

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

# **ВІСНИК**

**Східноукраїнського  
національного університету  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 2 (243)  
2018**

**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

**Сєверодонецьк 2018**

# ВІСНИК

СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

**№ 2 (243) 2018**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ  
ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ  
ВИХІД З ДРУКУ - ВІСІМНАДЦЯТЬ РАЗІВ НА РІК  
Засновник

Східноукраїнський національний університет  
імені Володимира Даля

Журнал зареєстровано  
в Міністерстві юстиції України

Свідоцтво про державну реєстрацію  
серія КВ № 15607-4079ПР  
від 18.08.2009 р.

# VISNIK

OF THE VOLODYMYR DAHL EAST  
UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY

**№ 2 (243) 2018**

THE SCIENTIFIC JOURNAL  
WAS FOUNDED IN 1996  
IT IS ISSUED EIGHTEEN TIMES A YEAR

Founder  
Volodymyr Dahl East Ukrainian National  
University

Registered by the Ministry  
of Justice of Ukraine

Registration Certificate  
KB № 15607-4079ПР  
dated 18.08.2009

Журнал включено до Переліків наукових фахових видань України (Наказ МОН №1328 21.12.2015 р.), (Наказ МОН №515 16.05.2016 р.), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з технічних, економічних та історичних наук відповідно.

ISSN 1998-7927

## Головна редакційна колегія:

*Поркуян О.В.*, докт. техн. наук (головний редактор),  
*Голубенко О.Л.*, член-кор. Академії педагогічних наук,  
докт. техн. наук (заступник головного редактора),  
*Марченко Д.М.*, докт. техн. наук (заступник головного  
редактора),  
*Бузько І.Р.*, докт. екон. наук, (заступник головного  
редактора),

*Архипов О.Г.*, докт. техн. наук,  
*Глікін М.А.*, докт. техн. наук,  
*Горбунов М.І.*, докт. техн. наук,  
*Рач В.А.*, докт. техн. наук,  
*Рязанцев О.І.*, докт. техн. наук,  
*Смолій В.М.*, докт. техн. наук,  
*Соколов В.І.*, докт. техн. наук,  
*Стенцель Й.І.*, докт. техн. наук,  
*Суворін О.В.*, докт. техн. наук,  
*Татарченко Г.О.*, докт. техн. наук,  
*Чернецька-Білецька Н.Б.*, докт. техн. наук,  
*Харламов Ю.О.*, докт. техн. наук,  
*Даніч В.М.*, докт. екон. наук,  
*Заблоцька І.В.*, докт. екон. наук,  
*Костирко Л.А.*, докт. екон. наук,  
*Рамазанов С.К.*, докт. техн. наук, докт. екон. наук,  
*Чернявська Є.І.*, докт. екон. наук,  
*Овчаренко Є. Ю.*, докт. екон. наук,  
*Д'яченко Ю.Ю.*, докт. екон. наук,

*Koško A.*, zw., dr. hab,  
*Бровендер Ю.М.*, докт. іст. наук,  
*Бут О.М.*, докт. іст. наук,  
*Дацків І.Б.*, докт. іст. наук,  
*Дефорж Г.В.*, докт. іст. наук,  
*Довжук І.В.*, докт. іст. наук,  
*Залізняка Л.Л.*, докт. іст. наук,  
*Запорожченко Ю.В.*, докт. іст. наук,  
*Коропченко А.А.*, докт. іст. наук,  
*Кривоконь О.Г.*, докт. іст. наук,  
*Литвиненко Р.О.*, докт. іст. наук,  
*Михайлюк В.П.*, докт. іст. наук,  
*Моця О.П.*, член-кор. НАН України, докт. іст. наук,  
*Отрощенко В.В.*, докт. іст. наук,  
*Пекарчук В.М.*, докт. іст. наук,  
*Пилипчук О.Я.*, докт. біол. наук,  
*Тригуб О.П.*, докт. іст. наук,  
*Сапицька О.М.*, канд. іст. наук,  
*Фомін А.В.*, канд. іст. наук,  
*Новіков В.П.*, докт. хім. наук,  
*Кондратов С.О.*, докт. хім. наук,  
*Галстян Г.А.*, докт. хім. наук,  
*Галстян А.Г.*, докт. хім. наук,  
*Потапенко Е.В.*, докт. хім. наук,  
*Голосман Є.З.*, докт. хім. наук

**Відповідальний за випуск: д.т.н., професор Горбунов М.І.**

Рекомендовано до друку Вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Протокол №8 від 24.04.2018 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2018  
© Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2018

## ЗМІСТ

<b>Dižo J., Blatnický M., Kravchenko, A.</b> INTEGRATION OF THE DISC BRAKE INTO AN ORIGINAL DESIGN OF A FREIGHT WAGON BOGIE.....	9
<b>Pavlik A., Hauser V., Kravchenko K.</b> MODIFICATION OF THE EXHAUST PIPING SYSTEM FOR COGENERATION UNIT REDEVELOPMENT .....	15
<b>Poddybnaya N.N., Udovitsa O.O.</b> METHODICAL MAIN REGULATIONS OF THE OPTIMIZATION OF THE LOGISTICS DELIVERY SYSTEMS PARAMETERS WITH CONSIDERATION OF ITS TRANSPORTATION MODE.....	20
<b>Акимова О.В., Руйчева М.П.</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ .....	26
<b>Баб'як М.О.</b> РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАКЛАДОК СТРУМОПРИЙМАЧІВ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ВЗАЄМОДІЇ З КОНТАКТНИМ ДРОТОМ.....	32
<b>Бекетов Ю.О., Северин О.О.</b> МЕТОДИКА ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНОГО АНАЛІЗУ В УПРАВЛІННІ АВТОТРАНСПОРТНИМ ВИРОБНИЦТВОМ.....	38
<b>Бойко Г.О., Бойко Т.В., Єпіхін Р.А.</b> МЕТОДИ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАНТАЖОПДІЙОМНИХ КРАНІВ.....	42
<b>Василенко Н.А., Гончаров В.В., Климаш А.А.</b> УПРОЧНЕНИЕ ОПОРНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТА МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ .	50
<b>Волошин Д.І., Афанасенко І.М., Дерев'янчук Я.В.</b> ДО ПИТАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГАЛЬМІВНОЇ ВАЖЛІВНОЇ ПЕРЕДАЧІ ВАГОНА-ХОПЕРА.....	54
<b>Габрієлова Т.Ю., Коновалюк В.С., Литвиненко С.Л., Тарасенко Ю.І.</b> МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ РАДІОЧАСТОТНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ ВАНТАЖУ У ВАНТАЖНОМУ ТЕРМІНАЛІ.....	60
<b>Гаркуша Г.Г., Сагіров І.В., Жерліцина О.В.</b> ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЗЕРНОВОГО ТЕРМІНАЛУ.....	66
<b>Герлиця Ю., Горбунов Н.И., Кравченко Е.А., Просвірова О.В., Лак Т.</b> АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕННЯ ШУМА ПРИ ДВИЖЕННИИ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЕГО СНИЖЕНИЯ .....	70
<b>Горбунов М.І., Просвірова О.В., Кравченко К.О.</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ГАЛЬМОВОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОРОЗСПУХОЇ СПРОМОЖНОСТІ ФРИКЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ.....	76
<b>Гулак С.О., Єрмоленко Е.К.</b> РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРИВОДУ ДОПОМІЖНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОВІЗІВ СЕРІЙ ВЛ-80 <sup>Т,К</sup> , ЩО ПРАЦЮЮТЬ В НЕСИНУСОЇДАЛЬНОМУ ТА НЕСИМЕТРИЧНОМУ РЕЖИМАХ .....	80
<b>Заверкін А.В., Кузьменко С.В., Чердніченко С.П.</b> ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВНУТРІШНЬОЗАВОДСЬКИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ ПІДПРИЄМСТВ МАШИНОБУДІВНОГО ПРОФІЛЮ.....	93
<b>Заверкін А.В., Марченко Д.М., Кузьменко С.В., Чердніченко С.П.</b> РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ДИСПЕТЧЕРА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ НА ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ .....	98
<b>Заренбин В.Г., Колесникова Т.Н., Сакно О.П., Мойся Д.Л.</b> ПУТИ ДОСТИЖЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ .....	104

<b>Ищенко В.М., Щербина Ю.В.</b> СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКА ГІДРОАМОРТИЗАТОРА ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЙОГО РОБОТИ .....	108
<b>Кічкін О.В.</b> ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ПОЇЗДОМ.....	113
<b>Кічкіна О.І.</b> ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ВИРОБНИЧОЇ ТА }ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ ЛОГІСТИКИ .....	118
<b>Кічкіна О.І., Кічкін О.В.</b> МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ НЕЧІТКОЇ ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	122
<b>Ковтун Т.А., Смокова Т.М.</b> ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАРІЮ ЯКІСНОГО АНАЛІЗУ РИЗИКІВ У ПРОЕКТІ СТВОРЕННЯ ЛОГІСТИЧНОГО ЦЕНТРУ .....	126
<b>Кузькін О.Ф.</b> АНАЛІЗ МАРШРУТНОЇ СИСТЕМИ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЗАПОРІЖЖЯ.....	132
<b>Кузьменко С.В., Заверкін А.В.</b> ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ УЗГОДЖЕНОЇ РОБОТИ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ З ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ.....	140
<b>Лапкіна І.О., Ветошнікова М.А.</b> ОЦІНКА ПРОЕКТІВ ДИВЕРСИФІКАЦІЇ СУДНОПЛАВНОЇ КОМПАНІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН.....	144
<b>Леонтьєва А.И.</b> СИСТЕМНЫЕ СВЯЗИ ПРОЕКТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ МОРСКИХ ТОРГОВЫХ ПОРТОВ .....	150
<b>Ловська А. О.</b> МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ВАГОНА- ПЛАТФОРМИ ЗЧЛЕНОВАНОГО ТИПУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПОРОМІ .....	154
<b>Могила В.І., Алдокімов М.Г.</b> ГАЛЬМІВНА КОЛОДКА ТА ШЛЯХИ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ .....	160
<b>Мусасєв З.Р.</b> РОЗРОБКА ТЕНЗОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОТКОБАЗОВИХ БУДІВЕЛЬНИХ ТА ДОРОЖНИХ МАШИН .....	163
<b>Павлюченков М.В., Бобрицький С.В., Сумцов А.Л.</b> УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КІНЦЕВИХ ОПОРНИХ ПРИСТРОЇВ ВАГОНІВ-ЦИСТЕРН.....	167
<b>Полупан Є.В., Шевченко С.І., Полупан Ю.В.</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ГАЛЬМОВОЇ СИСТЕМИ .....	172
<b>Потаман Н.В., Варнаков В.І.</b> ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ В МІЖМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ.....	179
<b>Потапенко О.О., Могила В.І.</b> РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СЕРІЙНОЇ ТА УДОСКОНАЛЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ ФРИКЦІЙНОГО ГАСИТЕЛЯ КОЛИВАНЬ ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНУ .....	184
<b>Примаченко Г.О., Жуковський О. Є.</b> ЗНАЧЕННЯ СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ У РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ ШВИДКІСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ .....	193
<b>Северин О.О., Шуліка О.О., Потаман Н.В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ СУМАРНИХ ВИТРАТ НА ВИКОНАННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ ВІД ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ.....	198
<b>Суворов П.С., Тарасенко Т.В., Залож В.И.</b> ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДИКАТОРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ .....	203
<b>Фалендиш А.П., Гатченко В.О., Клецька О.В., Сулежко Д.Е.</b> МОДЕЛЬ ВИБОРУ СТЕНДУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДИЗЕЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ .....	208

