після деформації (рис. 1) визначається так:

$$b'_c = b_c \cdot \varepsilon'_c = b_c \nu_c \varepsilon_c = b_c \nu_c \frac{N_c}{E_c A_c} = \frac{\nu_c N_c}{E_c} \cdot \frac{b_c}{A_c} = \frac{\nu_c N_c}{E_c} \cdot \frac{1}{b - 2h}. \quad (6)$$

Внутрішній розмір поперечного перерізу оболонки (рис. 2):

$$b'_s = b_c \cdot \varepsilon'_{au} = b_c \nu \varepsilon_{au} = b_c \nu_s \frac{N_s}{E_s A_s} = \frac{\nu_s N_s}{E_s} \cdot \frac{1}{4h}. \quad (7)$$

Сили зчеплення, які припадають на кожну елементарну ділянку  $\ell$ , визначаються так:

$$\frac{b'_s - b'_c}{2} = \frac{\frac{\nu_s N_s}{E_s} \cdot \frac{1}{4h} - \frac{\nu_c N_c}{E_c} \cdot \frac{1}{b - 2h}}{2} = \frac{\nu_s N_s}{E_s} \cdot \frac{1}{8h} - \frac{\nu_c N_c}{E_c} \cdot \frac{1}{2(b - 2h)}. \quad (8)$$

Чисельна реалізація виконана на ПЕОМ. На рис. 1 показано епюри розподілу зусиль в обоймі, бетонному ядрі, а також епюри дотичних зусиль по довжині колони.

Для визначення несучої здатності колони при передачі навантаження на бетон знаходимо спочатку несучу здатність ядра в середньому перерізі колони (рис. 1). Розрахункову схему обойми і ядра



зобразимо у вигляді контактуючих між собою елементів (рис. 3).

Сили взаємодії між ядром і обоймою знайдемо із умови рівності переміщень на

границі контакту із такої системи рівнянь:

$$A\vec{X} = -\vec{H}. \quad (9)$$

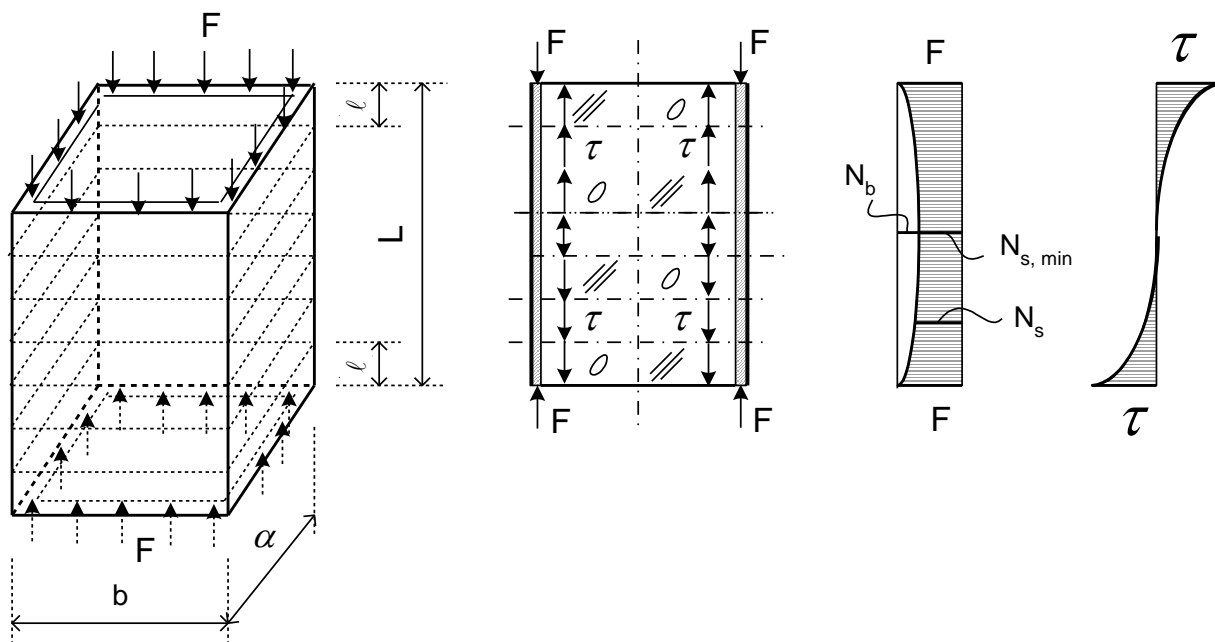


Рис. 2. Навантаження на сталеву обойму

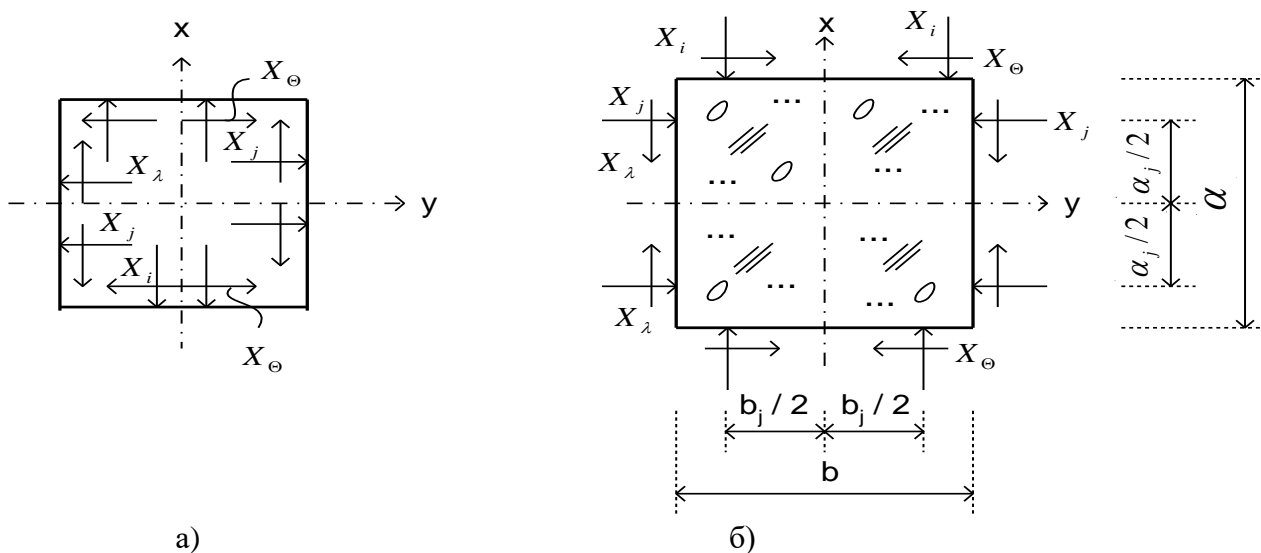


Рис. 3. Розрахункові схеми обойми (а) і ядра (б)

При такому способі передачі поздовжнього навантаження на бокових

сторонах пластин обойми згинальні моменти відсутні. Це дозволяє розглядати

обойму як окремі шарнірно оперті пластини, завантажені в поздовжньому і поперечному напрямках. При цьому припускається, що односторонні контактні зв'язки між заповнювачем і обоймою не перешкоджають згину пластин назовні.

У сталобетонних колонах наявність обойми, яка є опором переміщенню бетону в поперечному напрямку, призводить до збільшення міцності бетону, а наявність заповнювача усередині оболонки збільшує її стійкість. Бетон і сталь у такому сполученні створюють найбільш сприятливі умови для спільної роботи.

Сталобетонні зразки були випробувані при передачі поздовжнього навантаження на бетон і сталь одночасно за наявності і відсутності сил зчеплення; на бетон; на сталю оболонку у зразку, який заповнений бетоном; на одному торці на бетон, на другому – на сталь; на сталю оболонку у зразку без бетонного ядра.

У процесі випробувань замірялися поздовжні і поперечні деформації сталеві

обойми. Для цього по всьому периметру середнього перерізу у поздовжньому і поперечному напрямках наклеювалися тензодатчики. Показання приладів знімалися при навантаженні до 100 тс через кожні 10 тс завантаження; понад 100 тс – через 5 тс.

Порівняльні графіки, які ілюструють несучу здатність сталобетонних колон при передачі навантаження на бетон і сталь одночасно, на бетон, на сталю оболонку залежно від відношення сторін їх поперечного перерізу, показані на рис. 4. З даного графіка видно, що несуча здатність складених колон значно перевищує суму найбільших зусиль в оболонці і бетонному ядрі, випробуваних окремо.

Результати випробувань сталених обойм у зразках без бетонного ядра показують, що розрахунки критичних напружень і границі несучої здатності надають надмірну, порівняно з експериментальними результатами, відносну помилку, яка не перевищує 15 %.

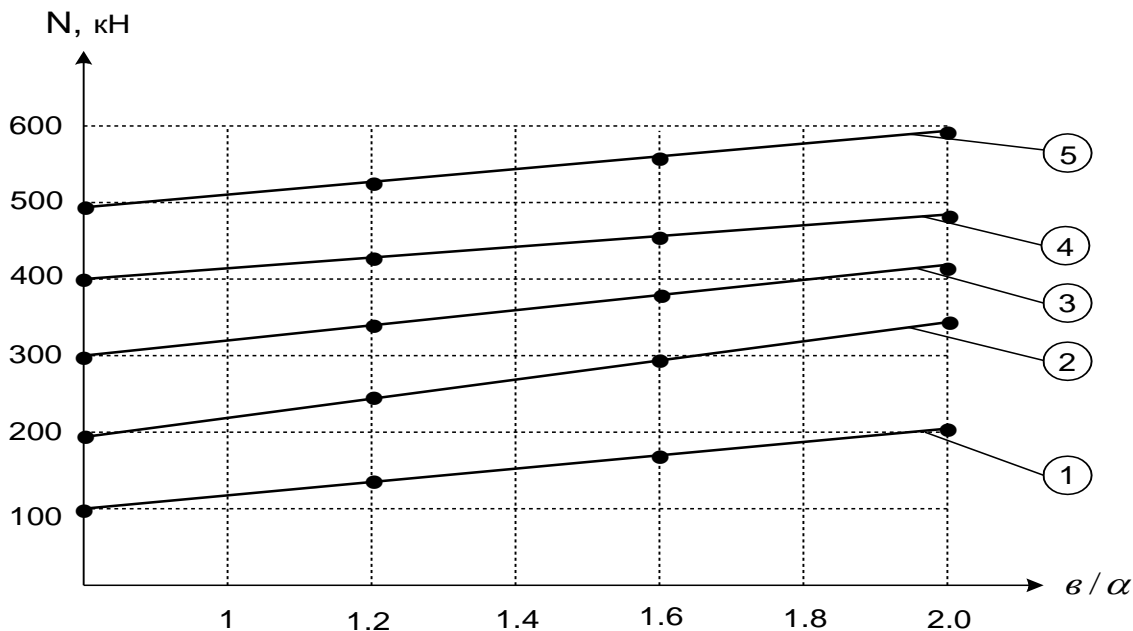


Рис. 4. Графік залежності несучої здатності зразків від розмірів поперечних перерізів ( $\delta = 2$  мм;  $f_{cd} = 25,2$  МПа;  $\sigma_c = 350$  МПа):

- 1 – навантаження на бетон і сталь одночасно; 2 – навантаження на бетон;
- 3 – навантаження на оболонку; 4 – бетонна колона; 5 – сталю оболонка

Кожний зразок являє собою металеву оболонку, виготовлену із листа СТ-3 товщиною  $\delta = 3,8$  мм, зігнутого і зварюваного поздовжнім швом. Внутрішня поверхня не була оброблена і залишалась гладкою. Наплавлений метал у зварному шві розташовується із зовнішньої сторони. Оболонки заповнювались бетоном і витримувались у лабораторних умовах при температурі 18-19 °С.

Міцність бетону в кожному зразку, окрім стандартних випробувань, визначалась у результаті випробування бетонних призм, виготовлених у розбірній металевій опалубці, яка повторює внутрішні розміри обойми і контролювалася випробуванням видавленої призми.

Випробування проводились на гідравлічній машині. Зразок установлювався на опірну плиту преса. Навантаження на бетон передавалось через спеціальний пуансон. Зазор між внутрішньою частиною оболонки і пуансоном складає 3 мм. Швидкість прикладення навантаження – 50 кН/хв. У процесі випробувань записувались діаграми “навантаження-переміщення”.

У результаті проведених експериментальних досліджень у зразках були визначені граничні навантаження, при яких бетонні призми утримувались у металевих оболонках контактними силами зчеплення між сталлю і бетоном. При цьому способом передачі навантаження деформації бетонної призми не виявляли істотного впливу на деформації граничного шару.

Найбільше навантаження на графіку визначалось характерною точкою, після досягнення якої навантаження зменшувалося і бетонна призма починала переміщуватись у металевій оболонці. На ділянці від початку завантаження впритул до досягнення максимального навантаження зв'язок між дотичними напруженнями і деформаціями граничного шару прямолінійне. Процес видавлювання бетонної призми супроводжувався, як

правило, підвищенням навантаження над граничним, яке характеризує наявність сил зчеплення в 1,2-3 рази.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Проведений аналіз одержаних результатів дозволяє зробити такі висновки:

1. Розроблена і експериментально перевірена методика розрахунку сталобетонних колон на центральний стиск при передачі навантаження “на бетон”; “на оболонку”. При цьому передбачається, що бетонне ядро і оболонка пов'язані між собою силами зчеплення дискретно по довжині зразка і його перерізу.

2. При передачі поздовжнього навантаження на бетон несуча здатність сталобетонних колон складає в середньому 0,8 несучої здатності при передачі навантаження одночасно на бетон і оболонку. Порівняння з несучою здатністю бетонних колон показує, що наявність обойми надає можливість збільшити несучу здатність сталобетонних колон у середньому в два рази.

3. Несуча здатність при передачі навантаження на обойму складає в середньому 0,46 несучої здатності при завантаженні бетону і обойми одночасно і перевищує в середньому в 1,9 разу несучу здатність порожніх колон.

4. Результати випробувань сталобетонних колон, у яких відсутнє зчеплення між бетоном і сталлюю обоймою, на центральний стиск при передачі поздовжнього навантаження на бетон і сталь одночасно показують, що сили зчеплення не виявляють істотного впливу на їх несучу здатність.

Використання в будівництві сталобетонних колон прямокутного перерізу, в основу конструкції яких покладено розроблені способи розрахунків, дозволяє при більших навантаженнях та обмежених розмірах поперечних перерізів знизити витрату сталі на 28-35 % порівняно із залізобетонними колонами.

*Список використаних джерел*

1. Грушко, И.М. Повышение прочности и выносливости бетона [Текст] / И.М. Грушко, А.Г. Ильин, Э.Д. Чихладзе. – Харьков: Изд-во при Харьковском гос. университете, 1986. – 150 с.
2. Стороженко, Л.І. Сталезалізобетонні конструкції [Текст] / Л.І. Стороженко, О.В. Семко. – Полтава, 2001. – 55 с.
3. Чихладзе, Э.Д. Расчет сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при осевом сжатии [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Бетон и железобетон. – 1993. – № 1, – С. 13-15.
4. Лопатто, А.Э. О свойствах бетона, твердеющего в замкнутой обойме, и жесткости трубобетонных элементов [Текст] // Строительные конструкции. – К., 1973. – С. 232.
5. Глазунов, Ю.В. Вплив способів передачі поздовжнього навантаження на несучу здатність сталебетонних коротких колон прямокутного перерізу [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Ю.В. Глазунов. – Харків, 1997. – 22 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.А. Пługін

---

Глазунов Юрий Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-70. E-mail: budmekh@ukr.net.

Glazunov Yuri, cand. techn. sciences, associate professor Department of structural mechanics and hydraulics Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-70. E-mail: budmekh@ukr.net.

**УДК 625.42:624.011**

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕРЕВ'ЯНОЇ ШПАЛИ  
МЕТРОПОЛІТЕНУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ "ЛИРА"**

**Канд. техн. наук В.П. Шраменко, асист. Д.А. Фаст, студ. О.В. Богданова**

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ДЕРЕВЯННОЙ ШПАЛЫ МЕТРОПОЛИТЕНА ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО  
КОМПЛЕКСА "ЛИРА"**

**Канд. техн. наук В.П. Шраменко, ассист. Д. А. Фаст, студ. О. В. Богданова**

**RESEARCH OF THE TENSE-DEFORMED STATE OF WOODEN RAILROAD TIE OF  
UNDERGROUND PASSAGE THROUGH PROGRAMMATIC COMPLEX "LIRA"**

**Cand. of techn. sciences V.P. Shramenko, assist. D.A. Fast, stud. E.V. Bogdanova**

*Досліджено напружено-деформований стан дерев'яної шпалі у тунелі метрополітену, яка омонолічена у колійному бетоні, за допомогою програмного комплексу "Лира 9.6". Для побудови просторової моделі було змодельовано ділянку рейко-шпальної решітки, що складається із семи шпал та завантажена однією віссю вагона, з використанням скінченних елементів різних типів.*

***Ключові слова:** дерев'яна шпала метрополітену, пластмаса акрилова, скінченні елементи, напруження.*

*Исследовано напряженно-деформированное состояние деревянной шпалы в туннеле метрополитена, омоноличенной в путевом бетоне, с помощью программного комплекса "Лира 9.6". Для построения пространственной модели был смоделирован участок рельсо-шпальной решетки, который состоит из семи шпал и загружен одной осью вагона, с использованием конечных элементов разных типов.*

**Ключевые слова:** *деревянная шпала метрополитена, пластмасса акриловая, конечные элементы, напряжения.*

*In this work investigational tensely deformed consisting of wooden railroad tie of tunnel of underground passage, what lies in a travel concrete, by a programmatic complex "Lira 9.6". For the design of overhead structure of track of underground passage the eventual elements of different types were used. For the construction of spatial model an area was modelled rail-sleeper grates in the tunnel of underground passage which consists of seven railroad ties and high-usage one axis of carriage.*

**Keywords:** *wooden railroad tie of underground passage, a plastic is acrylic, eventual elements, tensions.*

**Вступ.** У великих містах найбільш зручним і економічно вигідним пасажирським транспортом є метрополітени, перевагою яких є більша швидкість перевезення і здатність освоювати масові пасажиропотоки. У містах, де є метрополітени, гостро стоїть проблема захисту споруджень від шуму і вібрацій. Основна відмінна риса верхньої будови колії у метрополітенах в тому, що рейко-шпальна решітка лежить на бетонній основі. Тому найбільш ефективною є конструкція залізничної колії на дерев'яних шпалах. Конструкція колії на бетонній основі з дерев'яними шпалами забезпечує необхідну їй пружність і має високий електричний опір, що має велике значення за наявності контактної рейки, яка перебуває під високою напругою у вологому середовищі [1, 2].

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Основна відмінна риса верхньої будови колії у метрополітенах в тому, що рейко-шпальна решітка лежить на бетонній основі. Однією з принципових відмінностей роботи шпал у тунелях метрополітену є те, що вони утоплені в бетон. Така конструкція колії призводить до того, що змінюється характер роботи

шпал та їх заміна є складною й дорогою операцією, що вимагає значних витрат ручної праці та коштів. Заміна однієї шпали в тунелі в десять разів дорожче, ніж на наземних залізницях. Тому дослідження можливості відновлення їх за допомогою наповнення порожнеч і тріщин, що утворилися, полімерним матеріалом є актуальною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом дослідження у тунелі метрополітену, в основному, направлені на удосконалення зони проміжного скріплення, а також на пошук нових конструкцій підрейкової основи [3-6]. Проблемам відновлення експлуатаційних властивостей дерев'яних шпал приділяється недостатньо уваги.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою даних досліджень є розрахунок суцільної дерев'яної шпали метрополітену з урахуванням наповнення полімерним матеріалом. Задачами досліджень є визначення напружено-деформованого стану дерев'яної шпали, що частково лежить на колійному бетоні, і можливості її зміцнення шляхом наповнення порожнеч і тріщин, що утворилися, полімерним матеріалом.

**Основна частина дослідження.** Для моделювання верхньої будови колії у

тунелі метрополітену було використано програмний комплекс "Лира 9.6" та обрано наступні типи скінченних елементів:

1. Універсальний просторовий стрижневий скінченний елемент (СЕ 10), який має місцеву систему координат  $X1, Y1, Z1$ , відносно якої задається місцеве навантаження й визначаються зусилля. Даний елемент сприймає такі види зусиль: осьове, крутний момент, згинальні моменти й поперечні сили у вертикальній та горизонтальній площинах.

2. Універсальні скінченні елементи просторового завдання теорії пружності (СЕ 31 – паралелепіпед), призначені для визначення напружено-деформованого стану континуальних об'єктів і масивних просторових конструкцій з однорідного ізотропного лінійно-пружного матеріалу в постановці тривимірного завдання теорії пружності. Даний елемент сприймає нормальні та дотичні напруження по всіх площинах.

Шпала у тунелі метрополітену являє собою дерев'яну балку у формі паралелепіпеда зі сторонами поперечного перерізу  $160 \times 250$  мм і довжиною 2650 мм, яка на  $2/3$  своєї довжини є омоноличеною у колійний бетон.

Для моделювання верхньої будови колії метрополітену було використано скінченні елементи різних типів: для рейки – тип 10 із заданим перерізом, що відповідає поперечному перерізу рейки типу Р50, а для підкладки та дерев'яної шпали – тип 31. Для рейки та підкладки фізичні й жорсткісні характеристики задаються відповідно до матеріалу сталі, для дерев'яної шпали – відповідно до деревини сосни. Для врахування заповнення порожнеч і тріщин пластмасою акриловою самотвердною АСТ-Т було використано характеристики, що відповідають даному полімерному матеріалу.

Для побудови просторової моделі було змодельовано ділянку рейко-шпальної решітки у тунелі метрополітену, що складається із семи шпал і завантажена

однією віссю вагона, оскільки вплив сусідніх шпал на розрахункову є незначним. Їх було розбито на восьмивузлові чотирикутні скінченні елементи, які мають форму паралелепіпеда. Для того щоб змодельовати шпалу, омоноличену в колійному бетоні, у місцях її контакту з колійним бетоном було введено обмеження переміщень. Вони спрямовані по осях, перпендикулярних до площин бетонної основи, а також уздовж них у вертикальному напрямку. Навантаження прикладено на рейку над середньою шпалою симетрично відносно її середини і приймаються як зосереджені сили на кожній нитці колії. Частина шпали, що знаходиться над лотком, не опирається на колійний бетон і має вільне переміщення в усіх напрямках. Після складання елементів верхньої будови колії було отримано кінцево-елементну модель для розрахунку дерев'яної шпали у тунелі метрополітену. Загальний вигляд моделі верхньої будови колії у тунелі метрополітену для визначення напружень у розрахунковій дерев'яній шпалі наведено на рис. 1.

Поздовжній переріз для розрахункової шпали зображено на рис. 2. За розрахункову прийнято шпалу, що знаходиться посередині.

Розрахунок виконувався під дією зосередженої сили на розрахункову шпалу. Враховуючи, що навантаження прикладалися симетрично відносно поздовжньої осі колії, результати розрахунку будемо наводити лише по одній нитці залізничної колії метрополітену.

За допомогою програмного комплексу "Лира 9.6" також було розраховано шпалу з урахуванням заповнення порожнеч і тріщин пластмасою акриловою самотвердною АСТ-Т в різних місцях її поперечного перерізу:

– суцільна дерев'яна шпала без наповнення;

– дерев'яна шпала, заповнена пластмасою акриловою самотвердною АСТ-Т у верхній половині поперечного перерізу;

– дерев'яна шпала, заповнена пластмасою акриловою самотвердною АСТ-Т у нижній половині поперечного перерізу;

– дерев'яна шпала, заповнена пластмасою акриловою самотвердною АСТ-Т у центрі поперечного перерізу.