---

<b>Фомін О.В., Горбунов М.І, Коваленко В.В, Міщук І.Р.</b> ФОРМАЛІЗОВАНІ ОПИСАННЯ КОНСТРУКЦІЙ КРИШОК ЛЮКІВ НАПІВВАГОНІВ (Частина 1) .....	216
<b>Фомін О.В., Прокопенко П.М.</b> ТЕОРЕТИЧНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ СТІЙКОСТІ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ДЕГРАЦІЙНИХ ЗМІН ТАРИ .....	225
<b>Фомін О.В., Бурлуцький О.В, Горбунов М.І., Логвіненко О.А.</b> КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ТЕРМІЧНОЇ ПРАВКИ .....	233
<b>Фомін О.В., Осьмак В.Є., Лебедєв В.С.</b> АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОВЗУНІВ З ЗАЗОРОМ У КОНСТРУКЦІЇ КРИТИХ ВАГОНІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЛЕГКОВАГОВИХ ВАНТАЖІВ.....	237
<b>Фомін О.В., Стецько А.А.</b> КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ПОПЕРЕДНЬО -СТИСКАЮЧОГО КОНСТРУКТИВУ В РАМИ НЕ ТЯГОВИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ВРАХУВАННЯМ ДІЇ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ .....	243
<b>Хаусер В., Герлици Ю., Кравченко Е.А., Ноженко Е.С., Лоулова М.</b> АНАЛІЗ ДВИЖЕННЯ ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА ПО ДВУМ СПЕЦИФИЧНИМ УЧАСТКАМ ПУТИ .....	250
<b>Цейко Б.О.</b> КЛІЄНТООРІЄНТОВАНІСТЬ, ЯК НОВІТНІЙ ПІДХІД ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ .....	257
<b>Цейко Б.О.</b> ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМ ВАНТАЖІВ(СІУПВ) ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ КЛІЄНТІВ НА ЗАЛІЗНИЦІ .....	260
<b>Цейко Б.О.</b> ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ТЕОРІЇ СИСТЕМ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АСУ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ВАГОНОПОТОКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КЛІЄНТООРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	263
<b>Шибаяев А.Г., Щербина О. В.</b> СОСТАВ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ БАРЖЕБУКСИРНЫХ СУДОВ.....	266

---



---

## CONTENTS

<b>Dižo J., Blatnický M., Kravchenko, A.</b>	INTEGRATION OF THE DISC BRAKE INTO AN ORIGINAL DESIGN OF A FREIGHT WAGON BOGIE .....	9
<b>Pavlik A., Hauser V., Kravchenko K.</b>	MODIFICATION OF THE EXHAUST PIPING SYSTEM FOR COGENERATION UNIT REDEVELOPMENT .....	15
<b>Poddybnaya N.N., Udovitsa O.O.</b>	METHODICAL MAIN REGULATIONS OF THE OPTIMIZATION OF THE LOGISTICS DELIVERY SYSTEMS PARAMETERS WITH CONSIDERATION OF ITS TRANSPORTATION MODE.....	20
<b>Akimova O.V., Ruicheva M.P.</b>	AN ANALYSIS OF REASONS FOR SHIP'S DETENTION IN PORT OF CALL .....	26
<b>Babyak N.</b>	RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR OPERATING PANTOGRAPH LININGS, TAKING INTO ACCOUNT THEIR INTERACTION WITH THE CONTACT WIRE.....	32
<b>Beketov Yu.O., Severin O.O.</b>	TECHNIQUE OF PRACTICAL APPLICATION OF FUNCTIONAL AND COST ANALYSIS IN THE MANAGEMENT OF MOTOR TRANSPORT PRODUCTION .....	38
<b>Boyko G., Boyko T., Epihin R.</b>	METHODS OF EVALUATION OF THE TECHNICAL STATE OF LOAD-LIFTING CRANES.....	42
<b>Vasilenko N.A., Honcharov V.V., Klimash A.A.</b>	HARDENING TRANSPORT SUPPORT PARTS BY IONIC IMPLANTATION METHOD.....	50
<b>Voloshin D., Afanasenko I., Derevianchuk Ya.</b>	THE QUESTION OF THE HOPPER-CAR MECHANICAL BRAKE ELEMENTS IMPROVING..... MODEL OF EVALUATING THE FEASIBILITY OF INTRODUCING A RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION SYSTEM FOR CARGO HANDLING IN CARGO TERMINAL .....	54 60
<b>Garkusha G.G., Sagirov I.V., Zherlitsyna O.V.</b>	IMITATING MODEL OF GRAIN TERMINAL .....	66
<b>Gerlici J., Gorbunov M.I., Kravchenko K.O., Prosvirova O.V., Lack T.</b>	ANALYSIS OF THE CAUSES OF NOISE GENERATION DURING THE MOVEMENT OF A RAIL VEHICLE AND METHODS FOR REDUCING IT .....	70
<b>Gorbunov M., Prosvirova O., Kravchenko K.</b>	EXPERIMENTAL RESEARCH FOR IMPROVED BRAKE EQUIPMENT USE TO ENHANCE ENERGY EFFICIENCY OF THE BRAKE SYSTEM FRICTION ELEMENTS .....	76
<b>Goolak S., Yermolenko E.</b>	DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR THE INVESTIGATION OF THE OPERATION OF SUPPLEMENTARY MACHINES OF ELECTROVASES OF SERIES OF VL-80 <sup>T,K</sup> , WORKING IN NON-INSOID AND NOSIOMETRIC MODES .....	80
<b>Zaverkin A., Kuzmenko S., Cherednychenko S.</b>	OPTIMIZATION OF TRANSPORT SERVICE OF INTRA FACTORY FREGHT TRAFFICS OF THE ENTERPRISES OF A MACHINE-BUILDING PROFILE .....	93
<b>Zaverkin A., Marchenko D., Kuzmenko S., Cherednychenko S.</b>	DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED WORKPLACE OF THE DISPATCHER RAILWAY TRASPORT AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE .....	98
<b>Zarenbin V., Kolesnikova T., Sakno O., Moysya D.</b>	MEANS OF ACHIEVEMENT THE ECONOMY OF FUEL OF CARS .....	104
<b>Ischenko V., Scherbina Y.</b>	BENCH TESTS OF A PROTOTYPE OF HYDRO DAMPER FOR PASSENGER WAGONS OF AN IMPROVED DESIGN AND AN ASSESSMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF ITS OPERATION .....	108
<b>Kichkin A.V.</b>	INTELLIGENT TRAIN CONTROL SYSTEM .....	113
<b>Kichkina O.I.</b>	SIMULATION MODEL FOR PRODACTION AND TRANSPORT -WAREHOUSE LOGISTICS .....	118

<b>Kichkina O.I., Kichkin O.V.</b>	MODEL OF DISTRIBUTION OF VEHICLES IN CONDITIONS OF FUZZY PRIMARY INFORMATION .....	122
<b>Kovtun T., Smokova T.</b>	THE APPLYING OF THE QUALITY RISK ANALYSIS INSTRUMENT IN THE LOGISTIC CENTER CREATION PROJECT .....	126
<b>Kuz'kin O.F.</b>	PUBLIC TRANSIT SYSTEM ANALYSIS IN ZAPORIZHZHYA CITY .....	132
<b>Kuzmenko S., Zaverkin A.</b>	DETERMINATION OF MODE COORDINATED WORK OF HEATING SYSTEMS WITH HEAT ACCUMULATOR .....	140
<b>Lapkina I.O., Vetoshnikova M.A.</b>	EVALUATION OF PROJECTS OF SHIPPING COMPANY DIVERSIFICATION BY MEANS OF FUZZY THEORY .....	144
<b>Leontieva A.I.</b>	SYSTEM LINKS OF TECHNICAL DEVELOPMENT PROJECTS OF SEA TRADING PORTS' CONTAINER TERMINALS .....	150
<b>Lovska A. O.</b>	MODELING THE DYNAMIC LOADING OF AN ARTICULATED WAGON-PLATFORM AT TRANSPORTATION ON A RAILWAY FERRY .....	154
<b>Mogila V.I., Aldokimov M.G.</b>	BRAKE SHOE AND WAYS TO IMPROVE .....	160
<b>Musaiev Z.R.</b>	DEVELOPMENT OF A TENSOMETRIC SYSTEM FOR THE STUDY OF SMALL-SIZED CONSTRUCTION AND ROAD MACHINERY .....	163
<b>Pavliuchenkov M., Bobrytskyi S., Sumtsov A.</b>	IMPROVING THE BRACKET SUPPORT STRUCTURES OF TANK WAGONS .....	167
<b>Polupan E., Shevchenko S., Polupan J.</b>	INCREASE THE EFFICIENCY OF BRAKING AUTOBILES BY IMPROVING THE BRAKING SYSTEM .....	172
<b>Potaman N., Varnakov V.</b>	DETERMINATION OF THE RATIONAL TECHNOLOGY OF CARGO DELIVERY IN THE INTERCITY .....	179
<b>Potapenko O., Mogila V.</b>	RESULTS OF RESEARCHES OF WORK OF SERIAL AND ADVANCED DESIGNS OF THE FRICTIONAL QUENCHER OF FLUCTUATIONS OF THE CART OF THE FREIGHT CAR .....	184
<b>Prymachenko H., Zhukovskiy O.</b>	SIGNIFICANCE OF STRATEGIC PLANNING IN REALIZATION OF THE CONCEPT OF DEVELOPMENT OF TRANSPORT LOGISTICS OF SPEED PASSENGER RAILWAY TRANSPORTATION .....	193
<b>Severin O.O., Shulika O.O., Potaman N.V.</b>	RESEARCH OF THE DEPENDENCE OF TOTAL COSTS ON THE PERFORMANCE OF LOADING AND UNLOADING OPERATIONS FROM THE MAIN INDICATORS OF MECHANIZATION DEVICES WORK .....	198
<b>Suvorov P., Tarasenko T., Zalozh V.</b>	PRINCIPLES OF DETERMINATION OF ENERGY EFFICIENCY INDICATORS FOR INLAND NAVIGATION VESSELS .....	203
<b>Falendysh A., Hatchenko V., Kletska O., Sulezhko D.</b>	FORMALIZED DESCRIPTION OF THE BASIC EXECUTION OF CONSTRUCTIONS OF THE BASKET CHRISTMAS STRUCTURES .....	208
<b>Fomin O.V., Horbunov M.I., Kovalenko V.V., Mishchuk I.R.</b>	FORMALIZED DESCRIPTION OF THE BASIC EXECUTION OF CONSTRUCTIONS OF THE BASKET CHRISTMAS STRUCTURES .....	216
<b>Fomin O., Prokopenko P.</b>	THEORETICAL-EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE RATIO OF THE STABILITY OF THE WAGON-PLATFORM DEPENDING ON THE OPERATING-DEGRATIONAL CHANGES OF THE TAR .....	225
<b>Fomin O.V., Burlutskiy O.V., Horbunov M.I., Logvinenko O.A.</b>	CONCEPTUAL BASIS OF THERMAL EDITING .....	233

---

---

<b>Fomin O., Osmak V., Lebedev V.</b>	
ANALYSIS OF THE USE OF STEEL COUPLES WITH THE END OF THE CONSTRUCTION OF CRYSTAL WAGONS FOR THE TRANSPORT OF LIGHTHOUSE CARGOES.....	237
<b>Fomin O., Stetsko A.</b>	
COMPUTER MODELING OF IMPLEMENTATION OF THE PRE-CONTAINING CONSTRUCTION IN AREA OF NON-TYPICAL RAILWAY VEHICLES WITH ACCOUNT OF VERTICAL LOADING.....	243
<b>Hauser V., Gerlici J., Kravchenko K., Nozhenko O., Loulova M.</b>	
ANALYSIS OF THE TRAM CAR RIDE ALONG TWO SPECIFIC TRACK SECTIONS.....	250
<b>Tseiko B.</b>	
CIRCULARITY, A NEW APPROACH TO ORGANIZATION OF CARGO TRANSPORTATION ON RAILWAY TRANSPORT.....	257
<b>Tseiko B.</b>	
FEATURES OF DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF INTELLECTUAL MANAGEMENT OF CARGO TRANSPORTATION(SIMCT) WHEN SERVICING CUSTOMERS ON THE RAILWAY.....	260
<b>Tseiko B.</b>	
APPLICATION OF MODELS OF THE THEORY OF SYSTEMS OF MASS SERVICE ACS TO IMPROVE TRAFFIC FLOW USING CUSTOMER-CENTRIC TECHNOLOGIES.....	263
<b>Shibaev A.G., Shcherbina O.V.</b>	
COMPOSITION AND SEQUENCE OF OPERATIONS AT THE ORGANIZATION OF THE WORK OF THE TUG BARGE VESSELS.....	266

UDK 629.4.027.2: 629.4-592

## INTEGRATION OF THE DISC BRAKE INTO AN ORIGINAL DESIGN OF A FREIGHT WAGON BOGIE

Dižo J., Blatnický M., Kravchenko A.

## ИНТЕГРАЦИЯ ДИСКОВОГО ТОРМОЗА В ОРИГИНАЛЬНУЮ КОНСТРУКЦИЮ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Дижо Я., Блатницкий М., Кравченко А.П.

*This contribution is focused on the presentation of an original freight wagon bogie modification in order to integrate a disc brake into its structure. Such a modified freight wagon bogie will be used for the six-axle articulated flat wagon for intermodal transport, i.e. for transport of containers, trailers, etc. The main advantage of the proposed technical solution is, that the operation of freight wagons braked by means of disc brakes generates significantly less noise and requires lower power than block brakes. In this work there is presented the design of the integration of the disc brake with two discs, attachment of the brake beam on the original bogie frame and also mounting the disc brake unit on the brake beam.*

**Keywords.** Freight wagon, Disc brake, Design modification, Disc brake beam.

### Introduction

From the railway operation point of view brake equipments of wagons belong to the most important part of all railway vehicles. Therefore the design and function of brakes equipments have to meet strict conditions given by the International union UIC.

The brake equipment of a rail vehicle is composed of the pneumatic pressure system – pressure brake. The pressure brake serves as the safety brake for operation, quick-acting, emergency and automatic brake. A disc brake is nowadays the dominant design version of pressure brake for passenger rail vehicles and train units. In the freight railways transport cast-iron block brakes are currently used [1, 2], but with regard to requirements for increasing the transport speeds and axle loads the integration of the disc brake into the original design of a freight wagon bogie is very up-to-date. The installation of the disc brake will ensure higher brake power and significant noise emissions reduction, which have imperient effects on the environment.

The goal of an article Presentation of the modification of a freight wagon bogie design in order to implement a disc brake into its original design.

### Freight wagons with a disc brake

The Y25 bogie (Fig. 1) is the most widely used type of a freight wagon in the western and middle Europe [3, 4]. Originally, it is French design of a bogie [5]. Generally, this type of bogie uses block brakes [6]. The GG block is most often applied, which acts on a wheel.



Fig. 1. Y25 freight wagon bogie

However, the current development of this type of bogie is focused on the disc brake implementation without radical design modification, mainly for higher brake power, because just the right guarantees constant and safe heat sink without adverse load of wheel surfaces.

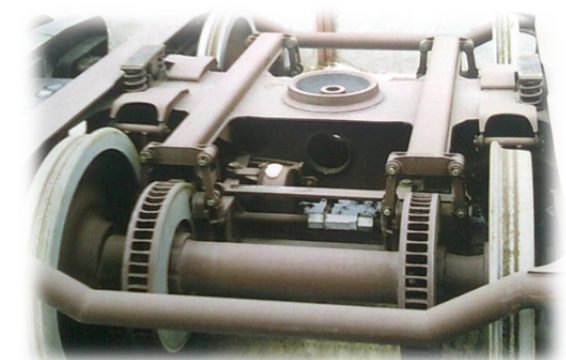


Fig. 2. Y25Lss freight wagon bogie

Disc brakes already were implemented for freight wagons, e.g. Y25Lss bogie (Fig. 2). But, in this case, the disc brake was combined with the additional block brake. It allows wheel surfaces cleaning, so it ensures appropriate force ratios in the wheel/rail contact. Hereby, the block brake assumes the part of the brake force and it means that the disc brake is lite during braking at high speeds. The disc brake ensures approx. 75 % of the braking power and the block brake remaining 25 %. This ratio results from the necessity of brake blocks, as during the lifetime of one relining of a disc brake blocks have to be changed from 4 to 6 times [3, 6].

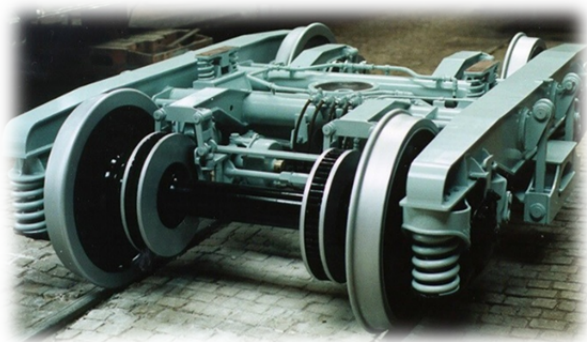


Fig. 3. Y25Lss freight wagon bogie

Another representative of a freight wagon, which is equipped with a disc brake in combination with a block brake, the Y37VR bogie is (Fig. 3). There is version 9-846.0. In the 9-846.1 version of it a handbrake is mounted. This bogie is determined for the freight wagon with axle load of 18 t and the operation at the speed of 140 km/h [5, 6].

#### Brakes of freight wagons.

The classic block brake is equipped with cast-iron brake blocks. Current trends direct to composite brake blocks, which represent very advantageous price alternative for a disc brake. However, in this case the unfavourable abrasion of a material occurs.

For block brakes, the friction coefficient depends on the material of brake blocks, speed, temperature and surface compression between the wheel and the brake block. Brake blocks made of composite materials or cemented metal have the similar friction coefficient to the disc brake from the speed and dimension dependency point of view [7, 8]. This is caused by the material similarity of composite blocks and disc brake lining.

In operation of rail vehicles the intention is to decrease of its curb weight and also to decrease unsuspended masses. While individual components of a block brake belong to suspended masses of rail vehicles, classic types of a disc brake with shaft or wheel brake discs are not suspended. Therefore, in comparison with block brake disc brakes increase unsuspended weight of a freight wagon bogie.

#### Features of brakes of freight wagon bogies.

The block brake is the best-known adhesion brake. The braking happens, when brake blocks are pushed against wheel surface [7]. The pressure is during operation caused by pressure of compressed air, which acts on the brake cylinder rod.

The main advantages of block brakes are:

- simple verification of functionality,
- block ability to slick minor irregularities on wheel surface,
- brake verification can be performed visually without other checking system.

The disadvantages of block brake are:

- large dimension and complexity of a system,
- relatively low efficiency related to wagon weight,
- high level of the operation noise,
- low lifetime of brake blocks.

The disc brake composes of two basic elements:

- brake disc,
- brake lining.

Generally, the brake disc is very often fixed on a axle. A brake disc can be produced either as single or compound.

The number of brake discs used to be various and depends on required brake power. For lower speeds one brake disc suffices. For high speed vehicles there are used higher number of discs – from two up to five.

From the design point of view brake discs may be intended either to be mounted on an axle of a bogie, or to be mounted on a wheel.

#### Design of a disc brake for a freight wagon bogie.

Firstly, there is necessary to determine the brake power, which acts against a freight wagon running on a track [9] and it is generated by the brake accessories of a freight wagon.

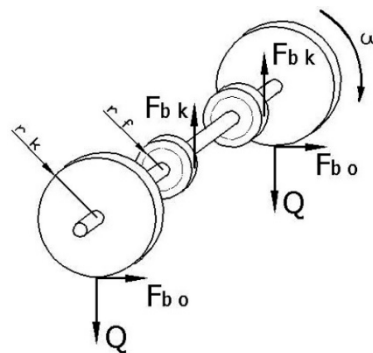


Fig. 4. Wheelset braked by a disc brake

In this contribution the disc brake is designed for the six-axle freight wagon (Sdggmrrs), which maximum weight is  $m_l = 135$  t, considered equivalent weight is  $m_{ekv} = 141.75$  t and calculated vehicle resistance is  $O_{voz} = 7.932$  kN.

From the freight train equation of motion

$$m_{ekv} \cdot a_b = -O_{voz} - F_B \quad (1)$$

we express the brake force needed for slowing-down of rail vehicle:

$$F_B = -O_{voz} - m_{ekv} \cdot a_b \quad (2)$$

For a rail vehicle stopping within the brake distance there is necessary to produce brake deceleration  $a_b$ . For the speed higher than 100 km/h the brake distance is  $L = 1000$  m. In the calculation the brake deceleration we consider for the speed of  $v = 120$  km/h:

$$a_b = \frac{v^2}{2 \cdot L} = \frac{(33.333)^2}{2 \cdot 1000} = 0.55 m/s^2 \quad (3)$$

The calculated brake deceleration (eq. (3)) we substitute in eq. (2) and we can find out the brake force  $F_B$ :

$$F_B = -7.932 - 141.75 \cdot (-0.55) = 70.03 kN \quad (4)$$

From eq. (4) we have calculated the maximum brake force, which the disc brake of one vehicle has to generate. Further, we have to calculate the brake force for individual brake discs. As we consider six-axle freight wagon, the brake force on one axle will be following:

$$F_{BN} = \frac{F_B}{6} = \frac{70.03}{6} = 11.67 kN \quad (5)$$

For the brake force transmission on the adhesion limit there is valid:

$$F_{BN} \leq 2 \cdot Q \cdot \mu \Rightarrow 11.67 < 30.9 \quad (6)$$

then

$$F_{BN} \leq 2 \cdot \frac{135 \cdot 9.81}{12} \cdot 0.14 \Rightarrow 11.67 N < 30.9 N \quad (7)$$

The vertical wheel force  $Q$  is calculated from the total weight of a vehicle and from the number of wheels on a vehicle. The adhesion coefficient  $\mu = 0.14$  is the maximal safe during braking.

In the next step we choose the number of discs on an axle in order to calculate the brake for one brake disc. For the proposed solution there are chosen two brake discs on an axle. The brake force on one disc is

$$F_{BK} = \frac{F_{BN} \cdot \frac{r_f}{r_k}}{2} = \frac{11.67 \cdot \frac{0.233}{0.46}}{2} = 2.95 kN \quad (8)$$

The calculation of the compressive force of a brake lining on one disc is given by following formula

$$F_{BK} = F_p \cdot f \Rightarrow F_p = \frac{F_{BK}}{f} = \frac{2.95}{0.3} = 9.85 kN \quad (9)$$

The new solution of the brake system of the Y25 freight wagon bogie with disc brake using there is necessary to choose a disc brake unit. There are several producers and several types of such devices. For our purposes we have chosen the DAKO KB brake unit.

This brake unit is used in brake equipment of rail vehicles mainly as the part of a bogie. On a bogie it is localised in such way to generate the brake force directly on discs. The brake unit of the designed brake is shown in Fig. 5.



Fig. 5. Brake unit of a disc brake

This brake unit is active device of the rail vehicles brake, which contains in one construction unit always the brake cylinder with the built-in one-side acted a setter of brake shoes, brake rigging with defined brake ratio, holders of brake lining, linkages and swing links. Main parts of the chosen disc brake unit are:

- brake cylinder,
- handbrake mechanism,
- braking indicator,
- brake rigging (parts of transmission of the brake force to brake lining).

**Design of a beam and attachment of the disc brake on a freight bogie frame**

The bogie frame is the main support part of a bogie. The role of a frame is to ensure the proper position of wheelsets, traction forces transmission between wheelsets and a vehicle frame. At the same time it carries other construction units and parts of a bogie depend on the type of a bogie (brakes, tubes, electric installation, etc.).

The bogie frame holds the position of freight wagon body on a bogie in all directions and transfers all operation loads in all basic directions. For its every functionality it has to be designed properly not only from the form point of view (i.e. joints surfaces, mounting conditions, etc.), but also from the strength point of view (types of loads, fatigue, etc.).

There are several conception arrangements of bogie frames, which we can use the disc brake on. The most often we can meet the rigid attachment of the disc brake beam on a bogie frame. In this case, the disc brake beam is welded to the frame or to another beam, which hangs on a bogie frame.

In our modification of the original bogie with the block brake, we have chosen the conception with hung beam of disc brake beam on a bogie frame. This conception solution is in our considered case more suitable. There is for more reasons (Fig. 6).

The hung beam requires indeed the frame modification, which consists in the complement of beam holders, but these construction components do not affect the frame structure such significantly as in the case of welded beam. Another advantage is the simplifier modification of the original frame. Such a technical solution is suitable also in respect of space layout. Screw connections ensure detachable of the beam. It makes easier the bogie maintenance and also potential repairs.