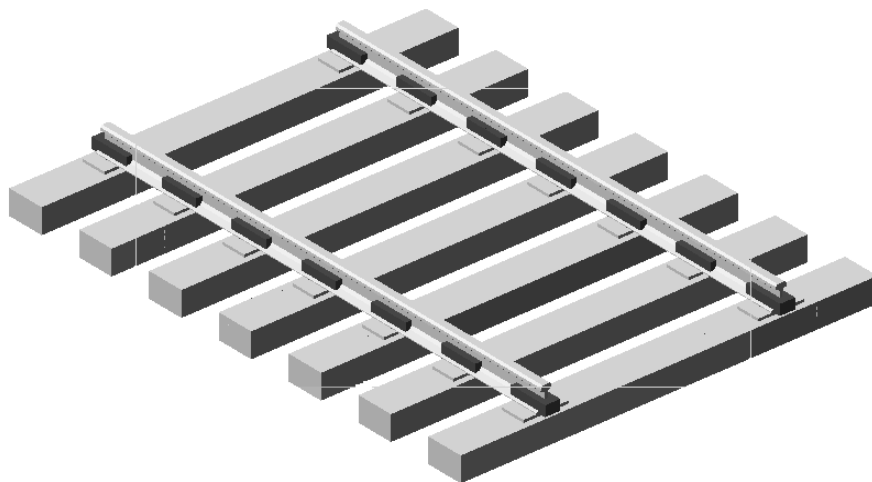


Рис. 1. Модель верхньої будови колії у тунелі метрополітену



Рис. 2. Поздовжній переріз розрахункової дерев'яної шпали

Для отримання значень напружень використовується теорія міцності найбільших нормальних напружень. У результаті отримаємо величини найменших, середніх і найбільших головних напружень у вигляді ізополів, які показано відповідно на рис. 3–5. Для оцінки міцності та порівняння з результатами ручного розрахунку обираємо найбільші значення, що відповідають ізополлям найбільших головних напружень. Отримані

результати розрахунку зводяться в таблицю.

**Висновки з дослідження.** Аналізуючи отримані результати за допомогою програмного комплексу "Лири 9.6", можна зробити висновок, що використання пластмаси акрилової самотвердної АСТ-Т призводить до зміцнення дерев'яних шпал і доводить можливість використання даного матеріалу для відновлення їх експлуатаційних властивостей.

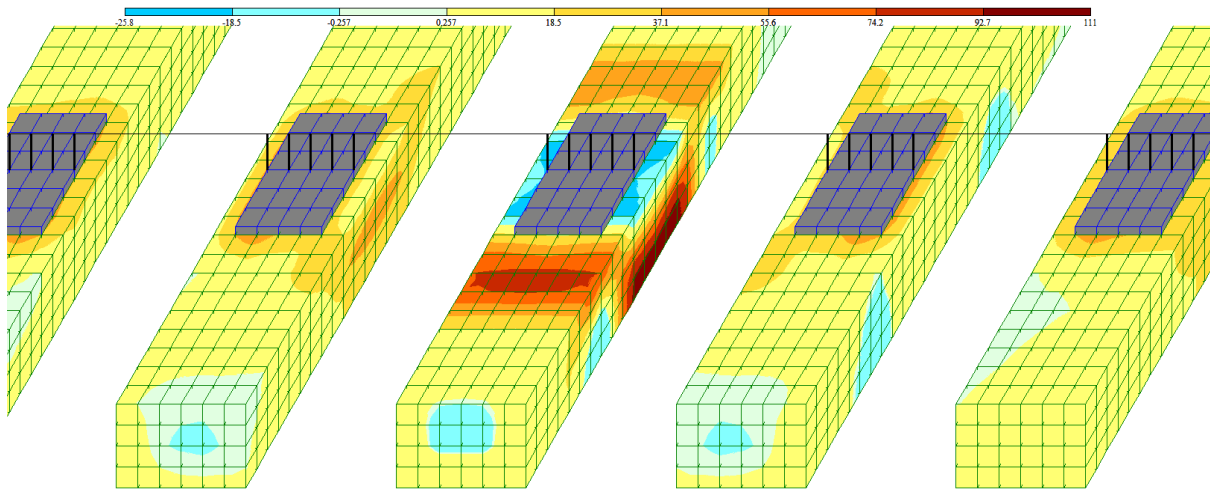


Рис. 3. Ізополя найменших головних напружень

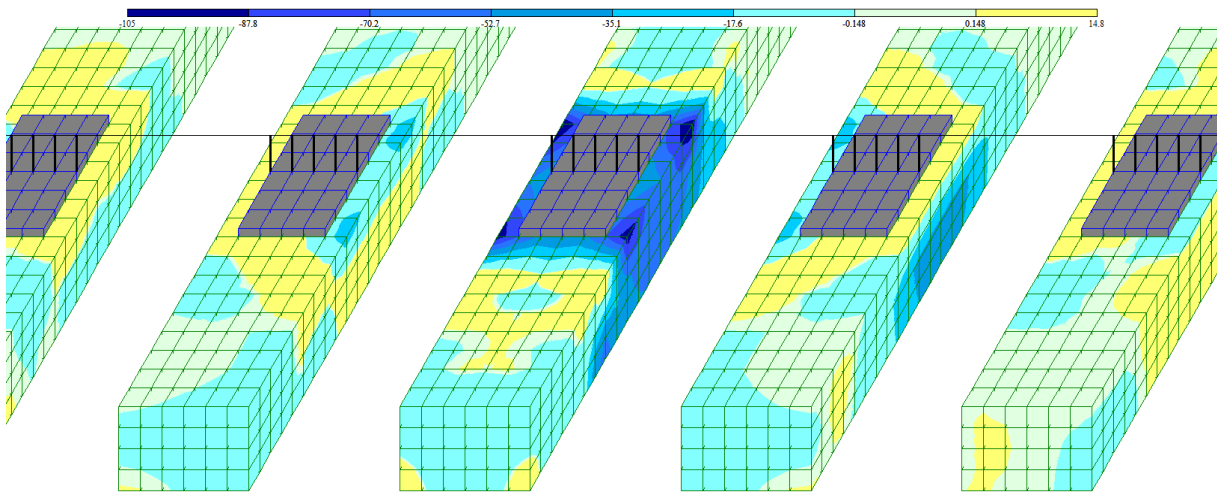


Рис. 4. Ізополя середніх головних напружень

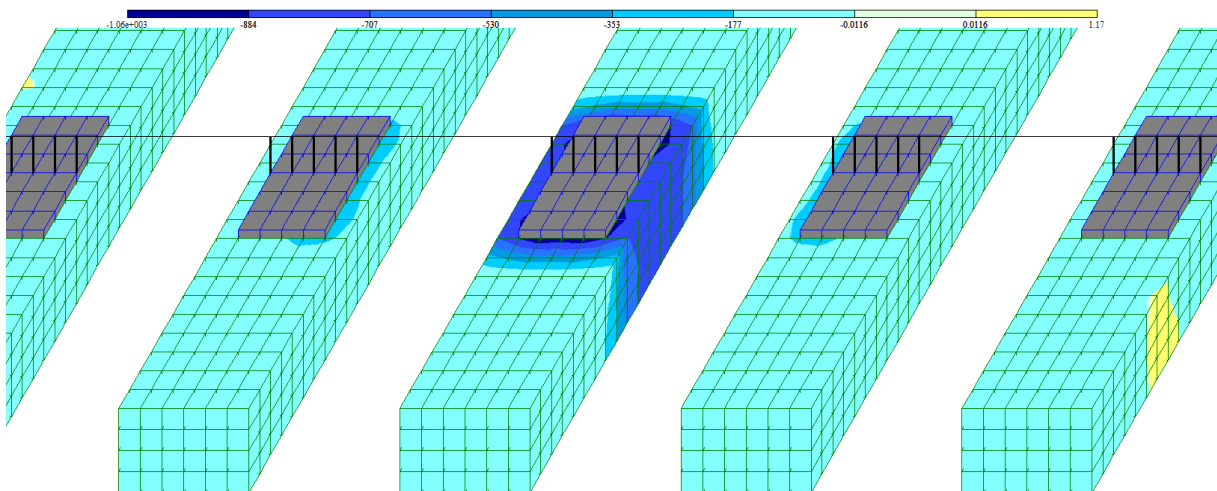


Рис. 5. Ізополя найбільших головних напружень



Напруження у розрахунковій шпалі за результатами розрахунку  
у програмному комплексі ”Лира 9.6”

Вид поперечного перерізу	Максимальне напруження, МПа	Місце концентрації напружень у шпалі
Шпала із суцільної деревини	0,884	По всій площі підкладки на половину товщини шпали
Шпала, заповнена полімером у верхній частині	0,881	По всій площі підкладки на половину товщини шпали
Шпала, заповнена полімером у нижній частині	0,879	По всій площі підкладки з розривами під її центром на половину товщини шпали
Шпала, заповнена полімером у центрі перерізу	0,879	По всій площі підкладки з розривами під її центром на половину товщини шпали

**Список використаних джерел**

1. Клинов, С.И. Железнодорожный путь на искусственных сооружениях [Текст] / С.И. Клинов. – М.: Транспорт, 1990. – 144 с.
2. Фролов, Ю.С. Метрополитены. [Текст] / Ю.С. Фролов, Д.М. Голицынский, А.П. Ледяев. – М.: Желдориздат, 2001. – 528 с.
3. Кравченко, Н.Д. Новые конструкции железнодорожного пути для метрополитенов [Текст] / Н.Д. Кравченко. – М.: Транспорт, 1994. – 143 с.
4. Выбор типа верхнего строения пути для метрополитенов [Текст] / В.М. Круглов, Н.Д. Кравченко и др. // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – №4. – С. 26–29.
5. Замуховский, А.В. Шпалы-коротыши в путевом бетоне [Текст] / А.В. Замуховский // Путь и путевое хозяйство. – 2006. – № 5. – С. 24–26.
6. Машкович, О.Н. Железнодорожные шпалы из альтернативных материалов [Текст] / О.Н. Машкович // Железнодорожный транспорт за рубежом. Путь и путевое хозяйство. Проектир. и стр-во ЭИ / ЦНИИТЭИ. – 2005. – С. 11–15.
7. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст] / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
8. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций Лира версия 9.0. Руководство пользователя [Текст] / под ред. А.С. Городецкого, И.Д. Евзерова. – К.: НИИАСС, 2002. – 147 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.А. Плуґін

Шраменко Володимир Павлович, кандидат технічних наук, почесний залізничник, професор кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-58.

Фаст Денис Андрійович, асистент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-58. E-mail: denia007@mail.ru.

Богданова Олена В'ячеславівна, студент будівельного факультету Української державної академії залізничного транспорту.

Shramenko Vladimir Pavlovich, cand. of techn. sciences, professor of railwayman road and track facilities Ukrainian State Academy of Railway transporta. Tel. : (057) 730-10-58.

Fast Denis A., assist. department of road and track facilities Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-58. E - mail: denia007@mail.py.

Bogdanov Helen V., stud. faculty of civil Ukrainian State Academy of Railway Transport.

УДК 625.033

**ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ РЕЙКОВИХ ПЛІТЕЙ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ**

Канд. техн. наук А.М. Штомпель, Л.А. Натягова, М.В. Портянкін

**ПОВЫШЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ**

Канд. техн. наук А.Н. Штомпель, Л.А. Натягова, Н.В. Портянкин

**INCREASE SERVICE LIFE RAFT IN THE OPERATION OF RAIL WELDED TRACK**

Cand. of techn. science A.N. Shtompel, L.A. Natiagova, N.V. Portiankin

*У статті розглядаються питання щодо підвищення строку служби рейкових плітей при експлуатації безстикової колії; наведено результати досліджень з визначення заходів, які забезпечують збільшення міжремонтного циклу конструкції колії.*

***Ключові слова:** безстикова колія, рейкові пліті, напрацьований тоннаж, зрівнювальний прогін, строк служби, геометричні нерівності, профільне шліфування.*

*В статье рассматриваются вопросы повышения срока службы рельсовых плетей при эксплуатации бесстыкового пути; представлены результаты исследований по установлению мероприятий, которые обеспечивают увеличение межремонтного цикла конструкции пути.*

***Ключевые слова:** бесстыковой путь, рельсовые плети, наработанный тоннаж, уравнивательный пролет, срок службы, геометрические неровности, профильное шлифование.*

*"Strategy of Railway Transport of Ukraine till 2020". Provides, inter alia, improving the management of traveling facilities to increase the efficiency of its operations, including by increasing the life of the construction of the rail track.*

*Operational efficiency based on certain events that are aimed at extending the life of the upper track structure with minimal cost of its arrangement and maintenance.*

*The article is devoted to improving the life of the operation of rail raft welded rails, the results of studies to determine the measures to increase the rate of structural overhaul cycle track.*

***Keywords:** welded Track Rail raft accumulated tonnage, egalitarian span, lifetime, geometric inequalities, profile grinding.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими (практичними) завданнями.** Безстикова колія на залізобетонних шпалах (БК) є основною конструкцією верхньої будови на залізницях України. На сьогодні протяжність БК становить приблизно 73 % розгорнутої довжини головних колій.

Регресійний аналіз статистичних даних [1] дозволив встановити

функціональну залежність зміни протяжності БК ( $L_{\text{безст.}}$ ) на головних коліях залізниць протягом розрахункового періоду (2007-2011 рр.), тис. км:

$$L_{\text{безст.}} = 19,9 + 0,37t, \quad (1)$$

де  $t$  – поточний рік експлуатації конструкції БК в межах розрахункового періоду.

Лінійний характер наведеної залежності  $L_{\text{безст.}} = f(t)$  підтверджується коефіцієнтами кореляції  $r$  і детермінації  $r^2$ , значення яких у даному випадку становлять відповідно  $r=0,999$  та  $r^2=0,997$ .

«Стратегія розвитку залізничного транспорту України до 2020 р.» передбачає, зокрема, удосконалення системи ведення колійного господарства (КГ) з метою підвищення ефективності його діяльності, у тому числі за рахунок збільшення строку служби конструкції залізничної колії (ЗК).

Основною продукцією КГ є технічний стан конструкції ЗК, що знаходиться в експлуатації. Згідно з п. 3.1 [2] «усі елементи залізничної колії... за ... станом мають забезпечувати безпечний і плавний рух поїздів із швидкостями, встановленими на даній ділянці». На сучасному етапі означена вимога доповнюється ще і ефективним функціонуванням конструкції ЗК (на певній ділянці), що у свою чергу передбачає оптимальні витрати на улаштування колії та її експлуатацію протягом «життєвого» циклу.

Таким чином, ефективність експлуатації БК ґрунтується на певних заходах, спрямованих на подовження строку служби верхньої будови колії (ВБК) з мінімальними витратами на її улаштування і технічне обслуговування (у процесі функціонування на певній ділянці залізниці).

Саме цим обумовлюється актуальність питань, що розглядаються нижче, і їх зв'язок з практичними завданнями КГ залізниць на сучасному етапі.

**Аналіз основних досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми.** Результати досліджень, що висвітлюються нижче, базуються зокрема на наукових роботах [3-6]. Однак у цих роботах не повною мірою простежується комплексність заходів, які можна застосовувати (на певній ділянці залізниці) для збільшення строку служби рейкових плітей БК.

**Мета даної статті** полягає у визначенні комплексу заходів, які сприяють подовженню строку служби рейкових плітей безстикової колії в процесі її експлуатації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Конструктивно верхня будова БК монтується з рейко-шпальної решітки (РШР) і підшпальної основи (баластовий шар). Основним елементом, який сприймає динамічне навантаження від коліс рухомого складу, а потім передає це навантаження на інші елементи ВБК, є рейкові пліті і, як наслідок, динамічні напруження, що виникають у рейкових плітях під поїзним навантаженням, в основному, визначають ступінь напружень, які з'являються в інших елементах ВБК.

Головним недоліком конструкції БК є наявність зон зрівнювальних прогонів між суміжними рейковими плітями. У цих зонах спостерігається підвищений рівень динамічної взаємодії коліс рухомого складу та колії і, як наслідок, - інтенсивний вихід елементів ВБК за дефектами. Саме на ці ділянки БК припадає 70-80 % загальних витрат, пов'язаних з утриманням конструкції ВБК у справному стані.

Визначена особливість конструкції БК (наявність зон зрівнювальних прогонів і присутність стикових з'єднань рейок) обумовлює зниження експлуатаційної надійності елементів РШР, що в свою чергу негативно впливає на ефективність роботи конструкції БК в цілому при напрацюванні тоннажу.

У роботі [6] встановлено функціональні залежності виходу елементів конструкції БК у дефектні від обсягу напрацьованого тоннажу  $T$ , млн т бруто. У табл. 1 наведено математичні моделі, які характеризують сумарний одиночний вихід рейок у дефектні під час експлуатації БК (рейкові пліті довжиною  $l_{\text{пл}}=650$  м зварені з термозміцнених рейок типу Р65; залізобетонні шпали; щебеневий баласт; швидкість руху поїздів  $V=100$  км/год; середнє осьове навантаження  $P_{\text{ос}}=155$  кН).

Таблиця 1

Показник	Математична модель залежності $\gamma_{\text{рейок}} = f(T)$	
	зона середньої частини рейкових плітей	зона зрівнювальних прогонів
Сумарний поодинокий вихід у дефектні термозміцнених рейок типу Р65, шт./км	$\gamma_{\text{рейок}} = 0,56 \cdot 10^{-8} \cdot T^3$ (2)	$\gamma_{\text{рейок}} = 5,5 \cdot 10^{-8} \cdot T^3$ (3)

Видно, що інтенсивність появи дефектних рейок у зоні зрівнювальних прогонів значно вище (у даному випадку в 10 разів) порівняно з середньою частиною рейкових плітей (без урахування їх температурно-рухомих кінців). Тому ліквідація цих зон є діючим заходом

підвищення довговічності рейкових плітей БК в процесі експлуатації.

У табл. 2 наведено результати розрахунків з визначення інтенсивності ураження рейок дефектами для конструкції БК з плітями різної довжини. Розрахунки виконувалися із застосуванням залежностей (2-3).

Таблиця 2

Довжина, м		Функціональна залежність $\gamma_{\text{рейок}} = f(T)$ , шт./км
рейкової пліті	у т.ч. її середньої частини на 1 км БК [6]	
650	845	$\gamma_{\text{рейок}} = 1,33 \cdot 10^{-8} \cdot T^3$ (4)
1250	930	$\gamma_{\text{рейок}} = 0,91 \cdot 10^{-8} \cdot T^3$ (5)
2450	964	$\gamma_{\text{рейок}} = 0,74 \cdot 10^{-8} \cdot T^3$ (6)
4250	980	$\gamma_{\text{рейок}} = 0,66 \cdot 10^{-8} \cdot T^3$ (7)

Аналіз отриманих результатів свідчить, що при збільшенні довжини рейкових плітей БК спостерігається певне зниження параметра  $\gamma_{\text{рейок}}$  при напрацюванні тоннажу. Змінення величини цього параметра відбувається за деякою криволінійною залежністю й при  $l_{\text{пл}} > 4500$  м його значення наближається до 0,65 шт./км після пропускання 1 млн т бруто вантажу.

Таким чином, шляхом ліквідування зон зрівнювальних прогонів (як наслідок, скорочення температурно-рухомих кінців рейкових плітей) і доведення довжини останніх (плітей) до 4,5 км і більше можна удвічі знизити інтенсивність появи дефектних рейок (на 1 км колії) у процесі експлуатації БК. А це у свою чергу позитивно вплине на довговічність рейкових плітей та інших елементів ВБК.

На головних коліях I-IV категорій «життєвий» цикл конструкції БК (і відповідно строк служби рейкових плітей) обмежується напрацюванням 800 млн т бруто вантажу [8]. При цьому як додатковий критерій враховується допустимий сумарний вихід рейок з дефектності [ $\gamma_{\text{рейок}}$ ] на 1 км колії за весь період експлуатації. Для конструкції БК на ділянках означених категорій цей показник становить [ $\gamma_{\text{рейок}}$ ]=10 шт./км [9].

Якщо прийняти за основу вказане значення [ $\gamma_{\text{рейок}}$ ], можна визначити (за формулами з табл. 2) прогнозний строк служби  $T_{\text{прог}}$  рейкових плітей різної довжини (див. табл. 3) для прийнятих експлуатаційних умов (V; P<sub>ос</sub>).

Таблиця 3

$\ell_{пл}, м$	$T_{прог}, млн. т брутто$
650	920
1250	1030
2450	1110
4250	1150

Видно, що функція  $T_{прог} = f(\ell_{пл})$  відповідає криволінійній залежності, яка має зростаючий характер з асимптотою на рівні 1,2 млрд т брутто. Результати виконаних розрахунків добре кореспондуються з даними роботи [6], де строк служби рейкових плітей оцінюється у 1000-1100 млн т брутто.

Таким чином, задача, яка ставиться нині перед КГ, з підвищення «життєвого» циклу рейкових плітей до 1,1 млрд т брутто [7] може бути (певною мірою) досягнута шляхом збільшення їх (плітей) довжини (не менше 2,5 км) з ліквідуванням відповідних зон зрівнювальних прогонів.

Останнім часом у рамках системи ведення рейкового господарства як одне з пріоритетних напрямків розглядається профільне шліфування рейок (ПШР). Ця ремонтно-колійна робота виконується для оздоровлення поверхні кочення рейок (за рахунок зменшення розмірів геометричних нерівностей на головці рейок або повної їх ліквідації) і відновлення робочого профілю головки рейок шляхом зняття поверхневого (перенаклепаного) шару металу на ній (на головці). При цьому змінюються певні параметри технічного стану рейок, поліпшуються умови їх взаємодії з колесами рухомого складу, забезпечуються більша рівномірність й зниження рівня динамічних сил, що діють на елементи конструкції ВБК.

Геометричні нерівності на поверхні кочення рейок поділяються на довгі, середні та короткі. Останні (тобто короткі нерівності) суттєво впливають на рівень динамічного навантаження, що діє з боку рухомого складу на ВБК, і можуть бути у вигляді хвилеподібного зносу головки, її

ізолюваної нерівності, сідловин у зварних стиках і пробуксовок.

У роботі [4] досліджувалося зміння величини вертикальної динамічної сили  $P_{верт}$ , що передається від коліс вантажного (чотиривісного) вагона на рейкові пліті типової конструкції БК залежно від швидкості рухомого складу  $V$ , а також її (сили) складової  $P_{нер}$ , яка обумовлена наявністю геометричної нерівності на поверхні кочення головки рейок. За результатами цих досліджень функції  $P_{верт} = f(V)$  і  $P_{нер} = f(V)$  відповідають (для прийнятих умов) математичній моделі вигляду

$$P = A + B(V - 30), \quad (8)$$

де  $A, B$  – емпіричні величини (наведені у роботі [4]).

Зростання коротких нерівностей на головці рейок призводить до підвищення величини визначених сил ( $P_{верт}$  та  $P_{нер}$ ). При цьому погіршуються умови взаємодії рухомого складу та колії, ускладнюється робота елементів ВБК і, як наслідок, у ряді випадків виникає необхідність обмеження (на конкретній ділянці БК) швидкості руху поїздів.