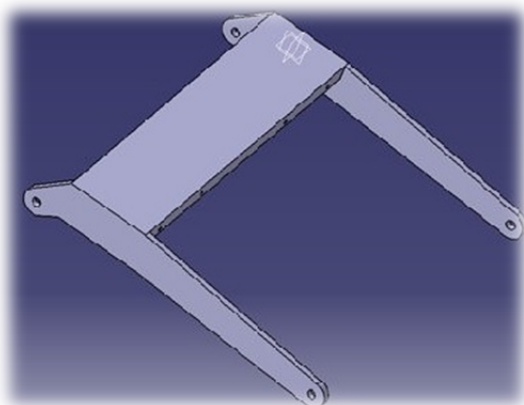


Fig. 6. Design of the disc brake beam

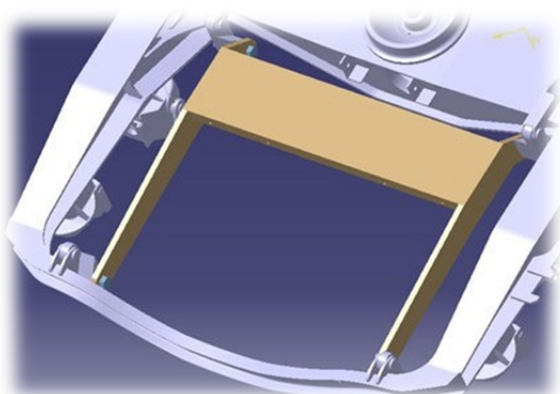


Fig. 7. Attachment of the designed beam of a disc brake on a bogie frame

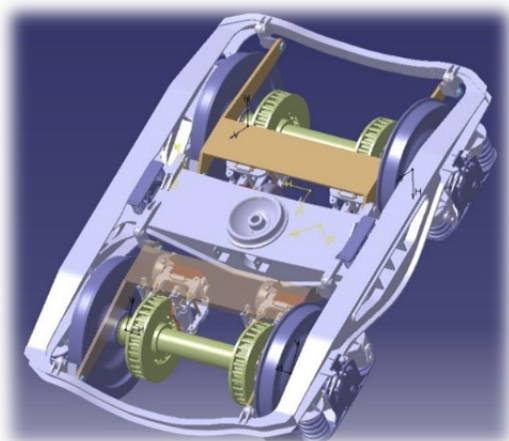


Fig. 8. Y25 bogie with the disc brake

In our supposed modification of the Y25 freight wagon bogie, which the disc brake will be used on, the beam will be mounted on the frame by means of screw connection (mentioned above), which allow the easier and more flexible modification of the existing original frame design for the new conception with the disc brake. As the beam will be hung on the frame, forces transmission will be significantly lower in comparison with a welded beam.

#### Results of the designed technical solution

For proposed technical solution of the freight wagon bogie modification two brake discs for one axle are chosen. Thus, four brake discs for one bogie are used (Fig. 8). The bogie will use four individual brake units with brake lining (Jurid) made of the special alloyed material. These lining will ensure significantly noise decreasing and also they have convenient brake properties even in bad weather conditions. The brake unit will be mounted on the beam by means of screws and it will hang on the original bogie frame.

#### Conclusion

In this contribution, the propose of the original Y25 freight wagon bogie modification is presented. The design consists in the disc brake integration into the original freight wagon bogie without significant modification of the original bogie frame structure. The goal of the technical solution is increasing the brake power and increasing the negative effects of noise to environment. Such a modified bogie is intended for using in a six-axle jointed wagon for intermodal transport (Sdggmrss serie). The brake system is proposed for axle load of 22.5 t with four discs in one bogie. This technical solution does not require significant modification of the original bogie frame and it ensures sufficient brake power within the acceptable heat load.

#### Acknowledgements

This work was supported by the Cultural and Educational Grant Agency of the Ministry of Education of the Slovak Republic in the project No. KEGA 007ŽU-4/2017: Modernization of the Vehicle and engines study programs.

#### References

1. Loulová M. Konštrukčná úprava brzdového systému podvozka železničného nákladného vagóna / M. Loulová, J. Gerlici, T. Lack, J. Harušinec // *Dynamika tuhých a deformovateľných telies* 2013, Sborník prednášok, 9.-11. října, 2013, Ústí nad Labem, 8 pages, ISBN 978-80-7414-607-7.
2. Suchánek A. Zisťovanie štrukturálnych vlastností brzdeného železničného kolesa nákladného vagóna / A. Suchánek, J. Harušinec, P. Šťastniak // *Inovácie v koncepcii, konštrukcii, výrobe a skúšaní nákladných vagónov II*, Zborník prednášok, 29.-30. januára, 2015, pp. 81-86, ISSN 978-80-554-0980-1.
3. Kalinčák D. Vzájomné vzťahy medzi niektorými parametrami vybraných nákladných vagónov / D. Kalinčák // *Technológ*, Vol. 5, Iss. 3, 2013, pp. 135-158, ISSN 1337-8996.

4. Lack T. Analýza vlastností železničného nákladného podvozka pomocou simulačných výpočtov / T. Lack, J. Gerlici // PRORAIL 2015, zborník z konferencie Súčasné problémy v koľajových vozidlách, Diel I., Žilina, 16.-18. septembra, 2015, pp. 345-354, ISBN 978-80-89276-48-6.
5. Hauser V. Konštrukčné riešenie mechanizmu klaníc zabezpečujúcich Tovar pri preprave vozňom Shimmns / V. Hauser, P. Šťastniak, J. Gerlici, T. Lack // Inovácie v koncepcii, konštrukcii, výrobe a skúšaní nákladných vagónov I, Zborník prednášok, 27.-28. novembra, 2014, pp. 47-53, ISSN 978-80-554-0955-9.
6. Dižo J. Design of freight wagon bogie with disc brake / J. Dižo, M. Blatnický, P. Šťastniak, M. Moravčík // Technolog, Vol. 7, Iss. 2, 2015, pp. 20-24. ISSN: 1337-8996.
7. Gerlici J. Aktuálne konštrukčné riešenie skúšobného stavu brzdnych komponentov koľajových vozidiel RAILBCOT / J. Gerlici, T. Lack, J. Harušinec // Dynamika tuhých a deformovateľných telies 2013, Proceedings of conference, 7.-9. října, 2015, Ústí nad Labem, 12 pages, ISBN 978-80-7414-914-6.
8. Gorbunov M. Assessment and improvement of interaction of locomotive wheelsets on rails / M. Gorbunov, J. Gerlici, K. Kravchenko, T. Lack // Railway transport of Ukraine, Iss. 5-6, 2016, pp. 29-35. ISSN: 2311-4061.
9. Labuda R. Efektivne využitie brzdneho účinku pohonu vozidla pri decelerácii / R. Labuda, D. Barta, A. Kovalčík // Transport 2011, zborník z konferencie, pp. 65-70, 2011, ISBN 978-80-554-0439-4.
10. Gerlici J. Assessment of Innovative Methods of the Rolling Stock Brake System Efficiency Increasing. / J. Gerlici, M. Gorbunov, K. Kravchenko, O. Prosvirova, T. Lack, V. Hauser // «Manufacturing Technology». February 2018, Vol. 18, No. 1, p. 35-38. ISSN 1213-2489.
6. Dizo, J. Design of freight wagon bogie with disc brake / J. Dizo, M. Blatnický, P. Stastniak, M. Moravcik // Technologist, Vol. 7, Iss. 2, 2015, pp. 20-24. ISSN: 1337-8996.
7. Gerlici, J. Rail vehicles brake components test stand RAILBCOT current constructional solution / J. Gerlici, T. Lack, J. Harusinec // Dynamics of rigid and deformable bodies 2013, Proceedings of conference, October 7-9, 2015, Usti nad Labem, 12 pages, ISBN 978-80-7414-914-6.
8. Gorbunov, M. Assessment and improvement of interaction of locomotive wheelsets on rails / M. Gorbunov, J. Gerlici, K. Kravchenko, T. Lack // Railway transport of Ukraine, Iss. 5-6, 2016, pp. 29-35. ISSN: 2311-4061.
9. Labuda, R. Effective using the brake effect of a vehicle drivetrain during deceleration / R. Labuda, D. Barta, A. Kovalcik // Transport 2011, Proceedings of the conference, pp. 65-70, 2011, ISBN 978-80-554-0439-4.
10. Gerlici J. Assessment of Innovative Methods of the Rolling Stock Brake System Efficiency Increasing. / J. Gerlici, M. Gorbunov, K. Kravchenko, O. Prosvirova, T. Lack, V. Hauser // «Manufacturing Technology». February 2018, Vol. 18, No. 1, p. 35-38. ISSN 1213-2489.

**Діжо Я., Блатницький М., Кравченко О.П. Інтеграція дискового гальма в оригінальну конструкцію візка вантажного вагона**

*У статті представлена модифікація оригінальної конструкції візка вантажного вагона. Основа модифікації полягає в заміні колодкового гальма, яке встановлено в оригінальній конструкції візка, дисковим гальмом, без значної зміни структури оригінальної рами візка. Мета цього технічного рішення - значно зменшити шум і збільшити силу гальмування. Запропонована конструкція візків вантажних вагонів, за рахунок установки дискових гальм дозволяє значно зменшити рівень шуму при гальмуванні і знизити необхідну гальмівну силу. У цій роботі представлена конструкція запропонованої схеми дискового гальма з двома дисками, кріплення гальмівної балки на оригінальній рамі візка, а також установка дискового гальмівного пристрою на гальмівній балці.*

**Ключові слова:** вантажний вагон, дискові гальма, модифікація конструкції, гальмівна колодка дискового гальма.

**Діжо Я., Блатницький М., Кравченко А.П. Інтеграція дискового тормоза в оригінальну конструкцію тележки грузового вагона**

*В статье представлена модификация оригинальной конструкции тележки грузового вагона. Основа модификации заключается в замене колодочного тормоза, который установлен в оригинальной конструкции тележки, дисковым без значительного изменения структуры оригинальной рамы тележки. Такая модифицированная тележка грузового вагона будет использоваться для шести-осных сочлененных вагонов-платформ для интермодальных перевозок контейнеров, прицепов и т.д. Цель этого технического решения - значительно уменьшить генерирование шума и увеличить силу торможения. Предложенная конструкция тележек грузовых вагонов, за счёт установки дисковых тормозов позволяет значительно уменьшить уровень шума при торможении и снизить необходимую*

**References**

1. Loulova, M. Bogie brake system design modification of railway goods wagon / M. Loulova, J. Gerlici, T. Lack, J. Harusinec // Dynamics of rigid and deformable bodies 2013, Proceedings of conference, October 9-11, 2013, Usti nad Labem, 8 pages, ISBN 978-80-7414-607-7.
2. Suchanek, A. Investigation of structural properties of the braked railway wheel of a freight wagon (In Slovak) / A. Suchanek, J. Harusinec, P. Stastniak // Innovations in conception, design, production and testing of freight wagons II, Proceedings of Conference, January 29-30, 2015, pp. 81-86, ISSN 978-80-554-0980-1.
3. Kalincak, D. Correlation between some parameters of selected freight wagons (In Slovak) / D. Kalincak // Technolog, Vol. 5, Iss. 3, 2013, pp. 135-158, ISSN 1337-8996.
4. Lack, T. Analysis of the freight wagon bogie properties by means of simulation computations / T. Lack, J. Gerlici // PRORAIL 2015, Proceedings of the conference Current problems v rail vehicles, Part I., Zilina, September 16-18, 2015, pp. 345-354, ISBN 978-80-89276-48-6.
5. Hauser, V. Design solution of timber mechanism ensuring goods during transportation by the Shimmns wagon / V. Hauser, P. Stastniak, J. Gerlici, T. Lack // Innovations in conception, design, production and testing of freight wagons I, Proceedings of Conference, November 27-28, 2014, pp. 47-53, ISSN 978-80-554-0955-9.

---

*тормозную силу. В этой работе представлена конструкция предложенной схемы дискового тормоза с двумя дисками, крепления тормозной балки на оригинальной раме тележки, а также установка дискового тормозного устройства на тормозной балке.*

**Ключевые слова:** *грузовой вагон, дисковый тормоз, модификация конструкции, тормозная колодка дискового тормоза.*

**Діжо Я.** – к.т.н., заст. завідувача кафедри «Транспорт та підйомно-транспортних машин» Жилінський університет, [jan.dizo@fstroj.uniza.sk](mailto:jan.dizo@fstroj.uniza.sk)

**Блатницький М.** – к.т.н., заст. завідувача кафедри «Транспорт та підйомно-транспортних машин» Жилінський університет, [miroslav.blatnicky@fstroj.uniza.sk](mailto:miroslav.blatnicky@fstroj.uniza.sk).

**Кравченко О.П.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри автомобілі і транспортні технології, Житомирський державний технологічний університет, [avtoap@ukr.net](mailto:avtoap@ukr.net)

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 23.03.2018

УДК 621.314.12

## MODIFICATION OF THE EXHAUST PIPING SYSTEM FOR COGENERATION UNIT REDEVELOPMENT

Pavlik A., Hauser V., Kravchenko K.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ МОДИФИКАЦИЕЙ КОНСТРУКЦИИ ЕЁ ВЫХЛОПНОЙ СИСТЕМЫ

Павлик А., Хаусер В., Кравченко Е.

*This paper deals with the exhaust piping modification in order to modify a open-form cogeneration unit into container form. Moreover, proposed design takes into account exhaust piping back-pressure, which is according requirements specified by the engine manufacturer. Double-way exhaust piping of 350 mm diameter is used. It consists of pipe, catalyst, heat exchanger, bypass, electronically controlled flaps, bent pipes and two silencers. Proposed solution also consider space restrictions, emission scattering and operation noise point of view. Proposed solution was checked for the desired piping back-pressure according modern standards. Two variants were investigated – when the exhaust gases flows through bypass, and when flowing through heat exchanger. By calculations were checked expected low values of proposed piping system back-pressure, what make him able to be used in newly produced cogenerating units.*

**Key words:** cogeneration unit, exhaust piping, back-pressure, emission dispersion, noise.

**Introduction.** Cogeneration units (Cogeneration or combined heat and power – CHP unit) are nowadays very requested devices. The role of cogeneration itself is production of multiple types of energy at the same time. This device allows you to reduce energy costs. CHP unit can achieve up to 40% energy savings, thereby greatly increasing interest of customers in cogeneration units. An advanced form of cogeneration is trigeneration in which electrical energy and cold from heat can be obtained.

There are many complexes (aquaparks, sports centers, shopping centers, factories, industrial parks) where cogeneration can be used to save energy costs or can be used for complexes located in more abandoned places. CHP unit can be designed in different performance classes. Its performance depends on the used engine and it is possible to produce devices in range from a couple of kW up to several MW. The CHP unit can be produced in versions powered by various fuels, whether liquid or gaseous.

Design of CHP unit can be enclosure, container and open. A frequent application is to set the device in the hall or machine room. This is a very practical solution due to possible servicing and quick access to all components of the unit. On the other hand, if the conditions require construction of a compact and easily stored unit, the CHP units can be made in a container design. In this embodiment, the unit becomes relatively space saving and easily moveable [2].

This paper describes the design of an exhaust system for a new container version of the same assembly in an open design. The design of the exhaust system is not intended to optimize performance. Unit is designed to comply with the maximum allowed exhaust pipe back-pressure given by the engine manufacturer.

### Design of the original exhaust system

The original exhaustion system is adapted to the hall where the cogeneration unit is stored. For an optimal characteristics the exhaust pipe of an inner diameter of 350 mm is used. As can be seen in fig. 1, the exhaust pipe begins in a corner on the side of the cogeneration unit housing and opens to the catalyst. It is also led alongside the CHP unit, where a heat exchanger from the flue gas is located along with the bypass. At the heat exchanger are electronically controlled dampers that direct the flow of residues either to the bypass or to the heat exchanger. From the bypass and the heat exchanger, the pipeline runs through two 45-degree knee pipes out of the building. From the outside of the hall, we can see two noise mufflers pointing perpendicularly upwards as shown in fig. 1b) in order to bring the residues above the building into the air. System of two mufflers can be used to achieve best results. The first muffler is resonant usually in combination with the second muffle, which is absorptive. Due to the fact that the CHP unit is in a residential area, two muffler system have been used, which reduce noise very well to an acceptable limit. A

supporting structure is provided around the silencers to ensure the stability of the exhaust system.

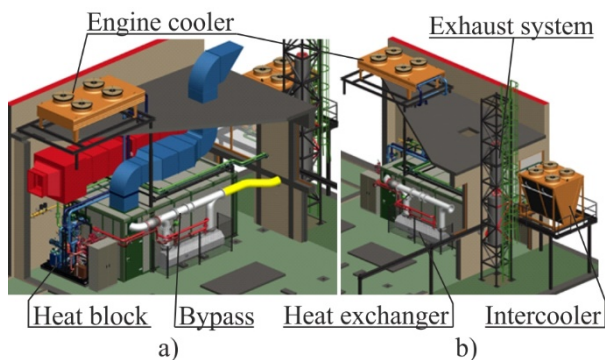


Fig. 1. 3D model of the cogeneration unit  
a – internal view, b – external view

### Requirements for the new solution

In this case, CHP unit will be located near the residential area. There will be 3 identical devices, each with a capacity of 1 MW. Location where the devices are situated does not contain a hall, therefore customer decided to use a container construction.

*Design prepositions:*

- space limitations,
- emission dispersion and noise damping,
- final design of the exhaust.

All three devices are installed next to each other and the customer has placed the engine cooling, intercooler and air conditioning on the roof of the container. Our task was to design the exhaust pipe in the space remaining for us (Fig. 2). For our design the most important dimension was the distance between the ventilation openings and the radiator pipes, which is 3560 mm.

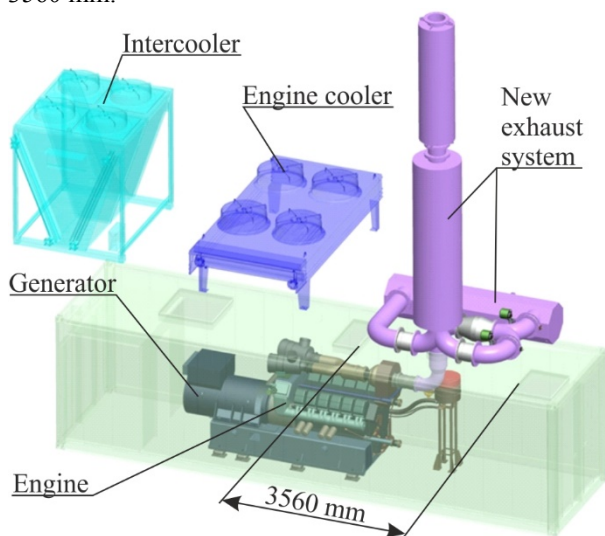


Fig. 2. Space constraint on the roof of the container

### Emission dispersion and noise control

Emission dispersion is a very important factor in the planning of the exhaust system when it comes to decision where the emissions will be released. The new

cogeneration unit will be located in close proximity to the residential area, where it is necessary to release the fumes at the highest point as possible and thus the appropriate solution is to direct the outlet of the exhaust pipe vertically upwards to achieve maximum possible height of exhaustion [7]. Two solutions were used to reduce noise.

First possibility is to use a multi-muffler system where is used by experiences verified combination a series of mufflers where the first is resonant and the second absorber. If only one muffler would be used, it would not be able to reduce the noise by more than 30 dB. In the case of installation two muffler system, a total damping of noise up to 45 dB [5, 6] is achieved.

The second possibility is to divert exhaustion outlet to upright and the exhaust noise to move from the living area.

The most ideal solution concerning the location of CHP unit is to use both solutions at the same time to achieve the lowest noise levels and highest fume particles dispersion.

### Final design proposal of the exhaust pipe

According to previously described conditions the following solution (Fig. 2) is reached. The exhaust pipe is located on the roof of the cogeneration unit container. Immediately, after the first bending of exhaustion pipe, the inner diameter of pipe is enlarged from 250 mm to 350 mm. These values have been recommended by the manufacturer based on previous experiences with construction of CHP unit.

Our proposal is verified with validating calculation in order to keep satisfying dimensions of exhaustion system for specified engine (fig. 3). After expansion of the pipe (A), it flows into the catalyst (B). The catalyst is followed by the flue gas distribution (C) to either the bypass (G) or the heat exchanger (D) [3]. Exhaustion pipe from the heat exchanger as well as from the bypass is connected to the lead (F) to the first noise muffler (H). The first noise muffler is followed by previously mentioned second muffler (H). Direction of the exhaust pipe on the basis of the previous points is designed from the point of origin to the first noise muffler upright. This solution has advantages in low noise generation and low space requirements.

It is also desired to mention that any bending of exhaust system is not allowed due to presence of coolers, which needs to keep proper distance from hot mufflers. Possible bending of exhaust pipe in a different direction from the coolers would also not be a good solution because only direct vertical solution is easy to stabilize with only using steel ropes. Possible bending would require an auxiliary structure and we would also reduce the amount of flue gas leakage from the ground, which means we would not follow the emission and noise damping requirements.

### The final design of the exhaust system

Fig. 3 shows final design of the exhaust pipe with description. Fig. 2 shows the designed exhaust system located on the CHP unit's roof. Free space under the coolers has been used for air conditioning of the equipment.

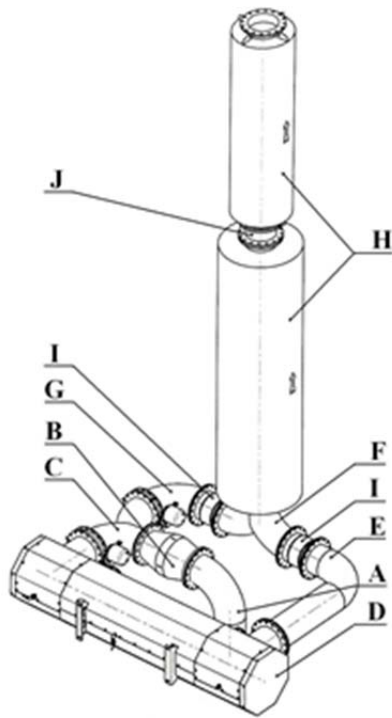


Fig. 3 CHP unit exhaust system assembly  
(A-exhaust pipe, B-catalyst, C-exhaust manifold,  
D-heat exchanger, E-exhaust duct, F-exhaust manifold,  
G- bypass, H- silencer, I- axial compensator, J-clutch)

**Verifying calculation**

Validating and iterative calculations verified the outgoing back-pressure of the designed exhaust pipe [1]. It’s minimum and maximum limits are given by the engine manufacturer in his technical description. In this case, for the MWM TCG 2020 V12 1MW engine, the exhaust backpressure value is from 30 to 50 mbar. [8]. Calculation is based on the data given by the manufacturer of the exhaust pipe. We used Diesel Installation Manual from the PERKINS’s company specification. As described in [4], the calculation is made as follows:

- entering values of the maximum allowed backpressure in mm Hg,
- entering of backpressure values of used components (catalytic converter, shock absorber and heat exchanger),
- calculation of the backpressure value of the proposed piping system,
- summary of the backpressure values and the comparison with the maximum allowed backpressure value of the engine.

In this case, two calculations have to be made as the exhaust system has two variants of the exhaust gas pipe. The first variant is to conduct exhaust gases through the heat exchanger, which is referred to as *Exhaust system with cold exhaust gas*. The second variant is the exhaustion flow through the bypass, which, however, does not cool the exhaust gases. We

designate this variant as *Exhaust system with hot exhaust gas*.

**Exhaust system with cold exhaust gas**

The allowed exhaust back-pressure of the manufacturer is converted to units of mm Hg of  $P_{pdov} = 22.05$  to 37.51 mm Hg.

Exhaust system backpressure values:

- catalyst ( $P_{Cat}$ ) - 1200 Pa - 9 mm Hg,
- heat exchanger ( $P_E$ ) - 600 Pa - 4.5 mm Hg,
- 1 muffler ( $P_{S1}$ ) - 700 Pa - 5.25 mm Hg,
- 2 muffler ( $P_{S2}$ ) - 50 Pa - 0.38 mm Hg.

For calculations of back-pressure are used formulas (1 - 4) where the inner diameter of the pipe determines the theoretical length of the straight pipe, which achieves the same back-pressure as the proposed bended pipe.

$$L_K = D.15 \tag{1}$$

where L - pipe length, m; D - inner diameter of the pipe segment, m.