У процесі експлуатації при напрацюванні тоннажу  $T$  геометричні нерівності на поверхні кочення рейок розвиваються. Встановлено [10], що зміння (приріст) їх глибини (параметр  $\Delta \epsilon_{нер}$ ) залежить від вантажонапруженості дільниці  $\Gamma$ , млн ткм брутто/км колії за рік,  $V$ , км/год і  $T$ , млн т брутто і відповідає (для термозміцнених рейок типу Р65) математичній моделі

## Будівельні матеріали та конструкції

$$\Delta e_{\text{нер}} = (0,87 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0,54 \cdot 10^{-6} \cdot \Gamma - 1,25 \cdot 10^{-4}) \Delta T, (9)$$

де  $\Delta T$  – пропущений тоннаж (при зростанні глибини нерівності від  $e_{\text{нер}1}$  до  $e_{\text{нер}2}$ ).

Область застосування формули (9):  $V > 25$  км/год;  $\Gamma > 10$  млн ткм брутто/км за рік.

У табл. 4 наведено результати розрахунків величини  $\Delta e_{\text{нер}}$  залежно від параметра  $\Delta T$  (для діапазону  $\Gamma = 10 - 40$  млн ткм брутто /км за рік і  $V = 100$  км/год).

Таблиця 4

Г	Значення $\Delta e_{\text{нер}}$ , мм при $\Delta T$ , млн т брутто									
	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
10	0,19	0,38	0,56	0,75	0,94	1,13	1,31	1,50	1,69	1,88
20	0,19	0,38	0,57	0,76	0,94	1,13	1,32	1,52	1,70	1,89
30	0,19	0,38	0,57	0,76	0,95	1,14	1,33	1,52	1,71	1,90
40	0,19	0,38	0,57	0,76	0,96	1,15	1,34	1,53	1,72	1,92

Математична обробка даних у табл. 4 дозволила встановити функціональну залежність  $\Delta e_{\text{нер}} = f(\Delta T)$ , яка має лінійний характер й описується формулою (з областю застосування  $\Delta T = 25 - 250$  млн т брутто)

$$\Delta e_{\text{нер}} = 0,19 + b(\Delta T - 25), (10)$$

де  $b$  – коефіцієнт пропорційності, значення якого залежить від  $\Gamma$  та  $V$  (див. табл. 5).

Таблиця 5

V, км/год	Г, млн ткм брутто/км за рік	Значення коефіцієнта b
100	10	0,00751
	20	0,00756
	30	0,00760
	40	0,00769

Застосовуючи формулу (10) і враховуючи рекомендації, наведені у роботі [5], для конкретної ділянки колії з певними експлуатаційними умовами, можна встановити необхідну періодичність виконання ПШР (у межах «життєвого» циклу ВБК) і скоригувати міжремонтну схему (для даної ділянки колії).

Так, наприклад, на ділянці колії (з  $\Gamma = 30$  млн ткм брутто/км за рік;  $V = 100$  км/год) початкове значення параметра  $e_{\text{нер}}$  становить 0,3 мм. Згідно з роботою [5] на цій ділянці геометричні нерівності на головці рейкових плітей не

повинні по глибині перевищувати 1 мм. За даними табл. 4 параметр  $e_{\text{нер}} = 1$  мм слід очікувати після напрацювання 100 млн т брутто тоннажу, тобто у даному випадку роботи з ПШР необхідно призначати до виконання через кожні три роки експлуатації конструкції БК.

Набутий досвід свідчить, що періодичне шліфування рейкових плітей сприяє збільшенню строку служби їх (та інших елементів ВБК) у 1,5-2 рази. Це підтверджує ефективність ПШР як заходу з підвищення довговічності рейкових плітей і їх «життєвого» циклу.

**Висновки з даного дослідження.**  
Комплекс заходів (ліквідування зон зрівнювальних прогонів БК та доповнення міжремонтної схеми роботами з

періодичного ПШР) слід розглядати ефективними технологіями підвищення довговічності рейкових плітей під час їх експлуатації.

### *Список використаних джерел*

1. Довідник основних показників роботи залізниць України (2001-2011 роки) [Текст]. – К., 2012. – 53 с.
2. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст] / Міністерство транспорту України. – К., 2003. – 133 с.
3. Чорний, Ю.Я. Конструкція безстикової колії та експлуатаційний вихід за дефектами її елементів [Текст] / Ю.Я. Чорний, А.М. Штомпель // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 118. – С. 152-156.
4. Бугеря, А.В. Нерівності поверхні кочення рейок та їх вплив на стан конструкції колії [Текст] / А.В. Бугеря, В.Г. Дроботенко, А.М. Штомпель // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 126. – С. 213-216.
5. Абдурашитов, А.Ю. Профильное шлифование рельсов [Текст] / А.Ю. Абдурашитов // Путь и путевое хозяйство. – 2005. – № 4. – С. 14-20.
6. Андреев, Г.Е. Многократное использование элементов путевой решетки с железобетонными шпалами [Текст] / Г.Е. Андреев, Т.А. Лапидус, Г.В. Мельков. – М.: Транспорт, 1989. – 143 с.
7. Абдурашитов, А.Ю. Повышение срока службы пути [Текст] / А.Ю. Абдурашитов // Путь и путевое хозяйство. – 2012. – № 12. – С. 13-15.
8. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України [Текст]. – К., 2004. – 40 с.
9. Положення про систему ведення колійного господарства на залізницях України [Текст] / Е.І. Даніленко, М.І. Карпов, В.О. Яковлев та ін. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2011. – 96 с.
10. Скубак, В.Ф. Отказы рельсов и продление их срока службы [Текст] / В.Ф. Скубак, В.Л. Порошин, В.В. Порошин, О.И. Цысь // Путь и путевое хозяйство, 1997. – № 5. – С. 10-12.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.А. Плуґін

---

Штомпель Анатолій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 730-10-24.

Натягова Лариса Анатоліївна, студент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 730-10-24.

Портянкін Микита Вікторович, студент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 730-10-24.

Shtompel Anatoly, cand. of techn. sciences department track and travel industry Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: 730-10-24.

Natyahova Larisa A., stud. department of track and travel industry Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: 730-10-24.

Portyankin Nikita V., stud. department of track and travel industry Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: 730-10-24.

УДК 691.32

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ

Канд. техн. наук О.В. Романенко

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ

Канд. техн. наук А.В. Романенко

## PECULIARITIES OF MANUFACTURING TECHNOLOGY REINFORCED CONCRETE SLEEPERS

Cand. of techn. sciences O.V. Romanenko

*Виробництво залізобетонних шпал здійснюється в Україні за дуже енергоємною технологією, обумовленою застосуванням тепловологісної обробки шпал.*

*У роботі наведено статистичні дані використання режимів тепловологісної обробки на заводах ЗБШ України, що дає змогу визначити складову газу в собівартості шпал і дає змогу визначити економічний ефект від впровадження особливо швидкотверднучого бетону при виробництві залізобетонних шпал.*

**Ключові слова:** бетон, тепловологісна обробка, залізобетонна шпала, завод ЗБШ, газ, собівартість.

*Производство железобетонных шпал осуществляется в Украине по очень энергоемкой технологии, обусловленной применением тепловлажностной обработки шпал.*

*В работе приведены статистические данные использования режимов тепловлажностной обработки на заводах ЖБШ Украины, позволяющие определить составляющую газа в себестоимости шпалы и рассчитать экономический эффект от внедрения особо быстротвердеющего бетона при производстве железобетонных шпал.*

**Ключевые слова:** бетон, тепловлажностная обработка, железобетонная шпала, завод ЖБШ, газ, себестоимость.

*Production of concrete sleepers in Ukraine is at a very energy-intensive technologies due to the use of thermal- processing sleepers. Given the rise in prices of energy occurs in the recent times, the reduction of thermal- processing mode or full rejection of it is a very urgent task. The urgency of this problem has increased the need to increase the production of concrete sleepers in connection with the growing need of the Ukrainian railways in them.*

*The paper presents statistical data using modes of thermal- processing concrete othe cost of sleepers and allows the definition of the economic effect of the introduction of osoblivoshvidkotverdnuchogo concrete in the production of concrete sleepers*

**Keywords:** concrete, reinforced concrete sleepers, gas, prime cost.

**Вступ.** При виробництві залізобетонних шпал та інших попередньо напружених залізобетонних конструкцій на підприємствах передаточну міцність зазвичай забезпечують за рахунок їх тепловологісної обробки (ТВО) парою, яка виробляється газовими котельнями.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** У статті, яка є результатом досліджень кафедри БМКС УкрДАЗТ, аналізується доцільність заміни ТВО на заводах України



іншими способами прискорення твердіння бетону.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Особливості технології виробництва залізобетонних шпал проаналізовані за результатами виконаних раніше обстежень заводів залізобетонних шпал: Гніванського ЗСЗБ, Київського ДЗЗБШ [1], Коростенського ЗЗБШ [2], Кременчуцького ЗЗБШ [3], Старокостянтинівського ЗЗБШ, в останньому з яких автор брав особисту участь.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Основним завданням є виявлення складової газу в собівартості виробництва залізобетонних шпал для визначення економічного ефекту від впровадження особливо швидкотверднучого бетону, розробленого на кафедрі БМКС УкрДАЗТ.

**Основна частина дослідження.** У табл. 1 наведено склади бетонів, які застосовуються на заводах ЗБШ (за результатами досліджень [1-3]).

Таблиця 1

Склади бетону, застосовувані підприємствами з виробництва залізобетонних шпал для досягнення потрібної передаточної міцності за даними робіт [1-3]

ЗЗБШ	Рік	Дрібний заповнювач		$\alpha_{opt}$	$\mu_{opt}$	Номинальний склад бетону, кг/м <sup>3</sup>				В/Ц	$\alpha$	$\mu$	$\Delta\alpha, \%$	$\Delta\mu, \%$
		місце видобування	$M_k$			Щ	П	Ц	В					
Гніванський ЗСЗБ	1998	Славутський кар'єр	2,55	1,23	1,74	1243	620	450	143	0,32	1,30	1,21	5,7	-30,5
Київський ДЗЗБШ	2000	Київський річковий порт*	1,47	1,10	2,69	1285	615	409	139	0,34	1,06	1,61	-3,6	-40,1
Коростенський ЗЗБШ	2000	Київський річковий порт*	1,48	1,13	2,23	1194	675	455	147	0,32	1,22	1,46	8,0	-34,5
		Ігнатопольський кар'єр	2,05	1,20	1,74	1204	681	453	139	0,31	1,34	1,61	11,7	-7,5
Кременчуцький ЗЗБШ	2003	Кременчуцький річковий порт*	1,75	1,18	1,37	1191	640	457	161	0,35	1,37	1,80	16,1	31,4
Старокостянтинівський ЗЗБШ	2008	Ігнатопольський кар'єр	2,25	1,15	1,74	1250	585	464	160	0,34	1,15	1,76	0,0	1,1

Примітка. \* пісок річковий дніпровський.

У цілому технологія виробництва шпал відповідає загальноприйнятій технології виробництва збірного залізобетону [4–10]. Цехи, у яких виготовляють шпали, поділені на п'ять ділянок: арматурна; підготовки і оснащення форм; формувальна; ТВО; розпалублення,

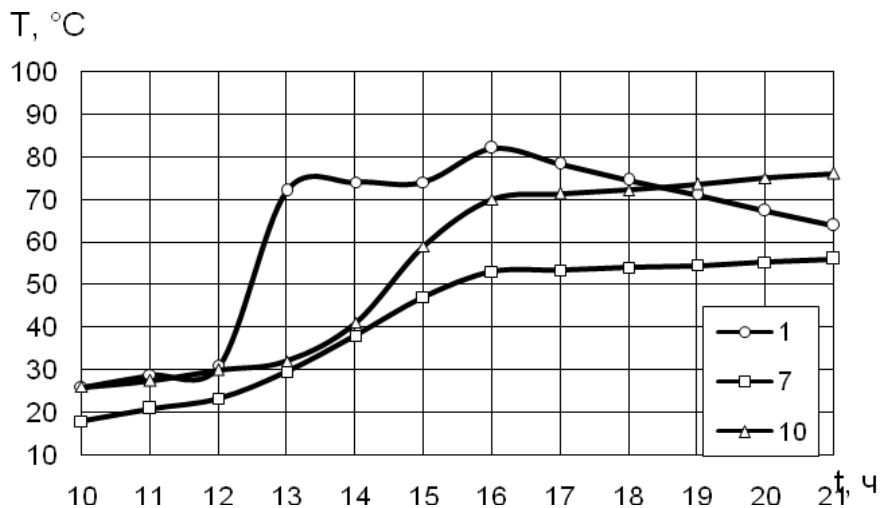
що передує вихідному контролю якості і передачі шпал на склад.

Найбільш енергоємним етапом виготовлення шпал є ТВО, яка здійснюється в пропарювальних камерах ямного типу. Режими ТВО, які застосовувались на Гніванському ЗСЗБ,

Київському ДЗЗБШ [1], Коростеньському ЗЗБШ [2], Кременчуцькому ЗЗБШ [3],

Старокостянтинівському ЗЗБШ, наведені на рис. 1-5 і в табл. 2.

а)



б)

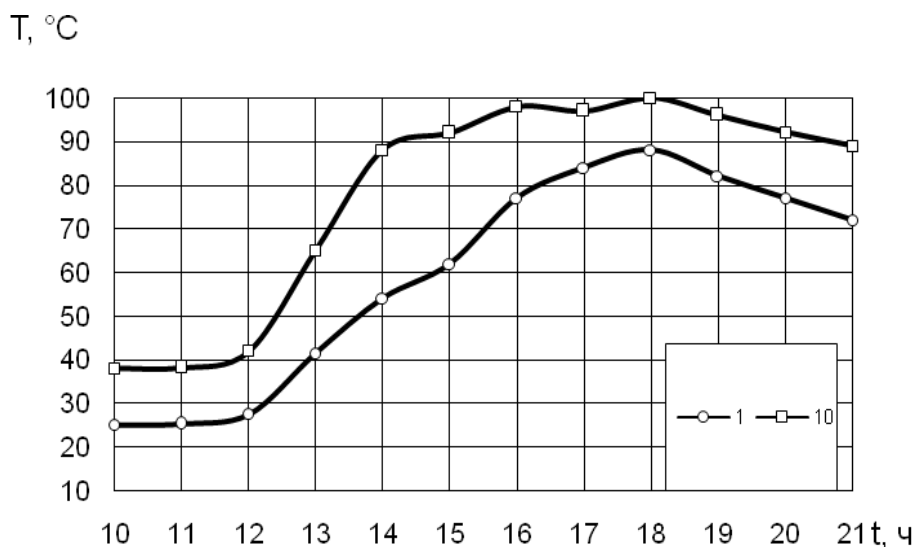
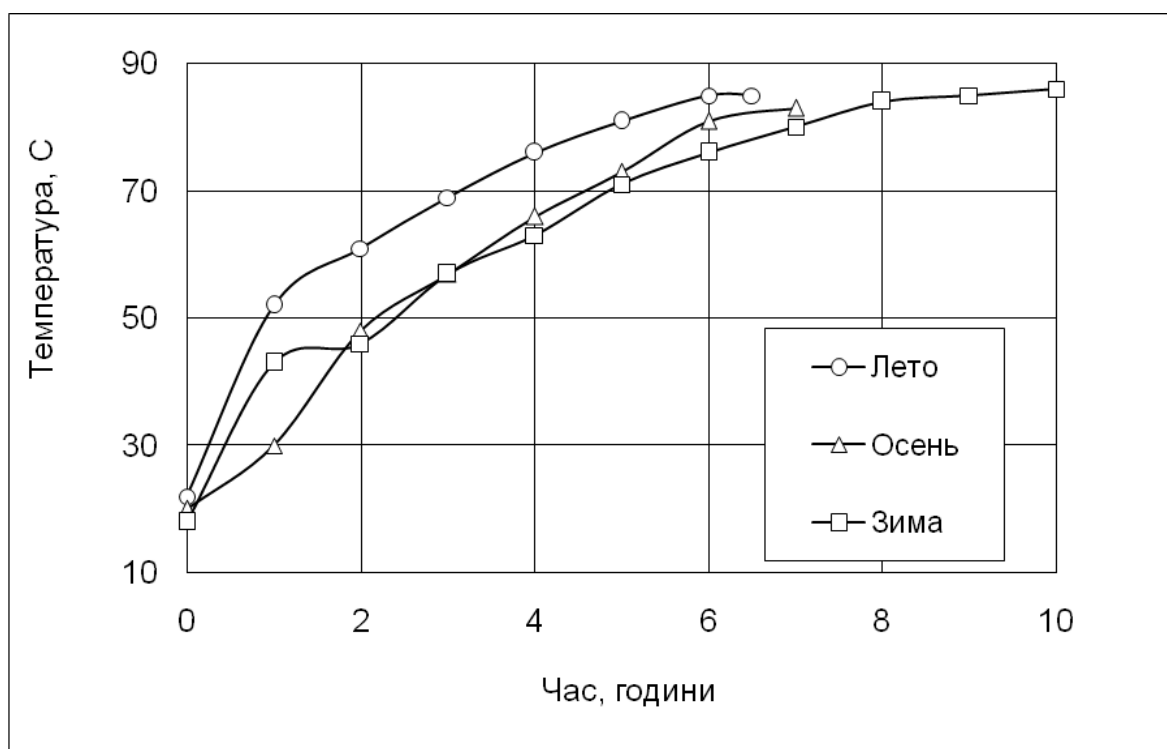


Рис. 1. Фактичні режими ТВО залізобетонних шпал на Гніванському ЗСЖБ:  
а – на лінії № 1; б – на лінії № 02 (цифрами позначені номери датчиків)

а)



б)

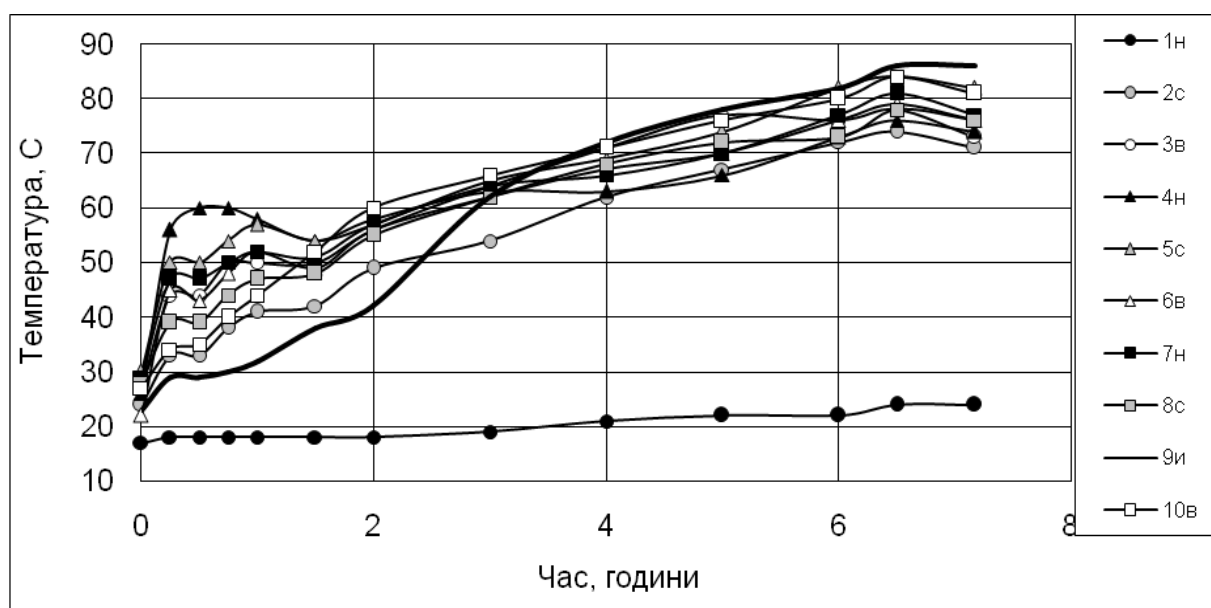


Рис. 2. Режимы ТВО железобетонных шпал на Київському ДЗЗБШ [1]:  
 а – за даними журналів ТВО, б – за результатами безпосередніх вимірів (цифрами позначені номери датчиків; н – датчик у нижній частині камери; з – датчик посередині висоти камери; в – датчик у верхній частині камери)

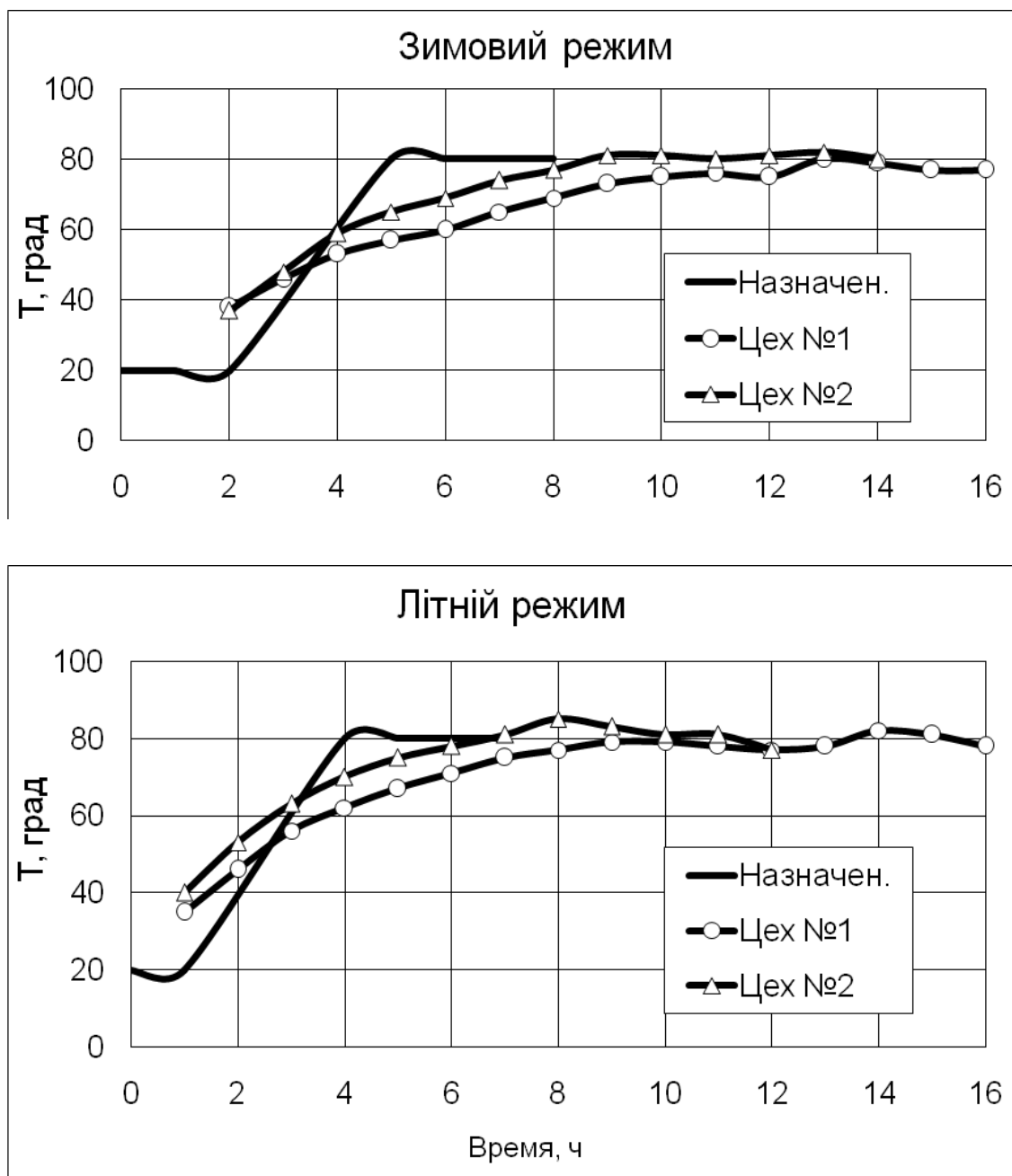


Рис. 3. Назначені і фактичні (за даними журналів ТВО для цехів № 1 і № 2) режими ТВО залізобетонних шпал на Коростеньському ЗЗБШ [2]

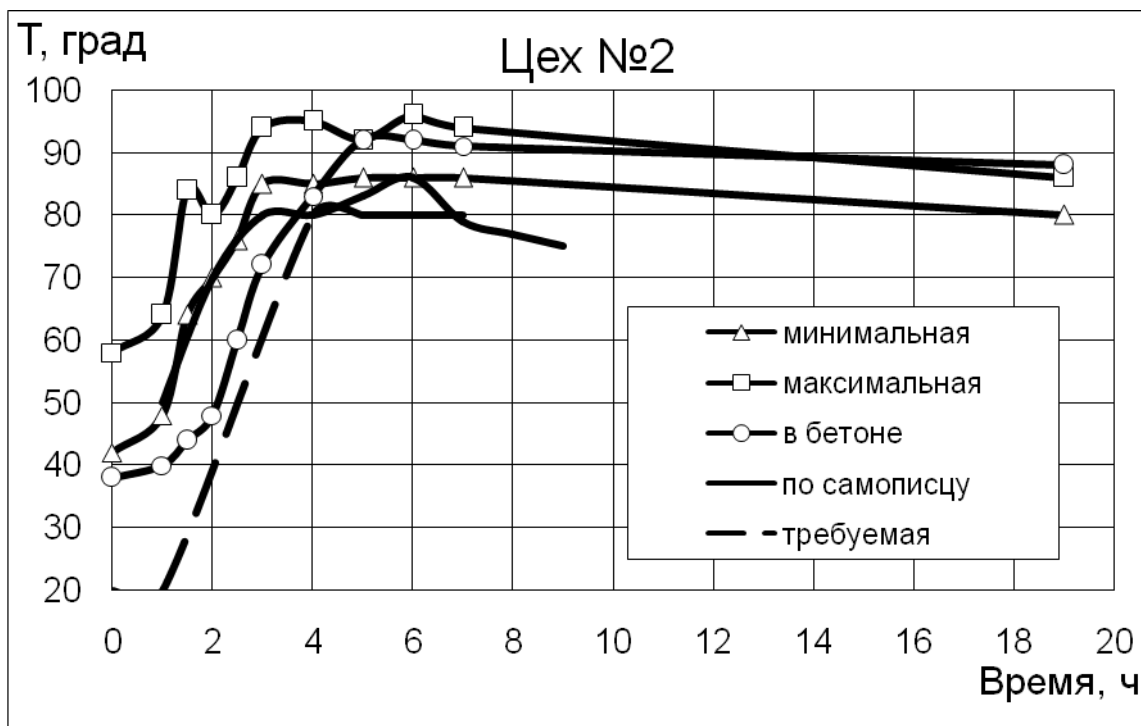
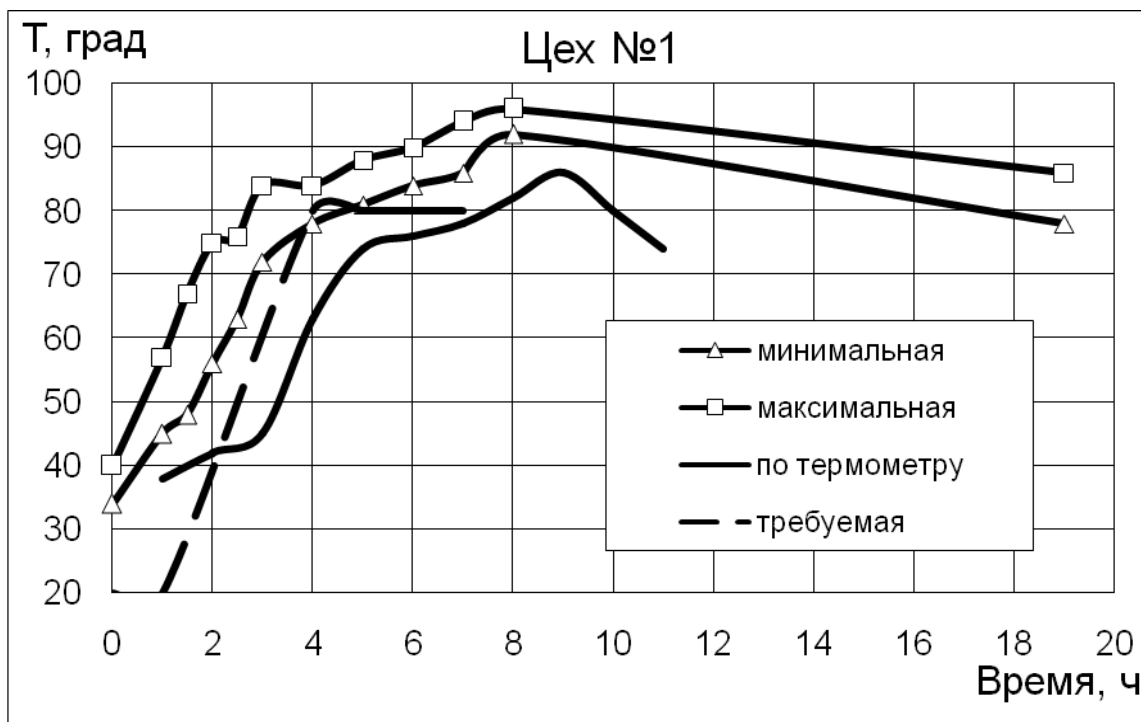


Рис. 4. Фактичні режими ТВО залізобетонних шпал у цехах № 1 та № 2 на Коростеньському ЗЗБШ [3]

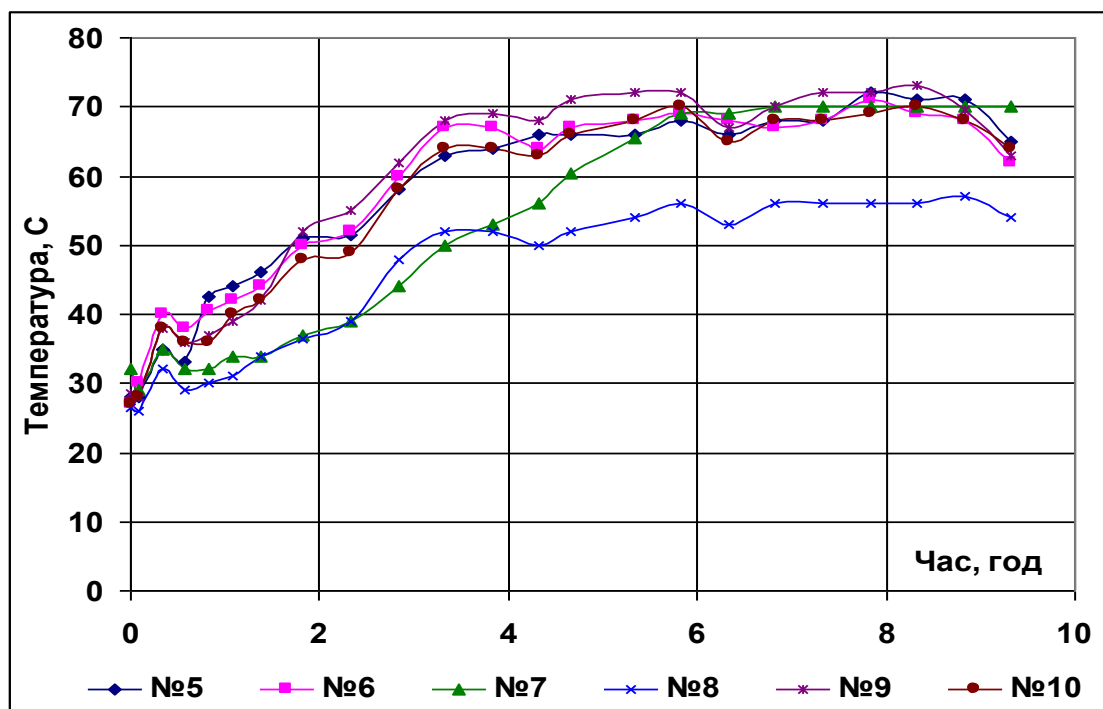


Рис. 5. Фактичні режими ТВО залізобетонних плит БМП на Старокостянтинівському ЗЗБШ (цифрами позначені номери датчиків)

Таблиця 2

Режими ТВО залізобетонних шпал на підприємствах України

Підприємство	Рік	Режим ТВО (підйом температури + ізотермічний прогрів) <sup>1</sup> , год	Температура, °С		Умовна витрата тепла, °С×год
			Діапазон <sup>2</sup>	Середня	
Гніванський ЗСЖБ	1998	літо 6(4+2); зима 9(4+5)	70–100	75	565
Київський ДЗЗБШ	2000	літо 6,5(6+0,5); зима 8(6+2)	75–85	80	460
Коростенський ЗЗБШ	2000	8(4+4)	80–95	85	550
Кременчуцький ЗЗБШ	2003	7(3+4)		90	360
Старокостянтинівський ЗЗБШ	2008	9(3,5+5,5)	55–75	65	506

Примітки: <sup>1</sup> попередня витримка на всіх підприємствах - 2 - 3 год;

<sup>2</sup> діапазон температури ізотермічного прогріву за обсягом камери.

Як бачимо, шпали піддаються досить інтенсивній ТВО з подачею пари від 6,5 до 9 год до забезпечення середньої температури ізотермічної витримки до 90 °С. Пар виробляється газовими

котельнями. Найбільш економічним був режим ТВО (умовна витрата тепла близько 460 °С×год), застосований на Київському ДЗЗБШ (на сьогодні шпали для залізниць не виробляє), який досягався тривалим

## Будівельні матеріали та конструкції

повільним підйомом температури і коротким ізотермічним прогрівом. У цілому основний недолік ТВО – висока енергоємність, зокрема витрата газу газовими котельнями, найбільш розповсюдженими на заводах. Витрати газу можуть бути скорочені на декілька десятків відсотків за рахунок застосування інтенсивної циркуляції пароповітряної суміші в пропарювальних камерах, компактних парогенераторів, розташованих

безпосередньо біля камер. Проте, враховуючи подорожчання газу останніми роками в декілька разів, ці заходи хоча і є доцільними, не можуть істотно знизити собівартість шпал.

У табл. 3 і на рис. 6 наведено результати розрахунку складової газу в собівартості однієї шпали за даними робіт [1–3] і відкритими даними про ціну на газ і курс долара США [11].

Таблиця 3

Збільшення складової газу в собівартості однієї залізобетонної шпали  
в період 2007 - 2012 рр.

Показник	Одиниця вимірювання	Кількість у цінах		
		кінець 2007 р.	початок 2009 р.	початок 2012 р.
Витрата газу на 1 м <sup>3</sup> бетону	м <sup>3</sup>	32	32	32
Витрата газу на 1 м <sup>3</sup> бетону	шт.	10	10	10
Витрата газу на 1 шпалу	м <sup>3</sup>	3,2	3,2	3,2
Ціна 1000 м <sup>3</sup> газу	дол.	200,00		412,5
	грн		2626,50	
Курс долара	грн	5,10		7,99
Ціна 1 м <sup>3</sup> газу	грн	1,02	2,63	3,30
Вартість газу на 1 шпалу	грн	3,26	8,40	10,55

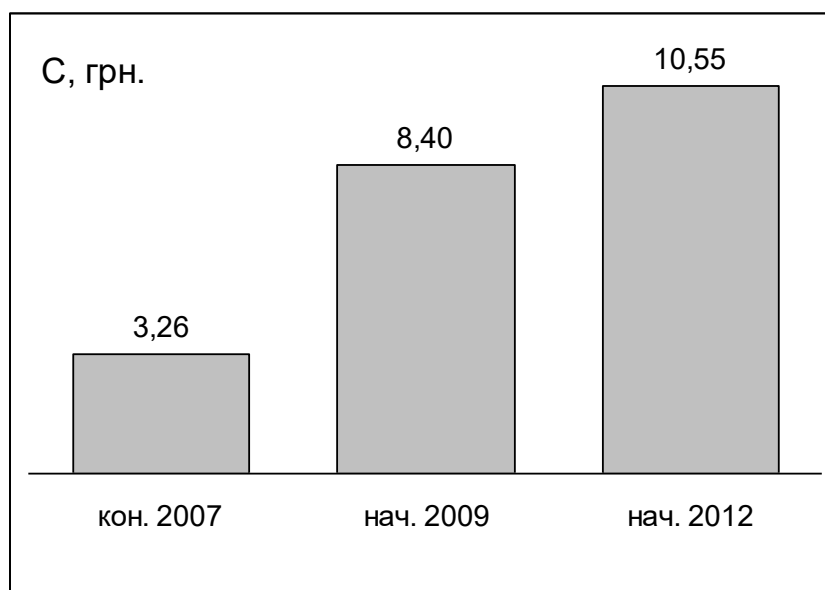


Рис. 6. Збільшення складової газу С в собівартості однієї залізобетонної шпали  
в період 2007-2012 рр.

Як бачимо, складова газу в собівартості однієї залізобетонної шпали зросла з 2007 по 2012 р. від 3,26 до 10,55 грн або в 3,24 разу, що підкреслює необхідність скорочення режиму ТВО або відмови від неї.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Встановлено, що тепловологісна обробка забезпечує досягнення необхідної передаточної міцності до розпалублення шпал, тобто

через 10–12 год. Зменшити складову газу в собівартості шпали можливо шляхом зниження температури ізотермічної витримки і тривалості ТВО і, відповідно, скорочення витрати пари та газу на виготовлення шпал. При цьому для досягнення необхідної передаточної міцності через 10–12 год після формування доцільно застосувати інші технологічні способи прискорення твердіння бетону, наприклад модифікуючі добавки.

### *Список використаних джерел*

1. Рекомендації з виготовлення залізобетонних шпал у відповідності до ТУ У 01116472.021-97 (для Київського експериментального заводу залізобетонних шпал) [Текст] / А.М. Пługін, О.А. Калінін, А.А. Пługін [та ін.] – Харків: ХарДАЗТ, 2000. – 58 с.
2. Рекомендації з удосконалення технології виробництва залізобетонних шпал у відповідності з ТУ У 01116472.021 (для Коростенського заводу залізобетонних шпал) [Текст] / А.М. Пługін, О.А. Калінін, А.А. Пługін [та ін.] – Харків: ХарДАЗТ, 2001. – 123 с.
3. Заключення щодо відповідності вимогам ТУ У 01116472.021 шпал залізобетонних попередньо напружених із зменшеною кількістю арматури для залізниць колії 1520 мм, що виробляються ЗАТ Кременчуцький ЗЗБШ-2 / А.М. Пługін, О.А. Калінін, А.А. Пługін [та ін.] – Харків: ХарДАЗТ, 2001. – 45 с.
4. Баженов, Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий [Текст] / Ю.М. Баженов, А.Г. Комар. – М.: Стройиздат, 1984. – 672 с.
5. Руководство по технологии формирования железобетонных изделий [Текст] / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1977. – 96 с.
6. Пособие по технологии формирования железобетонных изделий (к СНиП 3.09.01-85) [Текст] / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1988. – 112 с.
7. Руководство по тепловой обработке железобетонных изделий [Текст] / НИИЖБ; ВНИИжелезобетон. – М.: Стройиздат, 1974. – 32 с.
8. Пособие по тепловой обработке железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01-85) [Текст] / ВНИИжелезобетон. – М.: Стройиздат, 1989. – 49 с.
9. ДБН А.3.1-7-96. Виробництво бетонних та залізобетонних виробів [Текст] / НДІБВ. – К.: Укрархбудінформ, 1997. – 40 с.
10. Посібник до ДБН А.3.1-7-96. Виробництво бетонних та залізобетонних виробів [Текст] / НДІБВ. – К.: Укрархбудінформ, 1998. – 94 с.
11. Національний банк України: Офіційне Інтернет-представництво [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bank.gov.ua/control/uk/index>.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.А. Пługін

---

Романенко Олександр Валерійович, канд. техн. наук, асистент кафедри буд. матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-63. E-mail: roma\_kharkov83@mail.ru.

Romanenko Alexander V., cand. of techn. sciences, assistant of building materials, constructions and buildings department Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel: (057)730-10-63. E-mail: roma\_kharkov83@mail.ru.

---



УДК 622.822:622.271

**ПРОМЕРЗАНИЕ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ КАЗАХСТАНА**

Доктора техн. наук А.Д. Омаров, Т.С. Саржанов, Г.С. Мусаева

**ПРОМЕРЗАННЯ ҐРУНТІВ ОСНОВ ЗАЛІЗНИЧНИХ ШЛЯХІВ КАЗАХСТАНУ**

Д-ри техн. наук А.Д. Омаров, Т.С. Саржанов, Г.С. Мусаєва

**FREEZING GROUNDWATER BASED KAZAKHSTAN RAILWAYS**

Doctors of techn. sciences A.D. Omarov, T.S. Sarzhanov, G.S. Musaeva

*У запропонованій статті на основі аналізу стану ґрунтів та гірських порід в різний час року встановлена глибина промерзання і тривалість мерзлого періоду, що дозволило виконати районування території Казахстану за цією важливою ознакою, яка впливає на працездатність земляного полотна залізниць.*

**Ключові слова:** залізниця, земляне полотно, ґрунт, промерзання, підзона, районування.

*В предлагаемой статье на основе анализа состояния грунтов и горных пород в различное время года установлена глубина промерзания и продолжительность мерзлого периода, что позволило выполнить районирование территории Казахстана по этому важному признаку, влияющему на работоспособность земляного полотна железных дорог.*

**Ключевые слова:** железная дорога, земляное полотно, ґрунт, промерзание, подзона, районирование.

*In this article on the basis of analysis the condition of soil and rock in the different times of year is planted depth of freeze and duration of freezing period, that allowed to carry out dividing the territory of Kazakhstan on this important sign, influencing for the capacity for work of permanent railway track.*

*Study of climatic conditions allowed to establish water-heat mode subgrade, choose the rational design, to justify the estimated subgrade soil conditions, as well as solve other engineering problems related to design and construction, and operation of railways.*

**Keywords:** permanent way, soil, freezing, dividing zone.

**Введение.** Изучение и оценка физико-механических свойств грунтов и горных пород необходимы для проектирования, строительства и эксплуатации пути и являются одними из наиболее сложных и наименее изученных проблем в области физических процессов, происходящих в горном массиве и основании железнодорожного пути. На практике изучение свойств грунтов и горных пород ограничивается лабораторными исследованиями, без учета динамических воздействий подвижного состава на путь и

длительности эксплуатации железных дорог.

**Постановка задачи.** Такой подход не удовлетворяет запросам проектировщиков, строителей и эксплуатационников железных дорог, поэтому необходимо изучить и оценить грунтовое основание магистральных и карьерных железных дорог, что позволит определить вероятность появления грунтов различного типа, лежащих в основании железных дорог, а также пределы изменения физико-механических свойств наиболее распространенных грунтов.

**Изложение материала.** В 1974 году А.А. Малышев и другие ученые [1] публикуют схему районирования. Относительная однородность выделенных районов установлена по четырем факторам: виду грунта сезоннооттаивающего слоя; его влажности; характеру распределения вечномёрзлых грунтов и их температур; мощности деятельного слоя.

Занимаясь вопросами районирования, В.М. Сиденко предложил перейти от дорожно-климатического к дорожному районированию, представляя его как метод объединения однородных территорий по каким-либо признакам, которые оказывают существенное влияние на проектирование, строительство и эксплуатацию дорог [2]. Он ставит вопрос о необходимости разработки зональных технических условий, которые должны отражать особенности природных условий и специфику проектирования, строительства и эксплуатации дорог в каждой зоне, дополнив Строительные нормы СН 449-72.

Из зарубежных работ, посвященных данной теме, можно выделить работу «Зависимость проектирования дорог от местных физико-географических условий», где обобщены сведения о местных дорожно-строительных материалах, несущей способности грунтов и их изменения под влиянием увлажнения. По комплексу этих условий территория США разделена на 97 физико-географических районов.

В последнее время наметилась тенденция к созданию различного рода математических моделей географической среды. В частности, Smith W.L. предлагает вероятностную модель оценки окружающей среды, землеиспользования, плотности населения и других факторов [3]. Метод трассирования с помощью «стоимостных линий и зон» предложен Othanassoulis G.C. и Calogero V.F. [4]. Американские специалисты Kuhn J.A. и Goggin J. предложили систему анализа природных условий и хозяйственной деятельности человека с помощью специальных карт [5].

По данным В.М. Сиденко [6-8], в рассматриваемых подзонах распространены сероземы, пески и почвы горных районов. Сероземы макропористы, отличаются высоким содержанием в грунтах пылеватых частиц, преобладанием легких пылеватых суглинков и тяжелых пылеватых супесей. Они относятся к пучинистым и сильнопучинистым грунтам, легко размокают при увлажнении, в сухом состоянии плохо сопротивляются внешним воздействиям и на грунтовых поверхностях под действием автомобилей быстро истираются и превращаются в несвязную массу.

Важной характеристикой, определяющей водно-тепловой режим грунтов полотна, являются осадки, величина годовой суммы которых на территории Казахстана колеблется от 75 мм в юго-западной до 300 мм в юго-восточной и северо-восточной частях. Основное количество осадков выпадает в зимне-весенний период [9]. Следовательно, даже небольшое годовое количество осадков, при их неравномерном выпадении во времени, может существенно повлиять на влагонакопление в полотне и, как следствие, на образование деформаций на основной площадке, при наличии или отсутствии балластного слоя, а также на устойчивость откосов земляного полотна.

Изучение природно-климатических условий позволяет установить водно-тепловой режим земляного полотна, выбрать рациональную конструкцию, обосновать расчетное состояние грунта земляного полотна, а также решить другие инженерные задачи, связанные с проектированием и строительством, эксплуатацией железных дорог.

На работу земляного полотна и балластной призмы большую роль оказывает продолжительность мерзлого состояния грунтов, так как в зимнее время повышается жесткость пути, повышается сопротивляемость грунтов сдвигу.

При действии поездной нагрузки и при повышенной влажности в отдельных точках грунтового массива земляного

полотна эффективные напряжения могут превзойти внутренние связи между частицами грунта, при этом могут возникнуть скольжения (сдвиги) одних частиц или их агрегатов по другим и нарушатся сплошность грунта в некоторой области, т.е. прочность грунта будет исчерпана. При замерзании грунтового массива внутренние связи между частицами повышаются и грунт становится прочным.

В песчаных грунтах внутренним сопротивлением, препятствующим сдвигу частиц, будет трение, возникающее в точках контакта частиц. В идеально связных грунтах (вязкие дисперсные глины) силами внутреннего сопротивления сдвигу будут структурные связи и вязкость водно-коллоидных частиц, т.е. силы сцепления. В глинистых грунтах (супеси, суглинки и глины) сопротивление сдвигу обусловлено трением и сцеплением.

Определение показателей сопротивления грунтов сдвигу имеет важное значение для строительной практики, т.к. обуславливает точность инженерных расчетов грунтов: определение предельной нагрузки

на грунт, устойчивости массивов грунта, давлений на подпорные стенки и др.

Профессором А.Н. Зелениным установлена связь между прочностью грунта и температурой его промерзания [10]:

$$C = A \cdot t^{0.5}, \quad (1)$$

а также закономерность изменения температуры мерзлого фунта от глубины залегания

$$t = A \cdot h^{0.5}. \quad (2)$$

В формулах (1) и (2):  $A$  – коэффициент, определяемый экспериментальным путем;  $t$  – температура фунта;  $h$  – глубина залегания, м.