For calculating the back-pressure, the inner diameter of the pipe is again used in the calculation. Result is the theoretical length of the straight pipe, which has the same back-pressure as the real, bended exhaust pipe.

$$L_Z = D.30 \tag{2}$$

To calculate the axial compensators, the relationship is then slightly modified.

$$L_A = D.2 \tag{3}$$

Following formula is used to calculate the extension of pipe from a diameter of 250 mm to 350 mm.

$$L_P = D.31 \tag{4}$$

For straight pipes, their actual length in meters is given.

By calculation, the final length L was obtained, representing the final air resistance adequate to pipe of length 48.692 m. According to previous formula (5) we have calculate final back-pressure of pipe 3.62 mm Hg.

$$P = \frac{L.Q^2}{D^{5.33}} .1187.10^9 \tag{5}$$

where P - exhaust pipe back-pressure, mm Hg; L - the total length of the exhaust pipe, m; Q - the amount of flue gases listed in the specification [8], kg/s; D - inner diameter in the exhaust pipe (larger), mm.

The calculated back-pressure of the exhaust pipe system is added to the back-pressure of the corresponding components and the total exhaust back-pressure of the exhaust system. According formula (6) final back-pressure of exhaust system  $P_c = 22.75$  mm Hg was calculated.

$$P_c = P + P_{Cat} + P_E + P_{S1} + P_{S2} \tag{6}$$

Table 1

Exhaust system with cold exhaust gas		
Pipe section according Fig. 3	Description and formulas	Theoretical length, (m)
Part 1 of Part A	straight piece, it's length is $l = 0.079$ m	0.079
	knee pipe with internal diameter $D = 0.25$ m, according formula (1)	3.75
Part 2 of Part A	extension from diameter, $D = 0.25$ m to $D = 0.35$ m, according formula (4)	10.8
Part 3 of Part A	a straight piece, it's length is $l = 0.5$ m	0.5
	knee pipe with internal diameter $D = 0.35$ m, according formula (1)	5.25
Part C	duct with internal diameter $D = 0.35$ m, according formula (2)	10.5
Part E	straight piece with length $l = 1.07$ m	1.07
	knee pipe with internal diameter $D = 0.35$ m, according formula (1)	5.25
	straight piece with length $l = 0.165$ m	0.165
Part I	axial compensator with length $l = 0.3$ m, according formula (3)	0.6
Part F	duct with internal diameter $D = 0.35$ m, according formula (2)	10.5
Part J	Constriction between the buffers of length $l = 0.228$ m	0.228
	$\Sigma L$	<b>48.692</b>

After comparing of the entered values it can be stated that the designed exhaust system with cold exhaust gas fulfills parameters specified by the engine manufacturer.

#### **Exhaust system with hot exhaust gas**

Allowed exhaust back-pressure is up 22.05 to 37.51 mm Hg.

Exhaust system back-pressure parameters are:

- Catalyst ( $P_{Cat}$ ) - 1200 Pa (9 mm Hg),
- 1 muffler ( $P_{S1}$ ) - 1200 Pa (9 mm Hg),
- 2 muffler ( $P_{S2}$ ) - 100 Pa (0.75 mm Hg).

Calculation of back-pressure of the proposed pipeline is based on values in Tab. 2.

The total pipe length of the exhaust system  $L$  will be used in formula (5) and the value of the exhaust back-pressure is 3.52 mm Hg.

The result of the total backpressure of the exhaust system according to the formula (6) is 22.27 mm Hg.

After comparing the entered values, it can be stated that the designed exhaust system with hot exhaust gas also meets the parameters given by engine manufacturer.

Table 2

Exhaust system with hot exhaust gas		
Pipe section according Fig. 3	Description and formulas	Theoretical length (m)
Part 1 of Part A	straight piece, it's length is $l = 0.079$ m	0.079
	knee pipe with inner diameter $D = 0.25$ m, according formula (1)	3.75
Part 2 of Part A	extension from diameter, $D = 0.25$ m to $D = 0.35$ m, according formula (4)	10.8
Part 3 of Part A	a straight piece, its length is $l = 0.5$ m	0.5
	knee pipe with inner diameter $D = 0.35$ m, according formula (1)	5.25
Part C	duct with inner diameter $D = 0.35$ m, according formula (2)	10.5
Part G	bypass with inner diameter $D = 0.35$ m, according formula (1)	5.25
Part I	axial compensator with length $l = 0.3$ m, according formula (3)	0.6
Part F	duct with inner diameter $D = 0.35$ m, according formula (2)	10.5
Part J	constriction between the buffers of length $l = 0.228$ m	0.228
	$\Sigma L$	<b>47.457</b>

#### **Conclusion**

This paper deals with redesign of a open form CHP unit to container version. In order of this modification we redesigned exhaust system to make possible to place it on the container roof. Final design consists of exhaust pipe, catalyst, flue gas distributor, heat exchanger, flue gas duct, bypass, several mufflers, axial compensators, a constriction between the mufflers and a relatively compact and engine no loading flue gas. According to verifying calculation we confirmed estimations about low back-pressure and so final design can be used for construction of exhaust pipe of new CHP unit.

#### **References**

1. Lábaj, J. Výpočtové metódy v dopravnej a manipulačnej technike / J. Lábaj, D. Kalinčák, P. Kukuča, P. Gajdoš, J. Gerlici, T. Lack // Žilinská univerzita v Žiline, 1997, 343 s, ISBN 80-7100-391-3.
2. Pavlík, A. Využitie spaľovacích motorov v kogeneračných jednotkách. / A. Pavlík // Žilinská univerzita v Žiline, 2015. 44s. 28230920151031.
3. Brezáni, M. Proposal of the combined exhaust gas heat exchanger and the muffler / M. Brezáni, P. Baran, R. Labuda // Diagnostika, Vol. 16, Iss. 3, 2015, pp. 73-78. ISSN: 16416414.

4. Perkins Corp. Diesel Instalation Manual 4000 series. England: Technical Publications Department, Stafford, 1997. 100 p. TSL4068
5. Kogeneračné jednotky Engul. 2015. - Режим доступа: <http://www.engul.sk/index.php/sk/produkty/kogeneracne-jednotky>
6. Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva, životného prostredia a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky č. 356/2010. - Режим доступа: [www.zbierka.sk](http://www.zbierka.sk)
7. Hlavňa, V. Dopravný prostriedok a životné prostredie / V. Hlavňa, V. Stuchlý, P. Zvolenský, P. Kukuča // Žilina: Vysoká škola dopravy a spojov. 215 s. 1996. ISBN 80-7100-306-9.
8. Datasheet of TCG2020V12 Combustion Engine, MWM (Energy. Efficiency. Environment.). 2014, 1p.

#### References

1. Labaj, J. Calculation methods in transport and handling machines / J. Labaj, D. Kalincak, P. Kukuca, P. Gajdos, J. Gerlici, T. Lack // University of Zilina, 1997, 343 s, ISBN 80-7100-391-3.
2. Pavlik, A. Use of combustion engines in cogeneration units. / A. Pavlik // University of Zilina, 2015. 44s. 28230920151031.
3. Brezani, M. Proposal of the combined exhaust gas heat exchanger and the muffler / M. Brezani, P. Baran, R. Labuda // Diagnostika, Vol. 16, Iss. 3, 2015, pp. 73-78. ISSN: 16416414.
4. Perkins Corp. Diesel Instalation Manual 4000 series. England: Technical Publications Department, Stafford, 1997. 100 p. TSL4068
5. The Engul cogeneration units. 2015. - Access mode: <http://www.engul.sk/index.php/sk/produkty/kogeneracne-jednotky>.
6. Decree of Ministry of Agriculture, Environment and Regional Development of the Slovak Republic no. 356/2010. - Access mode: [www.zbierka.sk](http://www.zbierka.sk)
7. Hlavna, V. Vehicle and the environment / V. Hlavna, V. Stuchly, P. Zvolensky, P. Kukuca // Zilina: High school of transport and transport services. 215 p. 1996. ISBN 80-7100-306-9.
8. Datasheet of TCG2020V12 Combustion Engine, MWM (Energy. Efficiency. Environment.). 2014, 1p.

#### Павлік А., Хаусер В., Кравченко К. Удосконалення когенераційної установки модифікацією конструкції її вихлопної системи

*У статті представлені результати досліджень з удосконалення конструкції когенераційної установки. Дані установки дозволяють зберігати до 40% вартості енергії і широко розповсюджені як в закритих об'єктах, так і на відкритих просторах. У дослідженнях вирішувалося завдання досягнення необхідних параметрів установки для відводу вихлопних газів при зменшених розмірах для використання в контейнерах на відкритих*

*просторах. Витяжна система містить два канали діаметром 350 мм. До основних частин системи відносяться труби, каталізатор, теплообмінник, байпас, клапани з електронним управлінням, вигнуті труби і два глушника. При розробці модернізації конструкції враховувалося емісійне розсіювання, експлуатаційний шум, просторові обмеження, сучасні стандарти для системи відведення вихлопних газів. Для оцінки доцільності використання запропонованої конструкції проведені два варіанти розрахунків: при проходженні вихлопних газів через байпас і другий варіант - через теплообмінник.*

**Ключові слова:** когенераційна установка, витяжна система, протитиск, емісійне розсіювання, шум.

#### Павлік А., Хаусер В., Кравченко Е. Усовершенствование когенерационной установки модификацией конструкции её выхлопной системы

*В статье представлены результаты исследований по усовершенствованию конструкции когенерационной установки. Данные установки позволяют сохранять до 40 % стоимости энергии и широко устанавливаются как в закрытых объектах, так и на открытых пространствах. В исследованиях решалась задача достижения требуемых параметров установки для отвода выхлопных газов при уменьшенных размерах для использования в контейнерах на открытых пространствах. Вытяжная система содержит два канала диаметром 350 мм. К основным частям системы относятся трубы, каталізатор, теплообменник, байпас, клапаны с электронным управлением, изогнутые трубы и два глушителя. При разработке модернизации конструкции учитывалось эмиссионное рассеивание, эксплуатационный шум, пространственные ограничения, современные стандарты для системы отвода выхлопных газов. Для оценки целесообразности использования предложенной конструкции проведены два варианта расчётов: при прохождении выхлопных газов через байпас и второй вариант – через теплообменник.*

**Ключевые слова:** когенерационная установка, вытяжная система, противодавление, эмиссионное рассеивание, шум.

**Павлік А.** – аспірант кафедри «Транспорт та підйомно-транспортних машин», Жилінський університет, e-mail: [alfred.pavlik@fstroj.uniza.sk](mailto:alfred.pavlik@fstroj.uniza.sk)

**Хаусер В.** – к.т.н., науковий співробітник кафедри «Транспорт та підйомно-транспортні машини», Жилінський університет.

**Кравченко К.** – к.т.н., доцент кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та ПТМ», СХУ ім. В.Даля.

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 11.04.2018.

УДК 65.012.34:338.47

## METHODICAL MAIN REGULATIONS OF THE OPTIMIZATION OF THE LOGISTICS DELIVERY SYSTEMS PARAMETERS WITH CONSIDERATION OF ITS TRANSPORTATION MODE

Poddybnaya N.N., Udovitsa O.O.

## МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ З УРАХУВАННЯМ СПОСОБУ ТРАНСПОРТУВАННЯ

Піддубна Н.М., Удовиця О.О.

*As a result of the analysis of known models and methods of the cargo delivery systems optimization, it was established that the task of choosing the method of delivery (containers, packaging), as well as the choice of the carrier, was decided separately. This approach does not allow us to consider system constraints and criteria, which leads to the choice of an acceptable, but not always optimal, solution. A methodology and an economic-mathematical model that allows to solve the task of determining the route of delivery within the framework of one model, considering additional requirements when choosing transport, the carrier and the mode of transportation are described in this article*

**Key words:** method of the delivery system organization, economic-mathematic model.

**Introduction.** Logistics is not only a factor in increasing the efficiency of the enterprise's economy, but it plays a decisive role in the development of countries. The main goal of logistics is to reduce logistics costs in the final cost of products, as well as to increase the transit potential. Today, the share of logistics costs in the final cost of products remains quite high and is on average 20-35%.

Currently, for an effective assessment of the development of logistics, there is a methodology that allows us to assess the current state of the country's logistics industry. As a basis for determining the logistics rating, experts identified 6 major criteria on the basis of which the LPI (Logistics Performance Index) is calculated.