Используя фактические показатели прочности грунта  $C$ , определим глубину промерзания  $h$  для участков железных дорог Казахстана [11,12]. В табл. 1 приведена глубина промерзания грунтов и продолжительность мерзлого состояния грунтов по некоторым участкам железных дорог Казахстана.

Таблица 1

Глубина промерзания грунтов и продолжительность мерзлого состояния грунтов по некоторым участкам железных дорог Казахстана

Участки железных дорог	Продолжительность мерзлого состояния грунтов, мес.	Среднемаксимальная глубина промерзания, м
Отар - Сары-Озек	4,7	0,44
Сары-Озек - Актогай	4,4	0,35
Отар - Шу	4,0	0,29
Саксаульская - Сатимсак	4,6	0,45
Опорный - Узень	4,3	1,0
Сагиз - Атырау	3,0	0,8
Уральск - Чингирлау	4,5	1,2
Кандагач - Саксаульская	5,9	1,6
Ерментау - Павлодар	5,7	2,3
Койбагар - Сергеевка	4,9	1,6
Макинск - Новоишимская	5,9	2,4
Астана - Осакаровка	5,8	2,3
Новоишимская - Кустанай	5,8	2,3
Жарык - Жезказган	4,6	1,2
Осакаровка - Южный	4,6	1,2
Шемонаиха - Зыряновск	5,4	1,0
Актогай - Семей	5,2	1,4

## Будівельні матеріали та конструкції

Для проверки расчетных и фактических данных по числу  $C$  результатов, приведенных в табл. 1, произведено сравнение их значений для некоторых городов России (Новосибирск, Барнаул, Саратов) (табл. 2).

Анализ данных табл. 2 показывает, рассчитанные числа  $C$  не отличаются от фактических данных. Относительное отклонение расчетного и фактического числа находится в пределах  $0,73 \div 1,15$ . Это

показывает, что вышеуказанная методика определения числа  $C$  вполне приемлема для инженерных расчетов.

Установленные свойства грунтов позволили районировать территорию Казахстана по глубине промерзания и продолжительности мерзлого состояния грунтов и горных пород оснований магистральных и карьерных железных дорог Казахстана. На рисунке приведена карта Казахстана с указанием этих районов.

Таблица 2

Расчетные и фактические данные числа  $C$  ударника ДорНИИ от глубины мерзлого слоя грунта

Глубина от поверхности грунта, см	Фактические и расчетные значения числа $C$ и их относительные отклонения								
	Саратов			Барнаул			Новосибирск		
	Фактические	Расчетные	Отклонение	Фактические	Расчетные	Отклонение	Фактические	Расчетные	Отклонение
160	-	-	-	60	65	0,93	100	105	0,95
120	-	-	-	135	140	0,96	150	165	0,91
100	25	30	0,73	-	-	-	-	-	-
80	75	65	1,15	210	215	0,98	200	220	0,91
40	135	150	0,9	285	290	0,98	265	280	0,95
0	220	220	1	360	360	1	340	340	1



Рис. Условные зоны железных дорог Казахстана:

1 – территория по глубине промерзания грунта до 1 м; II - территория по глубине промерзания грунта от 1 до 2 м; III - территория по глубине промерзания грунта свыше 2 м; 1,2,3,4,5 – зоны территории железных дорог Казахстана

**Вывод.** На основе анализа состояния грунтов и горных пород в различное время года установлена глубина промерзания и продолжительность мерзлого периода, что позволило выполнить районирование

территории Казахстана по этому важному признаку, влияющему на работоспособность земляного полотна железных дорог.

### *Список использованных источников*

1. Малышев, А.А. Земляное полотно автомобильных дорог в северных условиях [Текст] / А.А. Малышев [и др.]. – М.: Транспорт, 1974. – 279 с.
2. Сиденко, В.М. Автомобильные дороги (Совершенствование методов проектирования и строительства) [Текст] / В.М. Сиденко [и др.]. – К.: Будівельник, 1973. – 76 с.
3. Smith, W.L. Rational location of a highway corridor: a probabilistic approach [Text] / W. L. Smith // Highway Res. Rec. – 1971. – № 348. – P. 42-60.
4. Athanassoulis, G.G. Computer technique for route planning [Text] / G.G. Athanassoulis, V.A. Calogero // Highway Eng. – 1973. – №4, v.1. – P. 20.
5. Kuhn, J.A. Environmental mapping: an ecological methodology for highway impact analysis [Text] / J.A. Kuhn, J.L. Gaggin // Abragment. Highway Res. Rec. – 1973 – № 467. – P. 26-33.
6. Сиденко, В.М. Проектирование, строительство и организация возведения земляного полотна в засушливых районах [Текст]: учеб. пособие для студентов автодорожных спец. вузов / В.М. Сиденко, Н. Ильясов. – Т.: Укитувчи, 1983. – 288 с.
7. Сиденко, В.М. Расчет и регулирование водно-теплового режима дорожных одежд и земляного полотна [Текст] / В.М. Сиденко. – М.: Автотрансиздат, 1962. – 156 с.
8. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд [Текст] / Н.А. Пузаков, В.М. Сиденко [и др.]; под ред. проф. И.А. Золотаря. – М.: Транспорт, 1971. – 416 с.
9. Фазилов, Т.Н. Закрепление подвижных песков вяжущими веществами [Текст] / Т.Н. Фазилов. – Ташкент: Фан, 1987. – 103 с.
10. Зеленин, А.П., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для землеройных работ [Текст] / А.П. Зеленин, В.И. Баловнев, И.П. Керов. – М.: Машиностроение, 1975. – 422 с.
11. Кабашев, Р.А. Дорожные и строительные машины: абразивный износ рабочих органов землеройных машин [Текст] / Р.А. Кабашев. – Алматы: Ғылым, 1997. – 424 с.
12. Омаров, А.Д. Грунтовый фон оснований железных дорог Казахстана [Текст] / А.Д. Омаров; под ред. д.т.н., проф. Р.А. Кабашева. – Алматы: «Ғылым», 1998. – 110 с.

---

Омаров Амангельды Джумагалиевич, доктор технических наук, профессор, действительный член Международной академии транспорта, действительный член Международной академии информатизации, Президент Учреждения «Многопрофильный учебно-научно производственный комплекс, Гуманитарный Университет транспорта и права имени Д.А. Кунаева», ректор ГУТиП им. Д.А.Кунаева, (Республика Казахстан, Алматы).

Саржанов Тайжан Садыханович, доктор технических наук, профессор института путей сообщения при ГУТиП им. Д.Кунаева, (Республика Казахстан, Алматы).

Мусаева Гульмира Сериковна, доктор технических наук, профессор Казахской академии транспорта и коммуникаций имени М.Тынышпаева, (Республика Казахстан, Алматы).

Omarov Amangeldi Dzhumagalievich, doct. of techn. sciences, professor, member of the International Academy of Transport, Member of the International Academy of Informatization, president of the institution, "Multidisciplinary educational, research and production complex, University of Humanities and Law of transport DA Kunaeva "Rector GUTiP them. DAKunaev (Almaty, Kazakhstan).

Sarzhanov Tayzhan Sadyhanovich, doct. of techn. sciences, professor at the Institute of Communications GUTiP them. D.Kunaev (Almaty, Kazakhstan).

Musaeva Gulmira Serikovna, doct. of techn. sciences, professor of the Kazakh Academy of Transport and Communication named M. Tynyspaev (Almaty, Kazakhstan).

---

УДК 622.822

**ТИПЫ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ КАЗАХСТАНА**

Канд. техн. наук К.Т. Омарова

**ТИПИ ҐРУНТІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЦЬ КАЗАХСТАНУ**

Канд. техн. наук К.Т. Омарова

**TYPES SUBGRADE SOIL RAILWAY OF KAZAKHSTAN**

Cand. of techn. sciences K.T. Omarova

*Автор в своей статье рассматривает типы грунтов земляного полотна железных дорог Казахстана. Влияние некоторых факторов на накопление остаточных деформаций изучено больше (например, роль загрязнения балласта), а роль некоторых конструктивных и технологических факторов изучена недостаточно, хотя их учет может существенно повысить эффективность бесстыкового пути. Статья выполнена на актуальную для магистральных железных дорог Казахстана тему.*

*Автором установлен грунтовый фон по уровням залегания толщиной 1 м до глубины 5 м, который позволяет правильно проектировать железнодорожные сооружения, прогнозировать условия строительства и эксплуатации железных дорог.*

**Ключевые слова:** железная дорога, земляное полотно, тип грунта, бесстыковый путь, деформация.

*Автор у своїй статті розглядає типи ґрунтів земляного полотна залізниць Казахстану. Вплив деяких факторів на накопичення остаточності деформацій вивчено більше (наприклад, роль забруднення баласта), а роль деяких конструктивних і технологічних факторів вивчена недостатньо, хоча їх облік може істотно підвищити ефективність безстыкової колії. Стаття виконана на актуальну для магистральних залізниць Казахстану тему.*

*Автором встановлено ґрунтовий фон за рівнями залягання товщиною 1 м до глибини 5 м, який дозволяє правильно проектувати залізничні в -ні споруди, прогнозувати умови будівництва та експлуатації же залізних доріг.*

**Ключові слова:** залізниця, земляне полотно, тип ґрунту, безстыковий шлях, деформація.

*The author in his article examines types of subgrade soil of Kazakhstan railways. The influence of some factors on the accumulation of residual strains studied more (for example, the role of contamination of ballast), and the role of some structural and technological factors is not well understood, although their inclusion can significantly improve the efficiency of continuously welded rail. Article is made to the current for main railways of Kazakhstan topic.*

*The author determines the compactor on the background levels of occurrence of thickness 1 m to a depth of 5 meters, which allows you to properly design the railroad facilities, to predict conditions for the construction and operation of railways.*

**Keywords:** railway, subgrade, soil type, continuously welded rail, deformation.

Изучение и оценка физико-механических свойств грунтов и горных пород необходимы для проектирования, строительства и эксплуатации пути и

являются одной из наиболее сложных и наименее изученных проблем в области физических процессов, происходящих в горном массиве и основании железнодорожного пути. На практике изучение свойств грунтов и горных пород ограничивается лабораторными исследованиями, без учета динамических воздействий подвижного состава на путь и длительности эксплуатации железных дорог. Такой подход не удовлетворяет запросы проектировщиков, строителей и тех, кто эксплуатируют железные дороги, поэтому необходимо изучить и оценить грунтовое основание магистральных и карьерных железных дорог, что позволит определить вероятность появления грунтов различного типа, лежащих в основании железных дорог, а также пределы изменения физико-механических свойств наиболее распространенных грунтов.

На основании этих данных составлена карта районирования территории республики с выделением зон, а также разработаны рекомендации и основные инженерные решения по проектированию, строительству и эксплуатации железных дорог.

Первая карта-схема климатического районирования в бывшем СССР была разработана А.В. Гербурт-Гейбовичем, в которой по условиям осеннего увлажнения грунтов, длительности зимнего периода эта территория была разделена на 6 зон и 16 подзон. В последующие годы карта-схема районирования неоднократно пересматривалась, в начале 1970-х годов появляется значительное количество работ, освещающих различные аспекты районирования [1, 2].

В 1974 году А.А. Малышев и другие [1] публикуют новую схему районирования. Относительная однородность выделенных районов установлена по четырем факторам: вид грунта сезоннооттаивающего слоя; его влажность; характер распределения вечномерзлых грунтов и их температур; мощность деятельного слоя.

Занимаясь вопросами районирования, В.М. Сиденко предложил перейти от дорожно-климатического к дорожному районированию, представляя его как метод объединения однородных территорий по каким-либо признакам, которые оказывают существенное влияние на проектирование, строительство и эксплуатацию дорог [2]. Он ставит вопрос о необходимости разработки зональных технических условий, которые должны отражать особенности природных условий и специфику проектирования, строительства и эксплуатации дорог в каждой зоне, дополнив Строительные нормы СН 449-72.

Основными признаками подзон является высокая температура в летние месяцы и недостаток влаги, вызываемые значительным преобладанием испаряемости атмосферных осадков. Вся территория подзон характеризуется разнообразием природных условий, климата, грунтов, рельефа местности и гидрогеологии.

Из зарубежных работ, посвященных данной теме, можно выделить работу «Зависимость проектирования дорог от местных физико-географических условий», где обобщены сведения о местных дорожно-строительных материалах, несущей способности грунтов и их изменениях под влиянием увлажнения [3]. По комплексу этих условий территория США разделена на 97 физико-географических районов.

По данным В.М. Сиденко [4-6], в рассматриваемых подзонах распространены сероземы, пески и почвы горных районов. Сероземы макропористые, отличаются высоким содержанием в грунтах пылеватых частиц, преобладанием легких пылеватых суглинков и тяжелых пылеватых супесей. Они относятся к пучинистым и сильнопучинистым грунтам, легко размокают при увлажнении, в сухом состоянии плохо сопротивляются внешним воздействиям и на грунтовых поверхностях под действием автомобилей быстро

истираются и превращаются в несвязную массу [4-7].

Поэтому возможность использования сероземов для возведения полотна и ПДПД укрепления откосов и основной площадки сезоннопромерзаемого полотна должна подтверждаться лабораторными данными.

Песчаные почвы пустынь слабо дифференцированы по физическим свойствам и имеют низкую максимальную гигроскопичность (1,6 + 3) %, влагоемкость (10 + 12) %, высокую водопроницаемость (1300 мм за 10 час) и капиллярное поднятие

не более (0,80 + 1,00) м.

Максимум водорастворимых солей редко превышает 1 % и расположены они на глубине около 1 м. Среди солей преобладают сульфаты. Территории с песчаными почвами являются наиболее трудными для строительства и эксплуатации железных дорог.

Для исследования распространенности грунтов в земляном полотне и его основании железные дороги Республики Казахстан были разделены на шесть условных зон (рисунок).

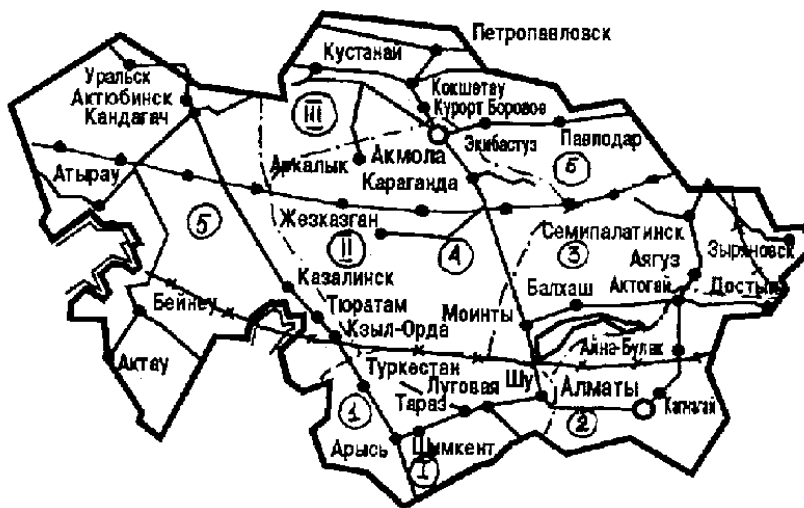


Рис. Условные зоны железных дорог Казахстана:

I - территория по глубине промерзания грунта до 1 м; II - территория по глубине промерзания грунта от 1 до 2 м; III - территория по глубине промерзания грунта свыше 2 м; 1,2,3,4,5 - зоны территории железных дорог Казахстана

- Южная, № 1 (участки железных дорог: Сатимсак - Ченгельды, Шу - Тюлькубас, Тюлькубас-Ченгельды);

- Юго-Восточная, № 2 (участки железных дорог: Мойнты - Сары-Шаган, Сары-Шаган - Шу, Шу - Отар - Алматы, Алматы -Сары-Озек, Сары-Озек - Актогай, Актогай - Дружба);

- Восточная, № 3 (участки железных дорог: Актогай - Семипалатинск, Семипалатинск - Бельгааш, Шемонаиха - Зыряновск);

- Центральная, № 4 (участки железных дорог: Астана - Осакаровка, Осакаровка - Южный, Южный - Мойнты, Жарык - Жезказган, Мойнты- Саяк, Саяк - Актогай);

- Западная, № 5 (участки железных дорог: Кандагач - Саксаульская, Саксаульская - Сатимсак, Уральск - Чингирлау, Яйсан - Кандагач, Кандагач - Аты- рау, Кандагач - Сагиз, Сагиз - Атырау, Макат - Опорный, Опорный - Узень);



- Северная, № 6 (участки железных дорог: Железородная - Койбагар, Койбагар - Сергеевка, Сергеевка - Астана, Астана - Макинск, Макинск - Новоишимская, Новоишимская - Кустанай, Астана - Ерментау, Ерментау - Павлодар, Есиль - Аркалык).

Статистические данные о грунтовых условиях земляного полотна и оснований железных дорог Казахстана были систематизированы по данным институтов Казгипрожелдорпроекта, ГПИ Каздорпроекта, Гидрководхоза, КазГИИЗа и их областных филиалов. Для определения физико-механических свойств грунтов и пород оснований железных дорог было собрано 16000 паспортов грунта, в том числе по зонам: Южная и Юго-Восточная - 4100; Восточная - 2500; Центральная - 4200; Западная - 2700; Северная - 3400 [8].

В связи с тем, что глубина выемок на железных дорогах страны не превышает 5,0 м, для получения качественной характеристики различных типов грунтов были использованы паспорта грунтов, равномерно распределенных на этой глубине. Обработка материалов по грунтовому фону производилась с использованием ЭВМ. Распределения грунтов по типам производились также по глубине: от 0 до 1,0 м, от 1,0 до 2,0 м, от 2,0 до 3,0 м, от 3,0 до 4,0 м, от 4,0 до 5,0 м, от 5,0 м для каждого направления дороги.

При исследовании грунтов по типам рассматривались: скальные и полускальные; крупнообломочные, которые были разделены на валунные, галечниковые, гравийные; песчаные – на песок гравелистый, песок крупный и средней крупности и песок мелкий и пылеватый; глинистые – на супесь, суглинки и глины. При рассмотрении глинистых грунтов отдельно выделялись песчаные и глинистые с каменистыми включениями до 25%.

Пользуясь данными паспортов, можно определить вероятность появления различных типов грунтов в основании

земляного полотна, а также установить наиболее распространенные типы грунтов на различных глубинах. В Юго-Восточной зоне на поверхности основания земляного полотна самыми распространенными являются глинистые грунты ( $P = 0,631$ ), песчаные грунты имеют вероятность появления  $P = 0,226$ , крупнообломочные –  $P = 0,134$ , а остальные составляют скальные и полускальные грунты.

Действительно, в этой зоне железная дорога пересекает несколько горных перевалов (Архарлинский, Чокпарский, Машатский). На этой территории расположены песчаные пустыни Кызылкум, Мойынкум и глинистая пустыня Бетбак-Дала.

В Южной зоне на поверхности основания земляного полотна самыми распространенными грунтами являются глинистые и песчаные грунты ( $P = 0,571$  и  $P = 0,382$ ), крупнообломочные с вероятностью  $P = 0,034$ , а остальные составляют скальные и полускальные грунты. С возрастанием глубины распространенность песчаных грунтов возрастает.

В Западной зоне на поверхности основания земляного полотна самыми распространенными являются глинистые грунты ( $P = 0,788$ ), песчаные грунты имеют вероятность появления  $P = 0,202$ , крупнообломочные, скальные и полускальные грунты в этой зоне имеют незначительное распространение. С возрастанием глубины распространенность выше указанных грунтов не меняется. В этой зоне железная дорога пересекает пески Большие и Малые Барсуки в районе станции Шалкар, а также проходит через горы Мугаджар. В Мангышлакской области железная дорога проходит по западной части Устюрта. К западу от реки Урал более распространены песчаные пустыни, а к востоку и югу – глинистые.

На севере Казахстана на поверхности основания земляного полотна самым распространенным грунтом являются глинистые грунты ( $P = 0,788$ ), песчаные

грунты имеют вероятность распространения  $P = 0,202$ . Крупнообломочные, скальные и полускальные грунты в этой зоне имеют незначительное распространение. Однако на глубине 2-3 м возрастает распространенность скальных и полускальных грунтов. Действительно, значительную часть этой территории занимает Казахский мелкосопочник. Из глинистых грунтов самым распространенным является суглинок с вероятностью появления  $P = 0,484$ . Вероятность появления супеси  $P = 0,243$ , а глины -  $P = 0,204$ .

В Центральном Казахстане на поверхности основания земляного полотна самым распространенным грунтом являются глинистые грунты  $P = 0,578$  и крупнообломочные грунты  $P = 0,274$ . В этой зоне песчаные грунты имеют вероятность  $P = 0,102$ , возросла распространенность скальных и полускальных грунтов, так как значительную часть этой территории занимает Казахский мелкосопочник.

Рельеф Восточного Казахстана, в отличие от Центрального, весьма разнообразен. Здесь четко выделяются слабохолмистые равнины и среднегорья, обширные котловины и высокие горы. В Восточном Казахстане на поверхности основания земляного полотна самым распространенным грунтом являются глинистые грунты ( $P = 0,638$ ) и крупнообломочные грунты ( $P = 0,214$ ). В этой зоне песчаные грунты имеют самое

малое распространения ( $P = 0,082$ ), возросла распространенность скальных и полускальных грунтов по сравнению с юго-востоком Казахстана. Действительно, значительную часть этой территории занимают заснеженные хребты Саура и Тарбагатай, между ними и Южным Алтаем расположена обширная Зайсанская котловина. Из глинистых грунтов самым распространенным является суглинок, вероятность появления которого достигает  $P = 0,492$ , супеси -  $P = 0,123$ , а самой глины -  $P = 0,024$ .

Анализ вероятности появления грунтов различного типа оснований железных дорог по территории Казахстана показал, что в основаниях железных дорог Центральной, Восточной и Юго-Восточной зон имеется появление крупнообломочных грунтов (соответственно  $P = 0,274$ ,  $P = 0,214$ ,  $P = 0,134$ ), а по данным работы [9], для Азиатской части бывшего СССР вероятность их появления не превышает  $P = 0,097$ .

Земляное полотно железных дорог Казахстана в основном лежит на глинистом грунте - 79 %, на песчаных грунтах находятся 17,4 %, а на крупнообломочных - 11,4 %. На скальных и полускальных грунтах расположены 2,2 % железных дорог.

Статистические характеристики (математическое ожидание, дисперсия, коэффициент вариации) распределения грунтов, определенные с помощью ЭВМ с надежностью 0,9 + 0,95, представлены в таблице.

Таблица

Статистические характеристики грунтов

Статистические характеристики, $x_{cp}$	Виды грунтов						
	Песчаный	Супесь	Суглинки			Крупнообломочный	Гравийно-галечный
			легкий, средний	глины тяжелые	глины с включением		
Математическое ожидание, $\sigma$	1,24	1,61	1,54	3,06	2,90	3,66	3,55
Дисперсия	1,08	1,30	1,32	0,79	1,17	1,32	1,40
Коэффициент вариации, $\nu$	0,84	0,70	0,74	0,29	0,37	0,31	0,33

**Выводы.** Установлен грунтовый фон по уровням залегания толщиной 1 м до глубины 5 м, который позволяет правильно проектировать железнодорожные сооружения, прогнозировать условия строительства и эксплуатации железных дорог.

Исследованием установлено, что наиболее распространенными типами грунтов в 5 м поверхностной толщи грунтов оснований земляного полотна

железных дорог Казахстана являются глинистые грунты (с вероятностью появления  $P=0,595$ ), песчаные ( $P=0,259$ ), крупнообломочные и скальные ( $P=0,125$  и  $P=0,021$ ). Теоретические законы распределения различных типов грунтов подчиняются, с надежностью  $0,90 + 0,95$ , по уровням залегания от 0 до 1 м закону Вейбула, от 1 до 3 м – нормальному закону, от 3 до 5 м – логнормальному закону.

### Список использованных источников

1. Малышев, А.А. Земляное полотно автомобильных дорог в северных условиях [Текст] / А.А. Малышев [и др.]. – М.: Транспорт, 1974. – 279 с.
2. Сиденко, В.М. Автомобильные дороги (Совершенствование методов проектирования и строительства) [Текст] / В.М. Сиденко [и др.]. – К.: Будівельник, 1973. – 76 с.
3. Filing system of physiographic units helps to resolve local design criteria [Text]. – Highway Res. News. – 1973. – № 51. – P. 42-43.
4. Сиденко, В.М. Проектирование, строительство и организация возведения земляного полотна в засушливых районах [Текст]: учеб. пособие для студентов автодорожных спец. вузов / В.М. Сиденко, Н. Ильясов. – Т.: Укитувчи, 1983. – 288 с.
5. Сиденко, В.М. Расчет и регулирование водно-теплового режима дорожных одежд и земляного полотна [Текст] / В.М. Сиденко. – М.: Автотрансиздат, 1962. – 156 с.
6. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд [Текст] / Н.А. Пузаков, В.М. Сиденко [и др.]; под ред. проф. И.А. Золотаря. – М.: Транспорт, 1971. – 416 с.
7. Безрук, В.М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве [Текст]. – М.: Транспорт, 1971. – 247 с.
8. Омаров, А.Д. Грунтовый фон оснований железных дорог Казахстана [Текст] / А.Д. Омаров; под ред. д.т.н., проф. Р.А. Кабашева. – Алматы: «Ғылым», 1998. – 110 с.
9. Баловнев, В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой дорожных органов дорожно-строительных машин [Текст]. – М.: Высш. шк., 1981. – 335 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Т.С. Саржанов

---

Омарова Кумис Толеубековна, кандидат технических наук, доцент, доктор PhD по специальности «Строительство» 6 D072900 ГУТиП им. Д. Кунаева.

Omarova Kumiss Toleubekovna, cand. of techn. sciences, dr. PhD in "Construction of the" 6 D072900, associate professor.

УДК 624.012

**ОЦЕНКА ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ НА ОСНОВЕ ЕЕ ОГНЕВЫХ  
ИСПЫТАНИЙ**

Д-р техн. наук С.В. Поздеев, В.К. Словинский, А.М. Омельченко, М.А. Кропива

**ОЦІНКА ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ КОЛОНИ  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВИМ МЕТОДОМ НА ОСНОВІ ЇЇ  
ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ**

Д-р техн. наук С.В. Поздєєв, В.К. Словінський, А.М. Омельченко, М.О. Кропива

**ESTIMATION OF FIRE-RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE COLUMN BY  
EXPERIMENTAL-CALCULATION METHOD ON THE BASIS OF ITS FIRE TESTS**

**Doct. of techn. sciences, associate professor S.V. Pozdeyev, V.K. Slovinskiy,  
A.M. Omelchenko, M.O. Kropyva**

*В статье рассмотрены вопросы реализации экспериментально-расчетного метода оценки огнестойкости железобетонных колонн на основе их огневых испытаний без приложения механической нагрузки. Применяя разработанный комплекс процедур для реализации разработанного метода получен предел огнестойкости железобетонной колонны. Показано, что разработанный экспериментально-расчетный метод является эффективным для определения пределов огнестойкости несущих железобетонных строительных конструкций.*

**Ключевые слова:** испытание на огнестойкость, огневая печь, железобетонная колонна, экспериментально-расчетный метод, интерполяция, температурное поле.

*У статті розглянуто питання реалізації експериментально-розрахункового методу оцінки вогнестійкості залізобетонних колон на основі їх вогневих випробувань без прикладання механічного навантаження. Застосовуючи розроблений комплекс процедур для реалізації розробленого методу одержана межа вогнестійкості залізобетонної колони. Показано, що розроблений експериментально-розрахунковий метод є ефективним для визначення меж вогнестійкості несучих залізобетонних будівельних конструкцій.*

**Ключові слова:** випробування на вогнестійкість, вогнева піч, залізобетонна колона, експериментально-розрахунковий метод, інтерполяція, температурне поле.

*The questions of realization of experimental-calculation method of estimation of fire-resistance of reinforced concrete columns on the base of their fire tests without the appendix of the mechanical loading are considered in this article. Applying the developed complex of procedures for realization of the developed method the limit of fire-resistance of reinforced concrete column is got. It is shown, that the developed experimental-calculation method is effective for determination of limits of fire-resistance of bearing reinforced concrete build constructions.*

**Keywords:** test on a fire-resistance, fire stove, reinforced concrete column, experimental-calculation method, interpolation, temperature field.

**Введение.** При реализации испытаний железобетонных колонн на огнестойкость возникают определенные технические сложности, которые заключаются в

несоответствии условий закрепления и нагрузки колонны, реализуемой в установках для испытаний закреплению и нагрузкам в соответствующей конструкции, несоответствию габаритных размеров колонны-образца для испытаний тем же параметрам реальной колонны и т.д. Поэтому стандартами Украины для испытаний колонн на огнестойкость [1, 2] не запрещаются испытания без приложения механических нагрузок, но в то же время указанный стандарт не дает обоснованной методики определения предела огнестойкости железобетонных колонн на основе таких испытаний.

Анализ публикаций [4 – 6], касающихся расчетных методов проектирования железобетонных колонн для их соответствия требованиям противопожарных норм, показывает, что данные методы дают возможность комплексно учесть все перечисленные особенности, что делает перспективным их сочетание с экспериментальными методами.

**Цель исследований** заключается в разработке эффективного экспериментально-расчетного метода оценки огнестойкости железобетонных колонн на основе их огневых испытаний без приложения механической нагрузки.

**Основной материал исследований.** В работе [4] предложен метод, который основан на математической интерпретации результатов огневых испытаний железобетонных колонн без приложения механической нагрузки. Данными, подлежащими интерпретации, являются значения температур, измеренные во внутренних слоях колонн, подвергнутых огневому воздействию в соответствии со стандартным температурным режимом пожара. Реализация метода происходит по алгоритму, блок-схема которого показана на рис. 1.

Измерения температуры при испытаниях происходят при расположении термодатчиков в сечении согласно схеме на рис. 2.

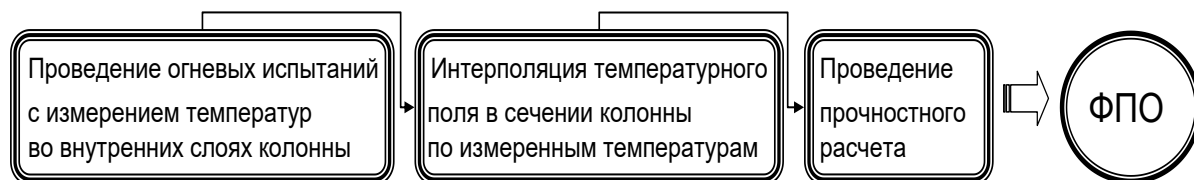


Рис. 1. Алгоритм реализации экспериментально-расчетного метода оценки огнестойкости железобетонных колонн

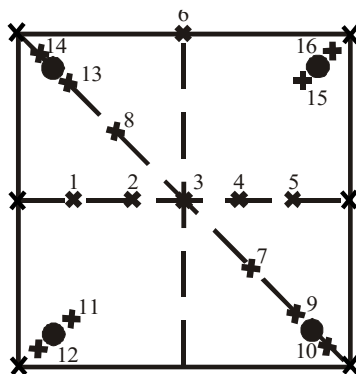


Рис. 2. Расположение термодатчиков в сечениях железобетонной колонны (1-16 – номера контрольных точек в сечении)

Наши исследования [4] показали, что эффективными методами интерполяции температурного поля являются методы, основанные на представлении температурных распределений по центральному горизонталю, вертикали и диагонали сечения параболом, которые могут быть в общем виде описаны выражением

$$T(i)|_{x \leq 0} = T_0 + (T_{\max} - T_0) \left[ \frac{i}{n} \right]^q, \quad (1)$$

где  $T_0$  – минимальная температура, °С;  $T_{\max}$  – максимальная температура, °С;  $i$  – номер контрольной точки в плоскости сечения;  $n$  – количество контрольных точек;  $q$  – показатель степени параболы.

Проведение интерполяции может быть осуществлено тремя способами. Интерполяцию по первому способу предлагается проводить по аппроксимации линий, образованных фронтальными сечениями поверхности температурного поля, параболическими зависимостями. По второму способу интерполяция осуществляется с использованием

аппроксимации образующих поверхности температурного распределения параболическими зависимостями. Третий способ заключается в аппроксимации линий изотерм аффинными кривыми и их построении в каждой точке дискретизированного сечения по зависимостям, определяемым выражением

$$y(x) = q \left( 1 - \left( \frac{x}{q} \right)^p \right)^{1/p}, \quad (2)$$

где  $p$  и  $q$  – коэффициенты, подлежащие определению при приближении поверхности распределения температур.

Задача приближения поверхности распределения температур решается путем минимизации среднеквадратической невязки.

Для изучения эффективности методов интерполяции были проведены огневые испытания двух железобетонных колонн 500×500×3000 из тяжелого бетона на гранитном заполнителе в огневой печи. Схема и общий вид испытательной установки приведены на рис. 3 и 4.

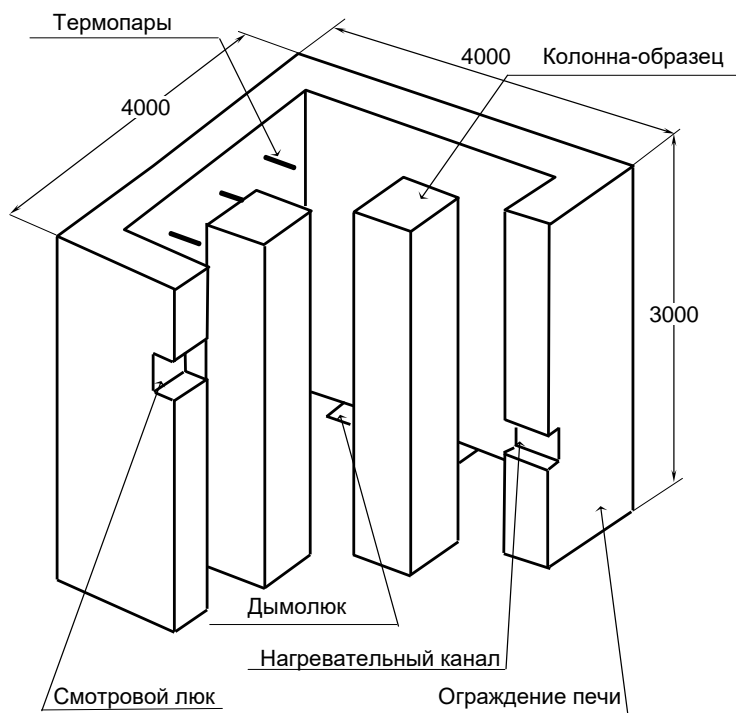


Рис. 3. Схема испытательной установки



Рис. 4. Общий вид испытательной установки

Схема армирования колонны и схема расположения термодатчиков показаны на рис. 5.

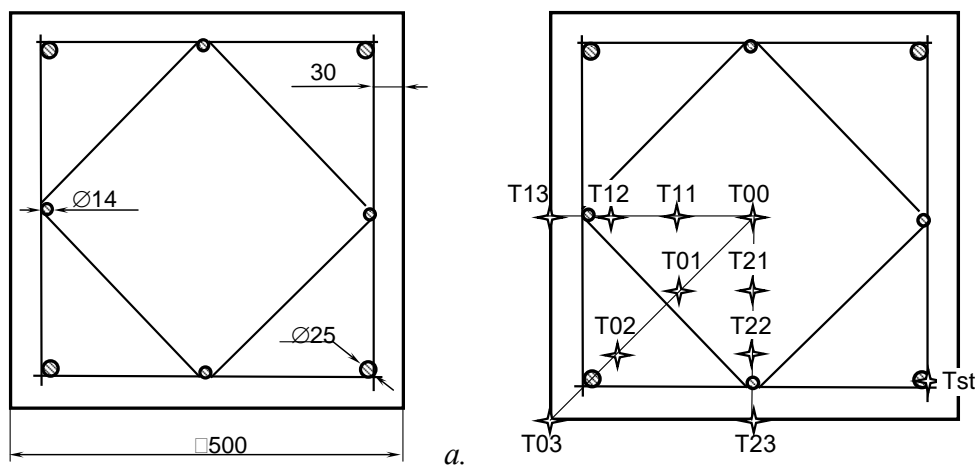


Рис. 5. Схема армирования (а) и схема расположения термодатчиков (б) железобетонной колонны

На рис. 6 показан общий вид образцов перед испытаниями.



Рис. 6. Общий вид образцов перед испытаниями

На рис. 7 показан температурный режим испытаний железобетонных колонн.

Температурные показатели во внутренних слоях сечения колонны показаны на рис. 8.

Используя разработанные алгоритмы, были получены параболические распределения температур в сечении в соответствии с теоретическими

представлениями о теплопередаче в железобетонных конструкциях. На рис. 9 представлены результаты расчета по первому и третьему способам. Второй способ дал результаты, которые не соотнобразуются с теоретическими представлениями о теплопередаче, поэтому в данной статье результаты расчета с его применением не представлены.

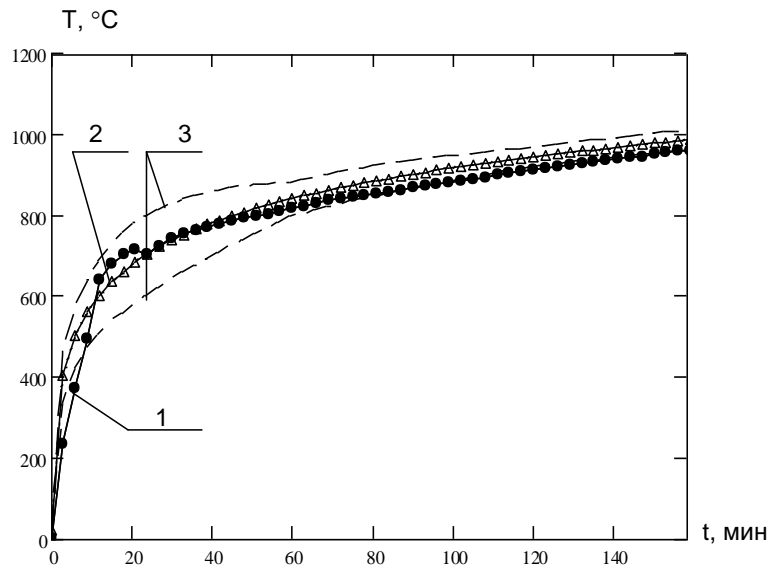


Рис. 7. Температурный режим испытаний в печи:  
1 – средняя температура в печи; 2 – стандартная температурная кривая;  
3 – допустимые отклонения температурного режима

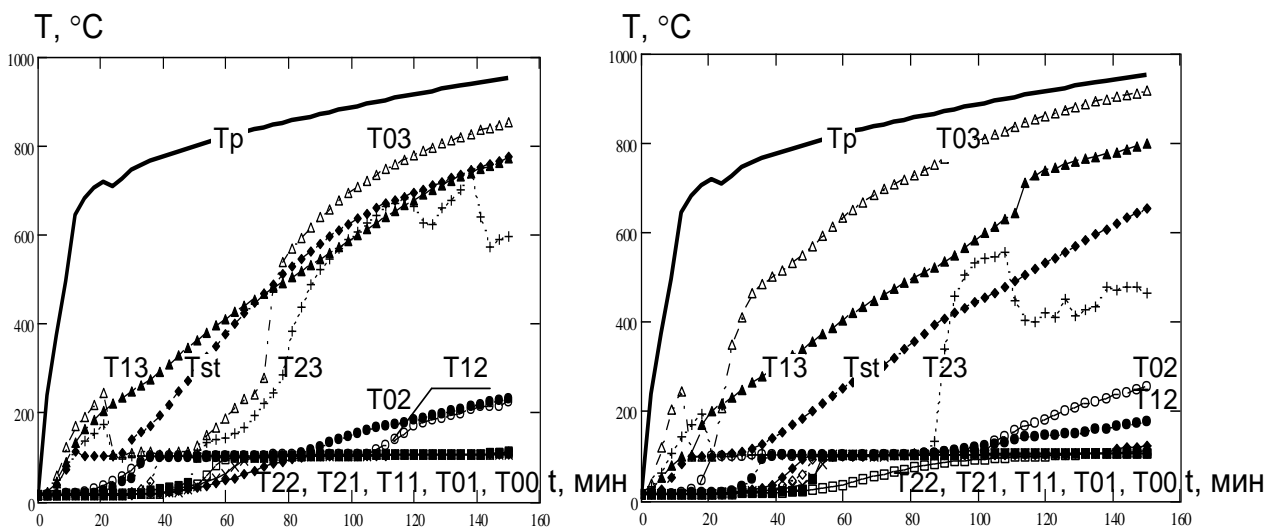


Рис. 8. Результаты измерения температур в колонне





Таблица

Данные сравнительного анализа результатов интерполяции по разным методам

Способ интерполяции	Максимальное отклонение, °С	Среднее относительное отклонение, %	Среднеквадратичное отклонение, °С
Первый метод	75	7,8	26,3
Третий метод	89	6,5	25,5

Полученные результаты интерполяции являются адекватными и их можно использовать для расчета предела огнестойкости согласно одному из методов анализа прочностной задачи. В качестве такого метода предлагается использовать рекомендации евронорм Eurocode 2 [5] пункта В3 дополнения В. Используя

данный алгоритм расчета, был построен график критической силы в каждый момент времени испытания. При ее сравнении с действующей силой согласно расчетной схеме конструкции было выявлено, что предел огнестойкости не наступает. На рис. 10 приведены построенные графики.

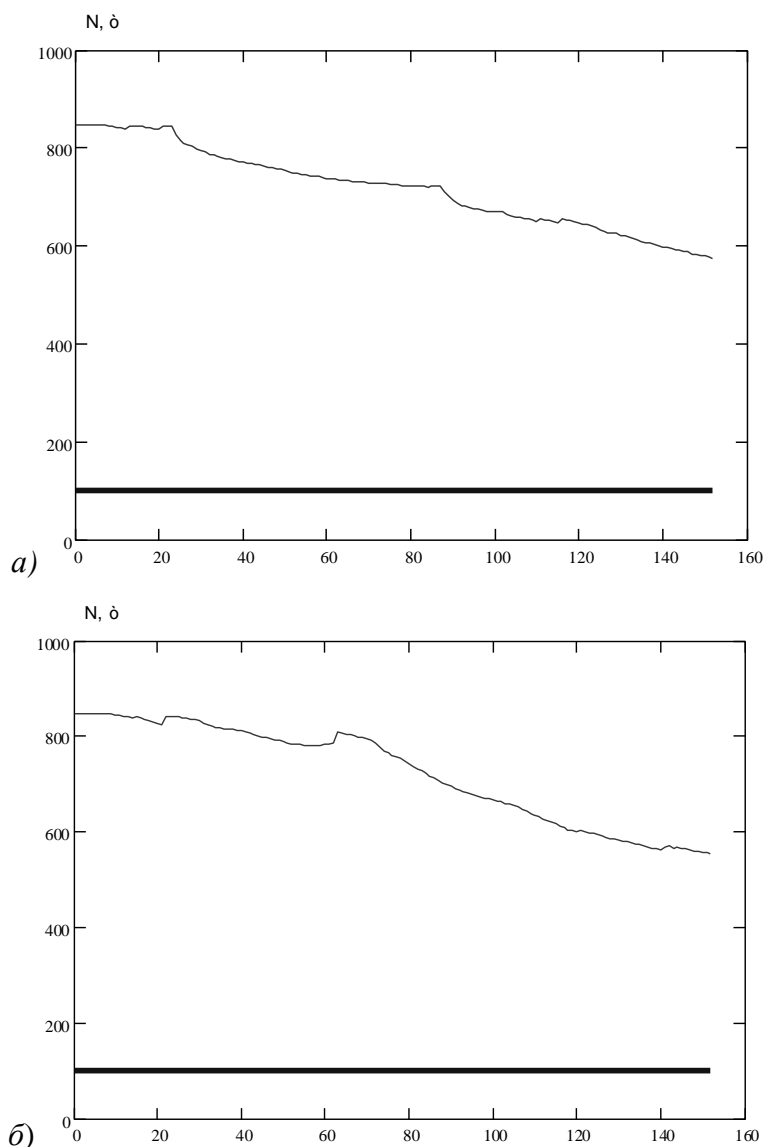


Рис. 10. Несущая способность колонны-образца №1 (а) и колонны-образца №2 (б)

### Выводы

1. В результате проведенных исследований был разработан экспериментально-расчетный метод оценки огнестойкости железобетонных колонн на основе их огневых испытаний без приложения механической нагрузки.

2. Разработаны эффективные способы интерполяции для приближения температурных полей в сечениях железобетонных колонн при их огневых испытаниях по данным температурных измерений во внутренних слоях испытуемых колонн.

3. Исследована адекватность результатов, полученных при расчете. Показано, что они являются адекватными

для определения предела огнестойкости железобетонных колонн, при этом выделены наиболее эффективные способы интерполяции.

4. Проведены огневые испытания железобетонных колонн и на их основе исследована устойчивость методов интерполяции, в результате чего выделен наиболее эффективный метод интерполяции, который основан на аппроксимации изотерм поля.

5. На основе интерпретации полученных данных в ходе огневых испытаний был определен предел огнестойкости железобетонной колонны, показывающий эффективность разработанного метода.

### Список использованной литературы

1. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва [Текст]: ДБН В.1.1-7-2002. – [Чинний від 2003-05-01]. – К.: Видавництво «Лібра», 2003. – 87 с. – (Національний стандарт України).
2. ДСТУ Б В.1.1-14-98. Захист від пожежі. Колони. Метод випробування на вогнестійкість [Текст]. – К.: Укрархбудінформ, 2005.
3. ДСТУ Б В.1.1-4-98. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека [Текст]. – К.: Укрархбудінформ, 2005.
4. Метод інтерпретації результатів вогневих випробувань залізобетонних колон для оцінки їх вогнестійкості [Текст] / С.В. Поздеев, І.Р. Василенко, О.Г. Кузьмін, В.К. Словінський // Матеріали 15 Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників. – К.: Інститут державного управління у сфері цивільного захисту, 2013. – С. 25-26.
5. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2004.
6. Милованов, А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций [Текст] / А.Ф. Милованов. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.
7. Исследование эффективности математических моделей для решения теплотехнической задачи при определении огнестойкости железобетонных конструкций / С.В. Поздеев, В.Г. Поклонский, О.В. Некора, А.В. Поздеев // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА, 2010. – Вып. 52: серия «Безопасность жизнедеятельности». – С. 44-48.

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.А. Плугин

---

Поздеев Сергей Валерьевич, доктор технических наук, доцент, начальник кафедры строительных конструкций Академии пожарной безопасности имени Героев Чернобыля. Контактный тел. 0452 -55-09-41 (2-77).  
Словинский Виталий Казимирович, старший преподаватель кафедры оперативно-тактической деятельности Академии пожарной безопасности имени Героев Чернобыля. Контактный тел. 0452 -55-09-41 (2-67).

---

## Будівельні матеріали та конструкції

---

Омельченко Андрей Николаевич, инспектор, Главное управление Государственной службы по чрезвычайным ситуациям Украины в Киевской области. Контактный тел. 0452 -55-09-41 (2-77)

Кропива Михаил Александрович, адъютант дневной формы Академии пожарной безопасности имени Героев Чернобыля.