These criteria include: 1) efficiency of customs and border clearance, 2) quality of trade and transport infrastructure, 3) ease of the international transport organization at competitive prices, 4) quality and competence of logistics services, 5) tracking of goods, 6) timeliness of cargo deliveries.

It is not difficult to notice that the improvement of criteria 3, 4 and 6 is possible while using mathematical methods and models. Thus, for the effectively

implement the management functions of logistics systems, it is necessary to focus not only on known economic-mathematical methods and models, but also to create new ones that are capable of adapting in accordance with changes in the external and internal environment.

**Statement of the problem.** The study of models and methods of the cargo delivery systems optimization, as well as factors which determine the quality of delivery, has shown that for the solution of the task of determining their parameters, the classical transport task and its various complicated applications are successfully used, allowing to receive as a result a set of optimal routes, with consideration of transshipment points, transport modes and identify specific logistics intermediaries in the delivery system.

Need to mark, that the method of transportation in the spoken models is determined beforehand, that means its justification is carried out outside the single model of the logistic delivery parameters optimization. This approach does not allow us to take into consideration system constraints and criteria, which often leads to the choice of an acceptable but not optimal solution.

**Analysis of the latest publications on the problem.** The solutions of the problems of choosing logistic intermediaries and the optimal delivery system were reflected in the works of Anikin V.A.[1], Gadzhinsky A.M.[2], Lukinsky V.S.[3], Mirotin L.B.[4], Sergeev V.I.[5], Voevudtsky E.N.[6], Poddybnaya N. N.[7],[8], etc. However, despite on the achieved results, it is still urgent to develop new methodological approaches that allow solving complex problems of the design of cargo delivery systems.

**Goal of the study.** The purpose of the study is to develop a methodological approach and an economic-mathematical model for designing a homogeneous cargo

delivery system with minimizing costs, increasing efficiency and competitiveness.

The realization of this goal is conditioned by the need to solve some interrelated tasks:

- Analysis of the transport development during the performance of export operations;
- Analysis, development trends and use of the logistics theory during delivery of goods;
- Design of the cargo delivery system and development of a generalized algorithm for selecting the delivery system with consideration of its limitations.

The object of the study is transport, forwarding companies and other operators on the market that participate in the delivery system.

The subject of the study is models and methods for managing the delivery of goods, as well as factors affecting the quality of logistics intermediaries.

During the research that existed before the solution of the tasks, there were used: theoretical analysis, generalization of scientific literature, as well as methods of operations research. The results are based on the conceptual apparatus and the theoretical basis of such directions as: general economic theory, system analysis, logistics.

**Results of the study.** On the basis of the studies during the development of the methodological basis for optimizing the logistics delivery systems parameters, considering the mode of transportation, we take into consideration that logistics is the science of planning, controlling and managing the transportation, storage and other material and intangible operations that are performed in the process of bringing raw materials and materials to production enterprise, in-plant processing of raw materials, materials and semi-finished products, bringing finished products to the consumer in accordance with the interests and requirements of the latter, as well as the transfer, storage and processing of relevant information.

As the delivery system, we mean a set of subsystems that ensure the delivery of goods from the consignor to the consignee. Such subsystems are: shipper, consignee, transport system, transshipment and storage points.

The logistics approach in the delivery system is determined by:

- in the integrity of the delivery system from producer to consumer;
- considering the criteria of minimum total costs for the performance of all logistics operations;
- in compliance with the requirements of the consumer in terms of time, place of delivery, quantity and quality (logistics principles: 7 rules of logistics: the right cargo, in the right place, at the right time, in the right quantity and quality, to the right consumer, with minimal total costs)
- in the mandatory presence of the control subsystem (coordinator-forwarder, who organizes the delivery "from door to door").

In this way, the logistics delivery system is a set of subsystems that generates, moves and absorbs a material

flow, whose coordinated functioning on the basis of economic, technical and technological integration allows to optimize the receipt of material values with certain qualitative and quantitative characteristics at a certain time and place of a certain consumer with a certain level of costs.

From all being said, a method has been developed for the formation of a cargo delivery system, which consists of the following stages (Figure 1):

**1.** Information research, formation of initial data. At this stage determine the list of variables and objects of research. Important selection criteria for the information formation are the accuracy and consistency of the data. In this case, the characteristics should not differ in meaning and in the range of the study objects (in the territorial plan and in the period of time).

**2.** Analysis of the information source about the senders and recipients. It is necessary to find out the geographical location of the departure and destination points, the amount of cargo, whether there is available in each of the points of departure and the necessary amount of cargo for the recipients.

**3.** Analysis of information about the transshipment points. Possible points of transshipment and their carrying capacity are defined, which in our case is assumed to be unlimited.

**4.** Analysis and formation of possible transportation options. At this stage, the variants of the delivery system are formed and analyzed. To do this, it is necessary to form a multitude of available modes of transport, modes of transportation and possible carriers, after that to build the delivery chain and calculate the cost of shipping the goods.

**4.1.** Selection of the mode of transport. The basis for choosing the mode of transport which is optimal for a particular transportation is information on the characteristics of various modes of transport.

**4.2.** Selection of transportation modes. At this stage, it is necessary to choose among the possible modes of transportation the cheapest, the most safe and convenient to use, considering the advantages and disadvantages of each option.

**4.3.** Selection of the carrier. The choice of logistics intermediaries is based on system criteria. The main criteria for choosing carriers include: reliability of delivery time, transportation tariff, financial stability of the carrier, safety of cargo, tracking of items.

**5.** Formation of initial data. At this stage it is necessary to know the cost of transportation of the chosen cargo in different ways and by different carriers from the points of departure to the transshipment points and from the transshipment points to the points of consumption.

**6.** Formation of cargo delivery chains. At this stage, it forms all possible cargo delivery chains from senders to consumers.

**7.** Definition of restrictions at points of departure and consumption. At this stage it is necessary to find out how much cargo is at the disposal of the shippers and

how much cargo needs to be delivered to the points of consumption.

8. Formation of the criteria for optimizing the construction of chains. In order to choose the best variant of cargo delivery it is necessary to determine the criteria of optimality. Cost criteria – the transportation plan is optimal, if the minimum costs for its realization are received. Time criteria – the transportation plan is optimal, if at least a minimum of time is spent on its implementation.

9. Construction of the model in general form.

10. Construction of a model with numerical data. At this stage, the model is generally described in detail for a specific case.

11. The solution of the problem with the help of a computer.

12. Receiving the optimal route of cargo delivery.

13. Functioning of the projected supply chain.

14. Analysis of the quality of functioning. At this stage, the quality of delivery is analyzed, which must comply with the norms.

Here is a model of the sequence and relationship of the steps in fig. 1.

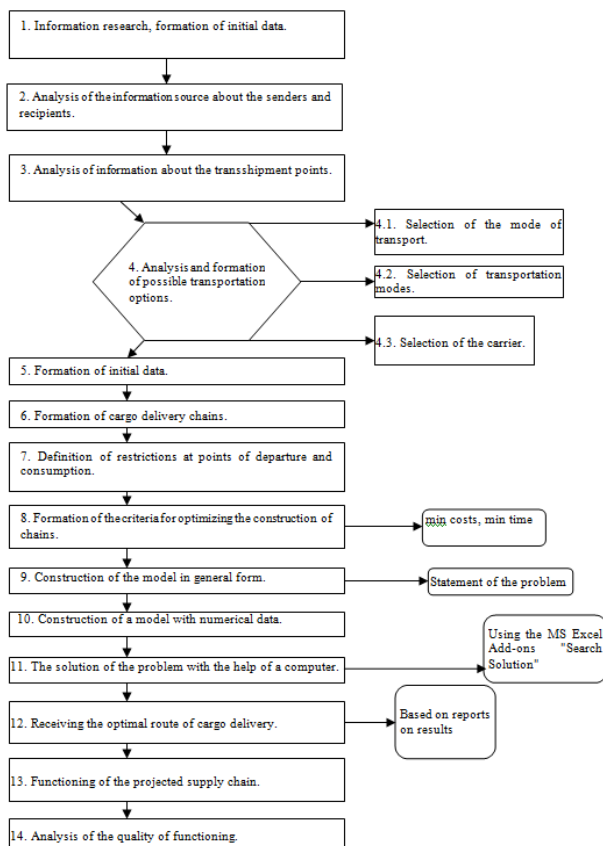


Fig. 1. The method of forming the delivery system

According to the developed method of forming the delivery system, an economic-mathematical model of the transport task was developed.

Conventional sign:

$i$  – Port of departure,

$\gamma$  – Port of transshipment,

$j$  – Destination point,

$p$  – Mode of transport,

$k$  – Mode of transportation,

$l$  – Carrier,

$a_i$  – Quantity of cargo at the port of departure,

$b_j$  – Needs at the destination point,

$C_{i\gamma}^{plk}$  – cost of transportation of 1 ton of cargo from the  $i$ -th supplier to the  $\gamma$ -th transshipment port,  $p$ -th mode of transport,  $l$ -th carrier  $k$ -th mode of transportation.

$C_{\gamma j}^{lk}$  – the cost of transporting 1 ton of cargo from the  $\gamma$ -port of transshipment to the  $j$ -th recipient by the  $l$ -th carrier,  $k$ -th way of transportation.

$C_{i\gamma(\text{BT})}^{plk}$  – cost of 1t loss of cargo during transportation from the  $i$ -th supplier to the  $\gamma$ -th transshipment port,  $l$ -th carrier,  $k$ -th mode of transportation.

$C_{\gamma j(\text{BT})}^{lk}$  – cost of 1t loss of cargo during transportation from the  $\gamma$ -port of transshipment to the  $j$ -th recipient by the  $l$ -th carrier,  $k$ -th way of transportation.

$C_{i\gamma(\tau)}^{plk}$  – cost of packaging for transportation of 1 ton of cargo from the  $i$ -th supplier to the  $\gamma$ -th transshipment port,  $l$ -th carrier,  $k$ -th mode of transportation.

$C_{\gamma j(\tau)}^{lk}$  – cost of the container for transporting 1 ton of cargo from the  $\gamma$ -port of transshipment to the  $j$ -th recipient by the  $l$ -th carrier,  $k$ -th way of transportation.

The following variables are used in the model:

$x_{i\gamma}^{plk}$  – quantity of cargo that is transported from the  $i$ -th port of departure to the  $\gamma$ -th port of transshipment, the  $p$ -th mode of transport, the  $l$ -th carrier, the  $k$ -th mode of transportation.

$x_{\gamma j}^{lk}$  – quantity of cargo that is transported from the  $\gamma$ -port of transshipment to the  $j$ -th recipient by the  $l$ -th carrier, the  $k$ -th way of transportation.

Statement of the problem using the above notation:

A certain homogeneous product that is located at  $m$  departure points  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , in which there are respectively  $a_1, a_2, \dots, a_m$  cargo units, it is necessary to deliver  $n$  destinations  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , in each of which it is necessary to deliver  $b_1, b_2, \dots, b_n$  through the points of transshipment  $\Gamma$ . The cargo is delivered in a mixed transportation (land, where there is a choice of the transport mode for delivery: rail, road, and sea-component of the route). In this case, the condition is met that the total available quantity of products at the points of departure is equal to the total requirements at all destinations. Transportation is the  $p$ -th mode of transport,  $k$ -th mode of transportation is the  $l$ -th carrier.

It is necessary to choose the route of cargo delivery from the sender to the recipients, which provides the minimum costs during the cargo transshipment route, while satisfying the basic needs of consumers in the necessary mode of transportation.