Pozdeyev Sergey, doct. of techn. sciences, associate professor chief of department of build structures The Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes. Contact tel. 0452 -55-09-41 (2-77)

Slovinskiy Vitaliy, teacher of department of operative-tactical activity The Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes. Contact tel. 0452 -55-09-41 (2-67)

Omelchenko Andrey, inspector, Main administration of Government service on the extraordinary situations of Ukraine in the Kiev region. Contact tel. 0452 -55-09-41 (2-77)

Kropiva Michail, adjunct of daily form The Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes.

## ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА УПРАВЛІННЯ НИМИ

---

УДК 548.55:[548.4:544.032.52]

### САМОДИФУЗИЯ КИСНЮ В АПАТИТАХ

Д-р філос. наук А.І. Хронеос, д-р фіз.-мат. наук Р.В. Вовк, канд. техн. наук В.Ю. Гресь

### САМОДИФФУЗИЯ КИСЛОРОДА В АПАТИТАХ

Д-р филос. наук А.И. Хронеос, д-р физ.-мат. наук Р.В. Вовк, канд. техн. наук В.Ю. Гресь

### OXYGEN SELF-DIFFUSION IN APATITES

**Dr. philosophy sciences A.I. Hroneos, dr. fiz.-mat. Science R.V. Vovk,  
cand. tehn. science V.Yu. Gres**

*Апатити - особливий клас функціональних матеріалів, що мають широкий діапазон стехіометрій і кристалічних структур. Механізми дифузії кисню і енергія активації в цих матеріалах в основному визначаються їх складом і кристалічною структурою. У цьому огляді ми детально розглянемо властивість самодифузії в апатитах, оскільки саме вона є важливою для потенційних застосувань апатитів як електролітів у твердотілих оксидних паливних елементах.*

**Ключові слова:** апатити, киснева самодифузія, анізотропія, твердопаливні оксидні елементи, комп'ютерне моделювання.

*Апатиты - особый класс функциональных материалов, обладающих широким диапазоном стехиометрий и кристаллических структур. Механизмы диффузии кислорода и энергия активации в этих материалах в основном определяются их составом и кристаллической структурой. В данном обзоре мы подробно рассмотрим свойство самодиффузии в апатитах, так как именно она является важным для потенциальных применений апатитов в качестве электролитов в твердотельных оксидных топливных элементах.*

**Ключевые слова:** апатиты, кислородная самодиффузия, анизотропия, твердоотопливные оксидные элементы, компьютерное моделирование.

*Apatites are a very important class of functional materials that exhibit a range of stoichiometries and crystal structures. The oxygen diffusion mechanisms and activation energies in these materials are highly influenced by the composition and crystal structure. We review recent investigations on apatites with a focus on their self-diffusion properties as these are important for their potential application as electrolytes in solid oxide fuel cells.*

*The present review is mainly concerned with oxygen diffusion in apatites, a system that is currently being considered as a SOFC electrolyte material. The focus will be on recent insights from atomic scale computational modelling. This brief review is structured as follows. First, we describe the different diffusion mechanisms and the relevant computational methodologies. This is followed by the discussion of apatite relevant for applications as SOFC electrolyte materials. Then we discuss how in apatites the effects of anisotropy and lattice dynamics are important. Finally,*

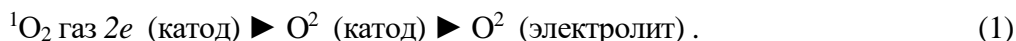
*we summarize and present an outlook for future directions. The aim of the present contribution is to specifically review oxygen diffusion on apatite materials focusing on recent advances.*

**Keywords:** *apatites, oxygen diffusion, anisotropy, solid oxide fuel cells, computer simulation.*

**Постановка проблеми.** В настоящее время все возрастающий интерес вызывает технология твердотельных оксидных топливных элементов (ТОТЭ), которые часто используются для высокоэффективного преобразования энергии, сопровождающееся малым количеством загрязняющих веществ по сравнению с другими, более традиционными путями преобразования энергии [1]. Для ТОТЭ необходимы электролиты, обладающие высокой ионной проводимостью, низкой электронной проводимостью, кислородной стехиометрией, стабильностью. В сочетании с экспериментами методы компьютерного моделирования позволяют создать ТОТЭ материалы с наиболее быстрой кислородной проводимостью.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Современные ТОТЭ могут действовать с исходным топливом или водородом при высоких рабочих

температурах (до 1000°C) с целью преобразования химической энергии в электрическую, они инертны и дают меньше парниковых газов [2-4]. Однако высокие рабочие температуры приводят к большим затратам из-за использования дорогостоящих материалов в теплообменниках. Эти проблемы становятся меньше, если рабочие температуры в ТОТЭ значительно ниже температур промежуточного диапазона (500-700°C), но уменьшение рабочих температур сопровождается увеличением потерь реакции и кинетики переноса в катоде и ТОТЭ из «мягкого» электролита. Для уменьшения этих потерь используют материалы, обеспечивающие высокую степень диффузии кислорода в промежуточном температурном диапазоне. При этом опасно увеличивать скорость падения количества кислорода на катоде и переноса кислорода в электролите, так как полная реакция с кислородом имеет вид



Для значительной энергии активации в реакции (1) уменьшение рабочей температуры приведет к значительным потерям электроэнергии, главным образом в катоде. Эффективным решением проблемы может быть использование смешанных электронно-ионных проводников (СЭИП) [5]. Были рассмотрены следующие СЭИП материалы:  $\text{La}_2\text{NiO}_{4-x\text{D}}$  или  $\text{Pr}_2\text{NiO}_{4-x}$  и слоистые перовскиты  $\text{LnBaCo}_2\text{O}_{5-x\text{D}}$  (где Ln – редкоземельный катион) [6–8].

Данный обзор посвящен диффузии кислорода в апатитах, которая в настоящее время рассматривается в ТОТЭ. Внимание сосредоточено на последних разработках компьютерного моделирования в атомном масштабе.

**Цель статьи.** Изучение диффузии кислорода в апатитных материалах.

**Методика эксперимента.** Метод компьютерного моделирования в науке используется не только для сравнения с экспериментальными результатами, но и для создания новых прогностических моделей. Метод моделирования позволяет получить общие представления о связях структура-свойства, которые могут использоваться в сочетании с комбинаторными подходами для прогнозирования интересующих нас свойств материалов. Однако при этом необходимо помнить, что природа никогда не перестанет удивлять нас – диффузия, вероятно, одно из явлений, в котором может быть много неожиданностей.

Диффузия в оксидах – одновременно и сложное, и простое явление. Её отличие от диффузии в металлах состоит в наличии анионных и катионных подрешеток, которые ограничивают диффузию к своей собственной подрешетке; однако на неё может влиять поведение катионной подрешетки. Обычно в технологически важных оксидах кислородная самодиффузия более значительна, чем катионная. Диффузия в материалах с упорядоченной кристаллической структурой вызывает движение атомов от их положений равновесия в решетке. Роль точечных дефектов в диффузии очень важна. Для оксидов обычно реализуется три механизма диффузии, основанные на главной роли точечного дефекта в системе: вакансионный, междоузельный и механизм прямого обмена. Несмотря на важную роль точечных дефектов, на энергетику диффузии здесь сильно влияет структура. Пример – совместное движение локальных многогранных структур.

В вакансионном механизме ион мигрирует, двигаясь к соседней вакансии. Этот механизм предполагает значительную концентрацию вакансий в решетке. Он является обычным, в особенности для кислородных гипостехиометрических оксидов. Механизм прямого обмена также простой, так как ионы, расположенные в междоузлиях решетки, мигрируют прыжками до соседнего междоузлия. В этом механизме требуется только наличие междоузельных ионов и после завершения прыжка не должно быть перемещения других ионов из узлов решетки. В междоузельном механизме междоузельный ион вытесняет другой ион из его обычного положения в решетке. Вытесненный ион последовательно мигрирует к другому междоузлию. Было вычислено, что в материалах типа  $\text{La}_2\text{NiO}_{4-x}$  или  $\text{Pr}_2\text{NiO}_{4-x}$ , которые потенциально важны как катоды для ТОТЭ, междоузельный механизм является преобладающим.

Компьютерные методологии, используемые для изучения апатитов, включают в себя статическое атомное моделирование, молекулярную динамику (МД) и функциональную теорию плотности (ФТП). Хотя квантовая механика обеспечивает достаточное полное описание природных процессов, аналитическое решение уравнения Шредингера для большого числа электронов до сих пор остается невозможным из-за сложных многоэлектронных взаимодействий. Эту проблему можно решить, используя методики аппроксимации, например ФТП. В ней описывается энергия обменного взаимодействия в приближении локальных плотностей (ПЛП) или приближении генерализованного градиента (ПГГ). Недостатком ФТП является малое число электронов в системе, используемой для моделирования. В методах статического атомного моделирования можно рассматривать большое число атомов. Обычно используются межйонные взаимодействия, основанные на описании Борна ионных кристаллов. Диффузия в оксидах может также описываться методом МД, основанном на классических потенциалах. Уравнения Ньютона для движения ансамбля частиц в системе решаются методом итерации. Частицы взаимодействуют с потенциальными энергиями, описываемыми опять-таки уравнениями Борна. При моделировании структурно сложных оксидов, в том числе апатитов, классические статические и МД-расчеты достаточно эффективны.

**Результаты и обсуждение.** Апатиты входят в состав различных структур – от биосистем до астероидов. В настоящее время рассматривается их применение в качестве биоактивных материалов, удобрений, ТОТЭ электролитов. Общая формула апатитов  $\text{A}_{10}(\text{XO}_4)_6\text{O}_{2+y}$ , где А – редкоземельный или щелочноземельный металл, X – Si или Ge, которые обладают хорошей кислородной проводимостью.

**Силикатные апатиты.** На рис. 1,а схематически представлена структура лантаноидно-силикатного апатита  $\text{La}_{9,33}(\text{SiO}_4)_6\text{O}_2$ , состоящая из изолированных тетраэдров  $\text{SiO}_4$ , которые образуют два канала, параллельных оси с.

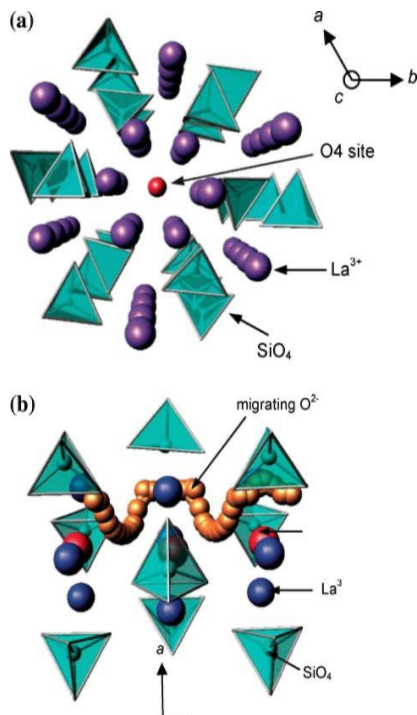


Рис. 1:

а – структура лантаноидно-силикатного апатита  $\text{La}_{9,33}(\text{SiO}_4)_6\text{O}_2$ ;  
б – направления миграции кислорода, перпендикулярные оси с

Каналы окружены катионами лантана, а кислородные ионы расположены дальше. Кислородная диффузия в апатитах происходит по междоузельному механизму. Расчеты, проделанные методом атомистического моделирования, показали, что ионы междоузельного кислорода находятся на периферии большого канала, а не в его центре. Здесь ключевой фигурой является соседний тетраэдр  $\text{SiO}_4$ , который смещен к La каналам. Эти каналы важны, так как диффузия кислорода в силикатных апатитах происходит именно вдоль них и обладает большой анизотропией. В работе

[9] рассчитано, что механизм диффузии кислорода – процесс синусоидальный (рис. 1,б), который требует совместного перемещения тетраэдров  $\text{SiO}_4$ , где важны их гибкость и динамика.

**Германатные апатиты.** Исследования, выявившие высокую диффузию кислорода в германатных апатитах, инициировали изучение лантаноидно-германатных апатитов

$\text{La}_{9,33-x}(\text{GeO}_4)_6\text{O}_{2-3x/2}$  и связанных с ними соединений. Структура лантаноидно-германатных апатитов изучалась методами нейтронной дифракции и компьютерного моделирования. В этих соединениях междоузельные атомы находятся или на канальной периферии (подобно лантаноидно-силикатным апатитам) или между двумя тетраэдрами  $\text{GeO}_4$ , расположенными в прилежащих каналах. Это приводит к образованию псевдоячейки  $\text{Ge}_2\text{O}_9$  (рис. 2). Для обоих случаев характерна значительная релаксация соседних тетраэдров  $\text{GeO}_4$ . Видно, что апатитные материалы обладают сложной структурой, что может затруднить исследования дифракционными методами, которые, как известно, дают информацию о средней структуре.

Компьютерное моделирование в атомном масштабе дает важную информацию о локальных искажениях и их влиянии на свойства кислородной диффузии. Расчеты, проделанные этим методом, показали, что кислородный дефект Френкеля (т.е. кислородные пары вакансия – междоузлие) являются главным в  $\text{La}_{9,33}(\text{GeO}_4)_6\text{O}_2$  с энергией дефекта 1,47 эВ. Отметим, что эта энергия меньше таковой для кислородного дефекта Френкеля в  $\text{La}_{9,33}(\text{SiO}_4)_6\text{O}_2$ , что свидетельствует о большем анионном разупорядочении в  $\text{La}_{9,33}(\text{GeO}_4)_6\text{O}_2$ . Расчеты МД показали, что диффузия кислорода вдоль оси с к центрам тетраэдров  $\text{GeO}_4$  в германатном апатите осуществляется по механизму «вентилятора» (рис. 3).



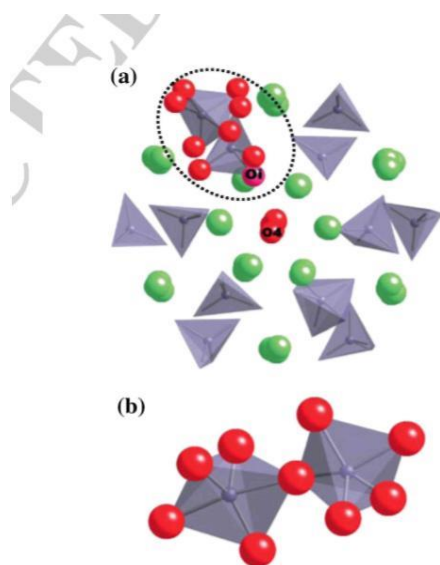


Рис. 2. Структура лантаноїдно-германатного апатита  $\text{La}_{9,33-x}(\text{GeO}_4)_6\text{O}_{2-3x/2}$ . Выделено положение кислородного междуузлия

Перемещение кислорода происходит путем создания и разрыва ячеек  $\text{GeO}_9$ . Средняя энергия активации миграции составляет 0,98 эВ, что хорошо согласуется с экспериментальными данными (0,94 эВ). В германатных апатитах могут накапливаться более высокие кислородные гиперстехиометрии по сравнению с их лантаноїдно-силикатными аналогами. Канал кислородных ионов  $\text{O}_4$  является «резервуаром» для кислородных междуузлий, которые затем мигрируют или вдоль оси  $c$  (механизм «вентилятора»), или в плоскости  $a$ - $b$  с образованием и разрывом ячеек  $\text{GeO}_9$  (рис. 3). Перенос кислородных междуузлий облегчается значительной релаксацией и согласованным движением структуры, в частности вращением тетраэдров  $\text{GeO}_4$ . Расчеты МД показывают, что перенос кислорода в  $\text{La}_{9,33}(\text{GeO}_4)_6\text{O}_2$  - достаточно сложный процесс.

#### Влияние добавок и синтез апатитов.

Особенностью апатитов является их широкий диапазон кислородных или катионных стехиометрий и способность легко включать в себя леггирующие примеси. Это свойство делает апатиты

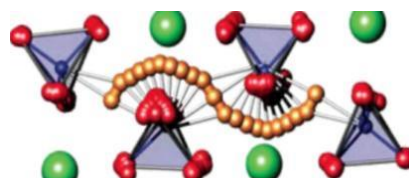


Рис. 3. Механизм диффузии кислорода в апатите  $\text{La}_{9,33-x}(\text{GeO}_4)_6\text{O}_{2-3x/2}$ , описывающий механизм «вентилятора» вдоль оси  $c$

моделью, удобной для исследований, в которой возможно создание дефектов для оптимизации кислородной диффузии. Для структуры силикатных апатитов приемлем широкий диапазон добавок. Ca, Sr, Ba могут замещать позиции La, а В, Al, Ga, Zn, Те, Ge, Fe – позиции Si в решетке. Кроме того, Mg, Mn, Ni, Cu, Co могут замещать La или Si. Обычно больше примесей размещается в узле La, а примеси меньшего размера – на местах Si. В германатных апатитах  $\text{La}_{9,33-x}(\text{GeO}_4)_6\text{O}_{2-3x/2}$  по мере увеличения  $x$  (т.е. содержания La и O) происходит изменение решетки от гексагональной до триклинной. Значение  $x=0,67$  соответствует триклинной структуре. Поскольку триклинная структура – структура низкой симметрии с большим количеством дефектов, такие апатиты обладают ограниченной проводимостью. В результате легирования примесью Y полученное соединение  $\text{La}_{9,33-x}\text{Y}_2(\text{GeO}_4)_6\text{O}_{2-3x/2}$  обладало более высокой проводимостью, так как имело гексагональную решетку. Замещение позиций лантана на Ba, Sr или Ca также стабилизировало гексагональную структуру, но проводимость была ниже.

Особенности синтеза апатитов состоят в необходимости изготовления плотных мембран для элементов ТОТЭ методом твердофазного синтеза при высоких температурах – 1600°C для Si апатитов и 1400°C для Ge апатитов. Ввиду высокой летучести германия такие температуры приводят к уменьшению Ge в составе мембран Ge апатитов. Поэтому следует использовать другие методы синтеза при более низких температурах, например метод золь-геля и механического дробления.

Силикатные апатиты более выгодны, чем германатные, ввиду высокой стоимости GeO<sub>2</sub>. Из-за повышенной летучести кремния при высоких температурах (1800°C) в H<sub>2</sub> и NH<sub>3</sub> синтез этих материалов проблематичен. Поверхностная диффузия кремния может блокировать границу раздела электрод – электролит. Можно заключить, что существует необходимость оптимизации методов синтеза и дальнейших исследований диапазона составов апатитов.

**Выводы.** Электролитные материалы широко используются в силу их хорошей ионной проводимости, стабильности, механических свойств и способности

функционировать при низких температурах. В частности, апатиты широко используются в качестве катализаторов, батарей и газовых датчиков. Атомное масштабное моделирование является мощным средством, которое может заменить эмпирические качественные аргументы в выборе соответствующих материалов, в частности апатитов, где возможны вариации различных составов и примесей. Атомистическое моделирование позволяет рассмотреть процессы диффузии различных видов дефектов для неорганических материалов. Недавние компьютерные и экспериментальные исследования подтвердили существование высокой диффузии кислорода в апатитных материалах.

Необходимы дальнейшие исследования поверхностей, границ разделов и наноструктурных материалов, т.к. это очень перспективно для применения миниатюрных устройств и использования комплексных оксидов. С фундаментальной точки зрения, диффузные явления, по-видимому, связаны с плотностью деформации границ разделов или поверхностей и ограниченной длиной диффузии, что представит интерес в дальнейшем.

### *Список использованных источников*

1. B.C.H. Steele, A. Heinzl // Nature. – 2001. – №414. – P. 345.
2. J. Fleig, Ann. Rev. // Mater. Res. – 2003. – №33. – P. 361.
3. Z. Shao, S.M. Haile, J. Ahn, P.D. Ronney // Nature. – 2005. – №435. – P. 3676.
4. S.B. Adler, J.A. Lane, B.C.H. Steele // J. Electrochem. Soc. – 1996. – № 143. – P.3554.
5. A.Tarancorn, M.Burriel, J.Santiso, SJ Skinner, JA Kilner // Mater Chem. – 2010. №20. – P.3799.
6. C. Frayret, A.Villesuzanne, M.Pouchard // Chem Mater. – 2005. – №17. – P. 6538.
7. A.Tarancorn, SJ.Skinner, RJ.Chater, F.Hernandez-Ramirez, JA.Kilner // Mater Chem. – 2007. – №17. – P.3175.
8. M.Yashima, M.Enoki, T.Wakita, R.Ali, Y.Matsushita, F.Izumi, T.Ishihara // Chem Soc. – 2008. – №130. – P. 2762.
9. E. Kendrick, MS.Islam, PR Slater // Mater Chem. – 2007. – №17. – P. 3104.

---

Хронеос Олександр д-р філос. імперський коледж Лондона, Південний Кенсінгтон кампуса. SW7 2AZ.  
Tel: +44 (0) 20 7589 5111.

Вовк Руслан Володимирович, д-р фіз.-матем. наук, професор кафедри фізики Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-91. E-mail: v.r.vovk@mail.ru.

Гресь Валерія Юрїївна, кандидат техн. наук, доцент кафедри фізики Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-91. E-mail: vgr\_27@mail.ru.

---

Alexander Chroneos, doctor of philosophy imperial College London, South Kensington Campus. SW7 2AZ.

Tel: +44 (0)20 7589 5111

Ruslan Vovk Volodimirovich, dr. fiz.-mat. science, professor chair fiziki Ukraine State Academy of Railway Transport.

Tel. (057) 730-10-91. E-mail: v.r.vovk @ mail.ru

Gres Valeriya Yuriivna, cand. techn. science, assistant professor of fiziki Ukraine State Academy of Railway Transport.

Tel.: (057) 730-10-91. E-mail: vgr\_27@mail.ru.

**УДК 621.391**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ КОМУТАЦІЇ МЕРЕЖ ОПЕРАТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ**

**Кандидати техн. наук О.С. Волков, О.С. Жученко, студенти Н.В. Полянськова, Е.В. Чітак, К.Е. Цапенко**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ КОММУТАЦИИ СЕТЕЙ ОПЕРАТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ**

**Кандидаты техн. наук А.С. Волков, А.С. Жученко, студенты Н.В. Полянскова, Е.В. Читак, К.Э. Цапенко**

## **RESEARCH OF THE PRINCIPLES OF CONSTRUCTION DIGITAL SWITCHING SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL COMMUNICATION NETWORKS**

**Cand. tehn. science A.S. Volkov, A.S. Zhuchenko, students N.V. Polyanskova, E.V. Chitak, K.E. Tsapenko**

*У статті розглянуто інформаційно-логічну взаємодію абонентів цифрової мережі оперативно-технологічного зв'язку на залізничному транспорті. Запропоновано дворівневу модель цифрової мережі оперативно-технологічного зв'язку на основі кілець нижнього та верхнього рівнів. Визначено основні функції цифрових систем комутації мереж оперативно-технологічного зв'язку залізничного транспорту.*

**Ключові слова:** оперативно-технологічний зв'язок, диспетчерське коло, кільце нижнього рівня, кільце верхнього рівня, цифрова система комутації.

*В статье рассмотрено информационно-логическое взаимодействие абонентов цифровой сети оперативно-технологической связи на железнодорожном транспорте. Предложена двухуровневая модель цифровой сети оперативно-технологической связи на основе колец нижнего и верхнего уровней. Определены основные функции цифровых систем коммутации сетей оперативно-технологической связи железнодорожного транспорта.*

**Ключевые слова:** оперативно-технологическая связь, диспетчерский круг, кольцо нижнего уровня, кольцо верхнего уровня, цифровая система коммутации.

*In article data logical interaction of subscribers of a digital network of technological communication on railway transport is considered. The data logical scheme which is presented subscriber's interaction with use of adders which visually shows the processes arising at individual, group or a circular call in a dispatching circle. Need of the organization of bridge systems of switching for association of 2 Mbps digital paths is defined. The main functions of digital systems of switching technological networks communication of railway transport are defined. The two-level*

*model of a digital network technological communication on the basis of rings is offered. There are lower and upper levels of rings defined in the article.*

*The digital network of technological communication presented at laboratories of the department "Transport Communication" of the Ukrainian State Academy of Railway Transport for training of specialists, masters and carrying out occupations after professional development of workers of the Ukrzaliznytsia is considered.*

**Keywords:** *dispatching circle, ring of the lower level, ring of the upper level, switching system.*

**Вступ.** Оперативно-технологічний зв'язок (ОТЗ) є одним з найбільш важливих видів технологічного зв'язку на залізничному транспорті. Модернізація ОТЗ дозволяє оптимізувати процеси управління експлуатаційною роботою та забезпечити безпеку руху поїздів.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Розрізненість існуючих мереж загальнотехнологічного (ЗТЗ) та оперативно-технологічного зв'язку і недосконалість аналогових мереж, побудованих на основі електромеханічних комутаційних станцій, негативно впливають на ефективність роботи залізничного транспорту.

Перехід до цифрових систем на основі комутації каналів і створення інтегральної мережі ОТЗ, яка об'єднуватиме в собі оперативно-технологічний зв'язок і загальнотехнологічний зв'язок зі збереженням їх функціональних особливостей, є нагальною проблемою Укрзалізниці.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пріоритетним завданням реорганізації залізничного транспорту України є забезпечення безпеки, що можливо завдяки високій стабільності передачі інформації при комутації каналів. Такий тип з'єднання, на відміну від інших видів комутації, є більш надійним, що дозволяє організувати безперебійний якісний зв'язок між усіма ділянками Укрзалізниці.

Особливістю залізничного транспорту є наявність диспетчерських кіл, абоненти яких підключені до пультів оперативно-технологічного зв'язку (ПОТЗ).

Кожний напрям мережі ОТЗ будується з урахуванням організації єдиного диспетчерського центру керування (ЄДЦК) і на основі кілець нижнього та верхнього рівня.

Враховуючи, що на сьогоднішній день дане питання в українській літературі розглянуто недостатньо, дана робота є актуальною.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою статті є дослідження принципів побудови цифрових систем комутації мереж оперативно-технологічного зв'язку, яка б змогла поєднати в собі специфічні функції оперативно-технологічного зв'язку та існуюче стандартне обладнання загальнотехнологічного зв'язку.

**Основна частина дослідження.** Диспетчерське коло – ділянка залізниці, на якій виконавці технологічного процесу (абоненти) об'єднані засобами мовного зв'язку під управлінням диспетчера відповідної служби [3]. Цифровий пульт диспетчера автоматично включений у коло цифрової системи комутації (ЦСК) у режимі прослуховування каналу.

Чергові по станції та інші абоненти диспетчерського кола за власною ініціативою підключаються до групового каналу диспетчера, викликаючи диспетчера голосом. Диспетчер натискає кнопки на цифровому пульті для виклику конкретного абонента, після чого абонент, що отримав виклик, піднімає трубку і підключається до групового каналу.

У цифровій мережі ОТЗ передбачено три режими виклику абонентів диспетчером: індивідуальний, коли

диспетчером викликається один абонент, що належить до його кола, груповий – викликається група абонентів, циркулярний – послідовно викликаються всі абоненти, що належать даному диспетчерському колу [1].

Основними елементами цифрової мережі оперативного-технологічного зв'язку є цифрова система комутації та пульти оперативного-технологічного зв'язку (розпорядчий – ПОТЗ-Р і виконавчий – ПОТЗ-В) [3, 4].

Між розпорядчою комутаційною станцією та кожним ПОТЗ утворюється окремий первинний цифровий канал зі швидкістю 64 кбіт/с (ПЦК).

Розмовні тракти всіх індивідуальних каналів у кожному диспетчерському колі об'єднуються комплектом конференц-зв'язку (ККЗ).

Якісний зв'язок при груповому або циркулярному викликах, коли необхідно передавати мову від декількох абонентів одночасно, забезпечується цифровими суматорами, які входять до складу ККЗ.

Кількість суматорів залежить від кількості ПОТЗ, що підключаються до ЦСК і відгалужень від основного напрямку передачі.

На кожному вході суматора визначається мовний сигнал. Таким чином

суматор адаптується до наявності та кількості сигналів на входах. Якщо суматор виявляє мовний сигнал лише на одному вході, то передає його на вихід без перетворення. Якщо суматор виявляє сигнал на двох або більше входах, то вхідні сигнали підсумовуються. Сигнал на виході є сумою сигналів на входах.

Наглядно продемонструвати інформаційно-логічну взаємодію абонентів дозволяють схеми утворення розмовних трактів з відгалуженням (б) і без (а) у ЦСК за допомогою суматорів (рис. 1).

Суматори 1 та 3 на рис. 1, а підключені послідовно в кожний розмовний тракт, а суматор 2 - паралельно в обидва розмовних тракту. Таке підключення дозволяє уникнути в ЦСК виникнення так званого місцевого ефекту, при якому сигнал з пульта потрапляє на цей самий пульт.

Пульт диспетчера та ПОТЗ абонентів підключається до ЦСК через інтерфейс 2В+D мережі ISDN [3, 5]. Один канал постійно включений у груповий канал для того, щоб диспетчер у будь-який момент міг викликати потрібного абонента або прийняти виклик від нього, а другий канал слугує для з'єднання диспетчера з іншими абонентами диспетчерського кола.

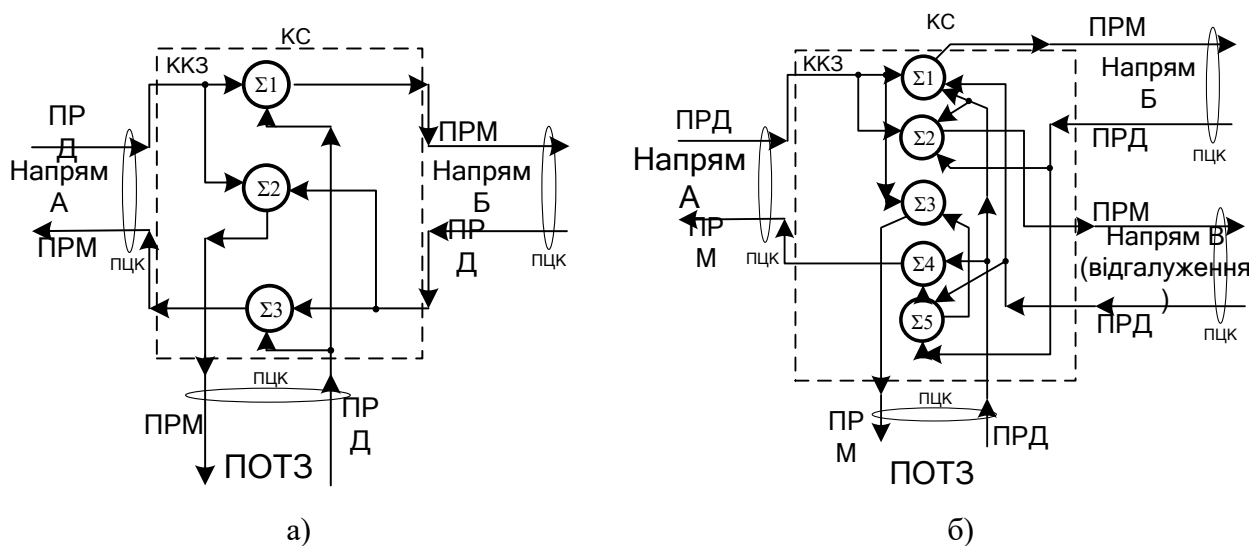


Рис. 1. ЦСК ОТЗ без відгалуження (а) та з відгалуженням (б)

Розглянемо фрагмент мережі ОТЗ (рис. 2). Всі розпорядчі станції з'єднані за повнодоступною топологією за принципом «кожний з кожним». Таке ввімкнення

розпорядчих станцій дозволяє забезпечити взаємодію диспетчерських кіл різних напрямів з високою надійністю мережі [2].

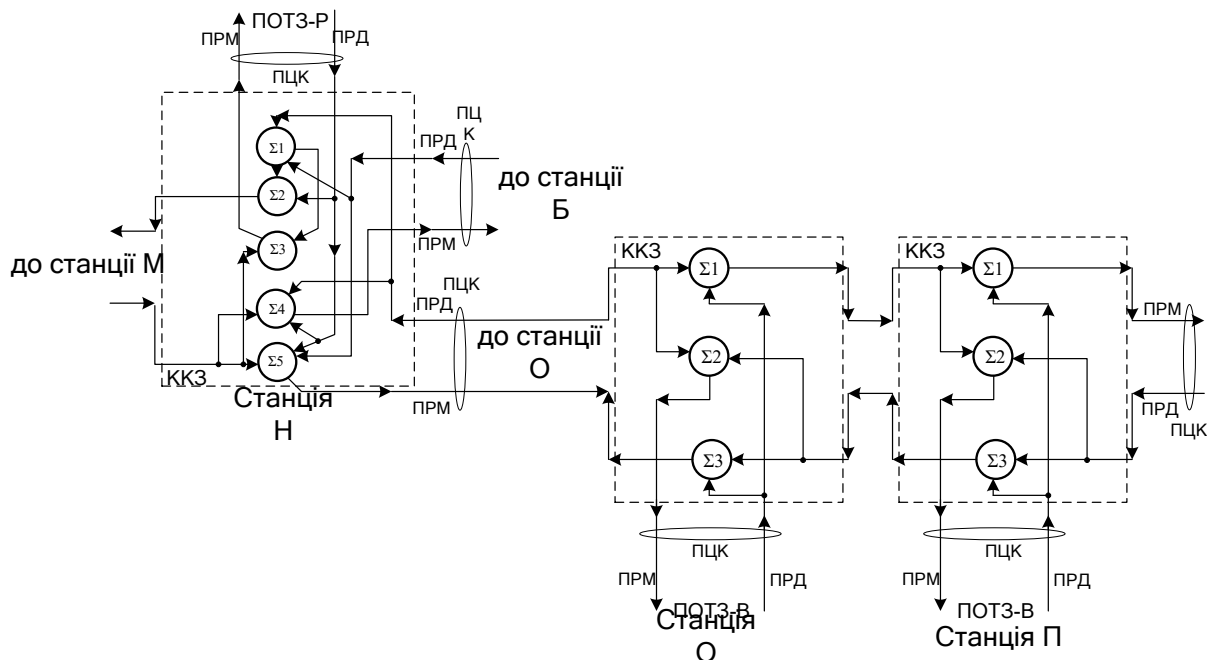


Рис. 2. Фрагмент мережі ОТЗ.

У цифровій системі ОТЗ виділяють окремі ділянки відділкового оперативно-технологічного зв'язку. Відділковий оперативно-технологічний зв'язок необхідний для здійснення диспетчерського управління роботою залізничного транспорту у межах відділення залізниці. ЦСК окремих ділянок

відділкового ОТЗ з'єднуються між собою одним або двома цифровими трактами 2 Мбіт/с, що утворюють кола нижчого рівня (НР).

На рис. 3 подана схема, яка демонструє процедуру утворення групового каналу в кільцях НР.

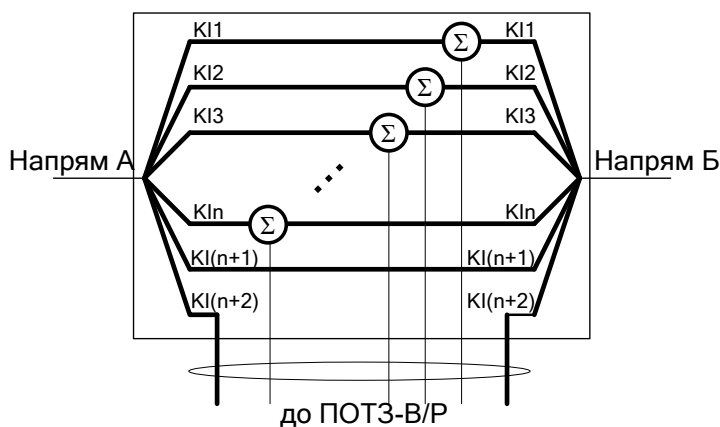


Рис. 3. Схема ЦСК ОТЗ при утворенні групового каналу в кільці НР (виконавча станція)

Кільця НР через мостові ЦСК з'єднуються між собою та з ЄДЦУ потоками 2 Мбіт/с, які утворюють кільця верхнього рівня (ВР).

На рис. 4 зображено процес утворення групового каналу на мостовій ЦСК. За допомогою мостових ЦСК кола нижнього

та верхнього рівня об'єднуються в ЄДЦУ. Мостова ЦСК забезпечує інтерфейс між кільцями ПЦК (нижнього і верхнього рівнів мережі ОТЗ) і структурно входить до складу цих кілець.

На рис. 5 зображено процес утворення групових каналів для мостової ЦСК.

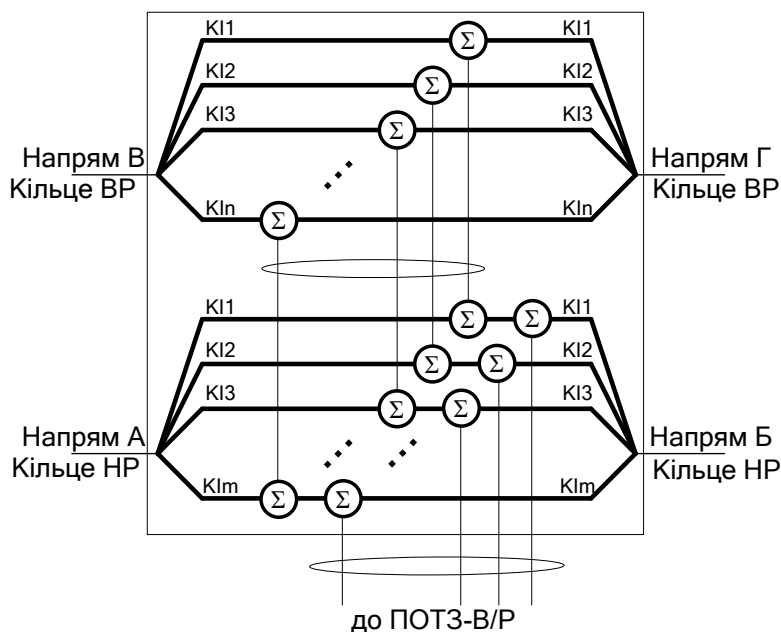


Рис. 4. Схема ЦСК при утворенні групового каналу в кільці ВР

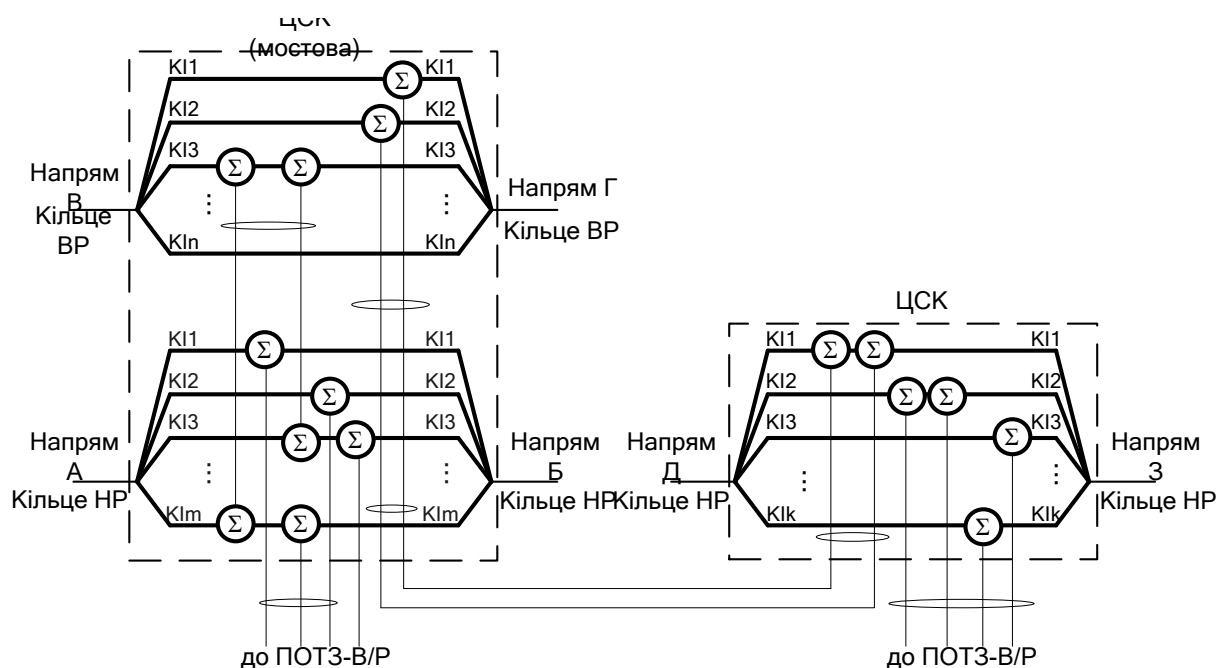


Рис. 5. Схема утворення групових каналів на мостовій ЦСК ОТЗ

У результаті дослідження в якості базової моделі цифрової мережі ОТЗ запропонована кільцева 2-рівнева модель (рис. 6). Цифрові системи комутації Н11, Н12, Н13, Н14 відповідають станціям А-Г та логічно об'єднані в перше кільце НР. На

станції Б розташоване обладнання мостової ЦСК, через яку ЦСК Н12 з'єднується кільцем ВР з мостовими ЦСК інших кілець НР (зі станціями Д, Н та У). Таким чином диспетчерські кола різних напрямів взаємодіють між собою.

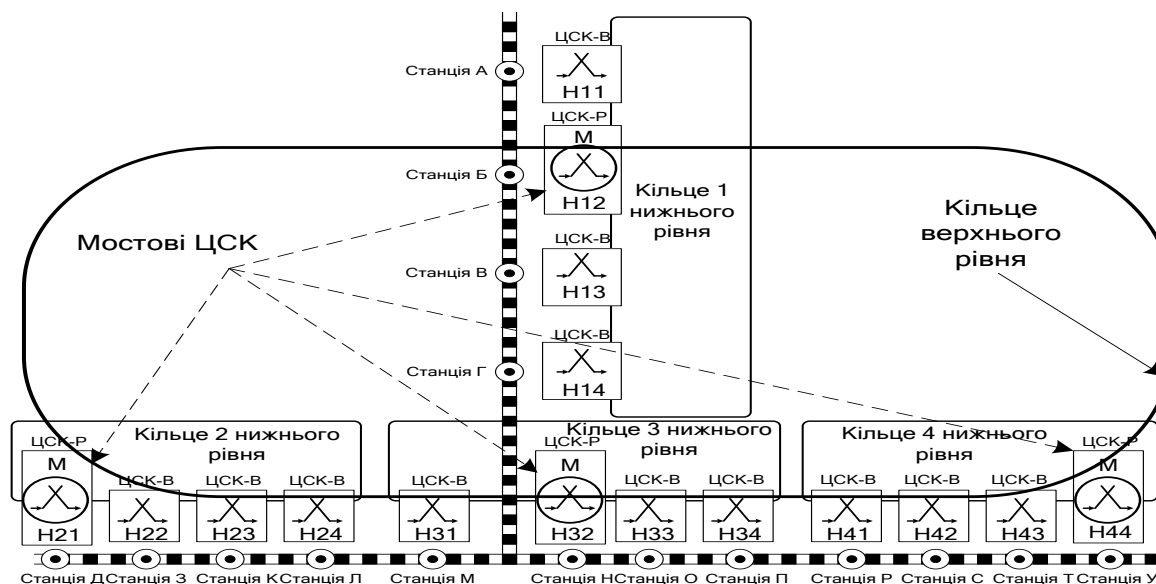


Рис. 6. Базова модель цифрової мережі ОТЗ

**Висновки.** Подано інформаційно-логічну схему взаємодії абонентів з використанням суматорів, яка наглядно демонструє процеси, що виникають під час індивідуального, групового або циркулярного виклику в диспетчерському колі.

Показано, що для організації відділкового оперативно-технологічного зв'язку необхідним є створення мостових ЦСК для об'єднання трактів 2 Мбіт/с у кільця нижнього та верхнього рівня.

Визначено основні функції мостових ЦСК і подано схеми утворення групових трактів ОТЗ.

У процесі дослідження вперше запропоновано дворівневу модель організації цифрової системи комутації фрагменту мережі оперативно-технологічного зв'язку залізничного транспорту України.

Розглянута цифрова мережа ОТЗ представлена в лабораторії кафедри «Транспортний зв'язок» УкрДАЗТ для підготовки спеціалістів, магістрів і проведення занять з підвищення кваліфікації працівників Укрзалізниці. Навчально-тренувальний комплекс реалізований на базі ЦСК ICS SI2000 та обладнання цифрового ОТЗ фірми «Стальенерго».

### Список використаних джерел

1. Волков, В.М. Технологическая телефонная связь на железнодорожном транспорте [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В.М. Волков, А.П. Зорько, В.А. Прокофьев; под ред. В.М. Волкова. – М.: Транспорт, 1990. – 294 с.



2. Дадов, Г.И. Разработка и сопровождение систем связи и управления [Текст] / Г.И. Дадов // Автоматика, связь, информатика. – 2006. - №7. – С. 37-39.
3. ОСТ 32.145–2000. Система оперативно-технологической связи железных дорог России. Протоколы информационно-логического взаимодействия объектов цифровой сети [Текст]. – М.: ВНИИАС МПС России, 2000. – 39 с.
4. Юркин, Ю.В. Оперативно-технологическая телефонная связь на железнодорожном транспорте [Текст]: учеб. для вузов же.-д. трансп. / Ю.В. Юркин, А.К. Лебединский, В.А. Прокофьев, И.Д. Блиндер. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 264 с.
5. Shiguo Lian, Madjid Merabti. Innovative multimedia communication and services. - Telecommunication Systems, August 2013.

Рецензент д-р техн. наук, профессор С.І. Приходько

---

Волков Олексій Станіславович, кандидат техн. наук, старш. викл. кафедри транспортний зв'язок Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-81. E-mail: leshvol@mail.ru  
Жученко Олександр Сергійович, кандидат техн. наук, доцент кафедри транспортний зв'язок Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-81. E-mail: rtc@rail.ru  
Полянська Надія Володимирівна, студентка Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-81. E-mail: nadin\_polyanskova@ukr.net  
Чітак Катерина Володимирівна, студентка Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-81. E-mail: Katya\_1991@gmail.com  
Цапенко Карина Едуардівна, студентка Української державної академії залізничного транспорту.

Alexey Volkov S., cand. tehn. science, Ukrainian State Academy of Railway Transport.  
Tel.: (057)730-10-81. E-mail: leshvol@mail.ru  
Zhuchenko Alexander, cand. tehn. science, Ukrainian State Academy of Railway Transport.  
Tel.: (057) 730-10-81. E - mail: rtc@rail.ru  
Polyanskova Nadezhda, student Ukrainian State Academy of Railway Transport.  
Tel.: (057)730-10-81. E - mail: nadin\_polyanskova@ukr.net  
Chitaki Ekaterina, student Ukrainian State Academy of Railway Transport.  
Tel.: (057)730- 10 -81. E-mail: Katya\_1991@gmail.com  
Tsapenko Karyna, student Ukrainian State Academy of Railway Transport.