Target function. The criterion of optimality is the cost of transportation, packaging and costs for all ways of its delivery.

$$\begin{aligned}
 Z = & \sum_{i=1}^m \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K C_{i\gamma}^{plk} x_{i\gamma}^{plk} + \\
 & + \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K C_{\gamma j}^{lk} x_{\gamma j}^{lk} + \\
 & + \sum_{i=1}^m \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K C_{i\gamma(om)}^{plk} x_{i\gamma}^{plk} + \\
 & + \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K C_{\gamma j(om)j}^{lk} x_{\gamma j}^{lk} + \\
 & + \sum_{i=1}^m \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K C_{i\gamma(m)}^{plk} x_{i\gamma}^{plk} + \\
 & + \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K C_{\gamma j(m)j}^{lk} x_{\gamma j}^{lk} \rightarrow \min
 \end{aligned} \tag{1}$$

Restriction (2) – restriction on the export of cargo from the ports of departure.

$$\sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K x_{\gamma j}^{plk} = a_i \quad (i = \overline{1, m}) \tag{2}$$

Restriction (3) – to meet the needs of recipients.

$$\sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K x_{\gamma j}^{lk} = b_j \quad (j = \overline{1, n}) \tag{3}$$

Restriction (4) is a balance equation, the content of which is that the cargo that was delivered to the port of transfer (the left side) must be sent (right side).

$$\sum_{i=1}^m \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K x_{i\gamma}^{plk} - \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K x_{\gamma j}^{lk} = 0 \quad (\gamma = \overline{1, \Gamma}) \tag{4}$$

Restriction (5) – restriction of carrying capacity of the carrier on the first overland section.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{k=1}^K x_{i\gamma}^{plk} \leq r^{pl} \quad (p = \overline{1, P}; l = \overline{1, L}) \tag{5}$$

where  $r^{pl}$  – carrying capacity of the l-th carrier by the k-th delivery mode.

Restriction (6) – restriction of carrying capacity of the carrier on the second land segment.

$$\sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K x_{\gamma j}^{lk} \leq r^l \quad (l = \overline{1, L}) \tag{6}$$

where  $r^l$  – carrying capacity of the l-th carrier.

Restriction (7) – the needs of the recipients in the transportation of cargo in a specific container (method).

$$\sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{l=1}^L x_{\gamma j}^{lk} = b_j^k \quad (j = \overline{1, n}; k = \overline{1, K}) \tag{7}$$

Restriction (8) is the total requirement for a specific tare.

$$\sum_{j=1}^n x_j^k = b_j \quad (k = \overline{1, K}) \tag{8}$$

Restriction (9) – restriction on the quantity of cargo, which will be delivered to the consumer in the necessary container.

$$\sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{l=1}^L x_{\gamma j}^{lk} = \sum_{k=1}^K b_j^k \quad (j = \overline{1, n}) \tag{9}$$

Restriction (10) is the restriction in the general need for cargo transportation in a specific tara (k-th method) from the y-port of transshipment to the j-th port of the recipient by the l-th carrier.

$$\sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K x_{\gamma j}^{lk} = \sum_{j=1}^n b_j^k \quad (k = \overline{1, K}) \tag{10}$$

Restriction (11) - restriction in cargo transportation in a specific tara (k-th method) from the i-th port of production to the  $\gamma$ -th port of transshipment by the l-th carrier.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L x_{i\gamma}^{plk} = \sum_{i=1}^m a_i^k \quad (k = \overline{1, K}) \tag{11}$$

Restriction (12-13) is a balance constraint that determines the equality of the used packaging in the transport process (k-th method).

$$\sum_{i=1}^m \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L x_{i\gamma}^{plk} - \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L x_{\gamma j}^{lk} = 0 \tag{12}$$

$$\sum_{i=1}^m a_i^k - \sum_{j=1}^n b_j^k = 0 \quad (k = \overline{1, K}) \tag{13}$$

The restrictions (14, 15) are the condition of non-negativity of the variables.

$$x_{i\gamma}^{plk} \geq 0 \quad (i = \overline{1, m}; \gamma = \overline{1, \Gamma}; p = \overline{1, P}; l = \overline{1, L}; k = \overline{1, K}) \tag{14}$$

$$x_{i\gamma}^{lk} \geq 0 \quad (\gamma = \overline{1, \Gamma}; j = \overline{1, n}; l = \overline{1, L}; k = \overline{1, K}) \tag{15}$$

**Conclusions.** Modeling and optimization of logistics systems in the forwarding companies' activity in the current conditions of the Ukrainian economy are becoming increasingly relevant in connection with the intensification and development of economic relations.

In today's world, where market relations prevail, the most important for forwarding companies is the competitiveness, which is possible while using a logistics approach to solving the problems of distribution of material flow.

The concept of logistics for the management of economic systems lies in an integrated approach to the management of material flow.

With high competition in most areas of the economy, the final price for the product, that is, the price that the consumer pays, considering all logistic operations that are necessary for the delivering the goods, plays a very important role.

Designing a cargo delivery system is a complex and multifaceted task. While solving such tasks, it is necessary to carry out a set of activities that are related to the design of the delivery system, choice of delivery options, analysis and choice of logistics intermediaries, quality control of their activities. At the same time, it is necessary to consider that the main criteria for the consumer at present are compliance with delivery dates (exactly at the time) and minimization of expenses.

As being said, the goal was defined: to develop a methodology and an economic-mathematical model for optimizing the delivery system, considering additional requirements for the selection of transport, the carrier and the mode of transportation.

As a result of the work, the following was received:

1. A methodology for the formation of a cargo delivery system has been developed, consisting of 14 stages;

2. A model of delivery design has been proposed, which shows the interaction and interrelation of the delivery stages;

3. An economic-mathematical model of cargo delivery has been developed, taking into account additional requirements for the selection of transport, the carrier and the mode of transportation (tare).

#### Literature

1. Аникин Б.А. Логистика [Текст]: учебное пособие / Б. А. Аникин, Л.С.Федоров, Ю.Ю. Наймарк, В.И. Аксенов, Ю.В. Бобков, В.В. Дыбская, Е.А. Медведев, С.К. Чудаков, О.В. Шуйская - Москва : ИНФРА-М , 1999. - 327 с.
2. Гаджинский А. М. Логистика [Текст]: учебник для высш. и сред. спец. учеб. заведений / А. М. Гаджинский. - Москва : Маркетинг , 1998. - 228 с.
3. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики [Текст]: Учебное пособие.2-е изд. / В.С. Лукинский, В.В. Лукинский, Ю.В. Малевич, И.А. Пластуняк, Н.Г. Плетнева. – СПб.: Питер, 2008. - 448 с.
4. Миротин Л.Б. Транспортная логистика [Текст]: Учебник / Л.Б. Миротин, Ы.Е. Тышбаев, В.А. Гудков, С.А. Некрасов, В.А. Курганов, А.В. Володин, Ан

Вьет Нгуен, Е.С. Антипов, Н.С. Журавлева, Е.Ю. Куликова, А.А. Бульба. – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 512 с.

5. Сергеев, В. И. Логистика в бизнесе [Текст]: учебник / В. И. Сергеев . - Москва : ИНФРА-М , 2001. - 608 с.
6. Воевудский, Е. Н. Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом [Текст] / Е. Н. Воевудский, Н. А. Коневцева, Г. С. Махуренко, И. П. Тарасова; под ред. Е. Н. Воевудского. – М.: Транспорт, 1986. – 287 с.
7. Поддубная, Н.Н. Использование усложненных постановок транспортной задачи для обоснования логистических систем [Текст]/Н.Н. Поддубная // Вісник Одеського національного морського університету. – 2016. - . №1. – С.171-178
8. Поддубная, Н.Н. Экономико-математическая модель обоснования месторасположения логистических распределительных центров при контейнерных перевозках [Текст]/Н.Н. Поддубная // Вісник Одеського національного морського університету. – 2016. - . №1. – С.165-170

#### References

1. Anikin B.A. Logistika [Tekst]: uchebnoe posobie / B. A. Anikin, L.S.Fedorov, Yu.Yu. Naymark, V.I. Aksenov, Yu.V. Bobkov, V.V. Dyibskaya, E.A. Medvedev, S.K. Chudakov, O.V. Shuyskaya - Moskva : INFRA-M , 1999. - 327 s.
2. Gadzhinskiy A. M. Logistika [Tekst]: uchebnik dlya vyssh. i sred. spets. ucheb. zavedeniy / A. M. Gadzhinskiy. - Moskva : Marketing , 1998. - 228 s.
3. Lukinskiy V.S. Modeli i metodyi teorii logistiki [Tekst]:Uchebnoe posobie.2-e izd. / V.S. Lukinskiy, V.V. Lukinskiy, Yu.V. Malevich, I.A. Plastunyak, N.G. Pletneva. – SPb.: Piter, 2008. - 448 s.
4. Mirotin L.B. Transportnaya logistika [Tekst]: Uchebnik / L.B. Mirotin, Yi.E. Tyishbaev, V.A. Gudkov, S.A. Nekrasov, V.A. Kurganov, A.V. Volodin, An Vet Nguen, E.S. Antipov, N.S. Zhuravleva, E.Yu. Kulikova, A.A. Bulba. – М.: Izdatelstvo «Eksamen», 2003. – 512 s.
5. Sergeev, V. I. Logistika v biznese [Tekst]: uchebnik / V. I. Sergeev . - Moskva : INFRA-M , 2001. - 608 s.
6. Voevudskiy, E. N. Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli v upravlenii morskim transportom [Tekst] / E. N. Voevudskiy, N. A. Konevtseva, G. S. Mahurenko, I. P. Tarasova; pod red. E. N. Voevudskogo. – М.: Transport, 1986. – 287 с.
7. Poddubnaya, N.N. Ispolzovanie uslozhnennyih postanovok transportnoy zadachi dlya obosnovaniya logisticheskikh sistem [Tekst]/N.N. Poddubnaya // VIsnik Odeskogo natslionalnogo morskogo unIversitetu. – 2016. - №1. – S.171-178
8. Poddubnaya, N.N. Ekonomiko-matematicheskaya model obosnovaniya mestoraspolozheniya logisticheskikh raspredelitelnyih tsentrov pri konteyneryih perevozkah [Tekst]/N.N. Poddubnaya // VIsnik Odeskogo natslionalnogo morskogo unIversitetu. – 2016. - №1. – S.165-170

**Піддубна Н.М., Удовиця О.О. Методичні основи оптимізації параметрів логістичних систем доставки вантажів з урахуванням способу транспортування.**

*В результаті аналізу відомих моделей і методик оптимізації систем доставки вантажів було встановлено, що задача вибору способу доставки (тара, упаковка), а також вибір перевізника вирішувалася*

відокремлено. Такий підхід не дозволяє врахувати системні обмеження та критерії, що призводить до вибору допустимого, але не завжди оптимального рішення. В роботі наведено методичку та економіко-математична модель, що дозволяє системно, в рамках однієї моделі вирішити задачу визначення маршруту доставки з урахуванням додаткових вимог при виборі транспорту, перевізника і способу перевезення

**Ключові слова:** методика формування системи доставки, економіко-математична модель

**Поддубная Н.Н., Удовница О.О. Методические основы оптимизации параметров логистических систем поставок грузов с учетом способа транспортировки**

*В результате анализа известных моделей и методик оптимизации систем доставки грузов было установлено, что задача выбора способа доставки (тара, упаковка), а также выбор перевозчика решалась обособленно. Такой подход не позволяет учесть системные ограничения и критерии, что приводит к выбору допустимого, но не всегда оптимального решения.*

*В работе приведена методика и экономико-математическая модель, позволяющая системно, в рамках одной модели решить задачу определения маршрута доставки с учетом дополнительных требований при выборе транспорта, перевозчика и способа перевозки*

**Ключевые слова:** методика формирования системы доставки, экономико-математическая модель

**Піддубна Наталія Миколаївна** - старший викладач кафедри «Управління логістичними системами і проектами» Одеського національного морського університету, e-mail: Poddubnaya.natnik@gmail.com.

**Удовница Оксана Олегівна** - студент 4 курсу Факультету транспортних технологій, Інституту морського бізнесу, Одеського національного морського університету, e-mail: oxidksushkin@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 11.04.2018

УДК: 629.047

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ

Акимова О.В., Руйчева М.П.

### AN ANALYSIS OF REASONS FOR SHIP'S DETENTION IN PORT OF CALL

Akimova O.V., Ruicheva M.P.

*В работе рассматривается влияние человеческого фактора на безопасность мореплавания в современных условиях развития флота. Безопасность является основным и неотъемлемым качеством, для всех видов транспорта, но особое значение она приобретает в морском судоходстве.*

**Ключевые слова:** мореплавание, безопасность, человеческий фактор, аварийность

#### Актуальность вопроса

Несмотря на очевидный прогресс, достигнутый наукой в области судовождения, технической эксплуатации судов, а также совершенствования их конструкции и оборудования, число катастроф и аварий на море не сокращаются. В среднем около 230 судов мирового флота, общим тоннажем 100 тыс. тонн погибает ежегодно, унося с собой около одной тысячи человеческих жизней [1].

#### Постановка проблемы

Значительный рост размеров судов, увеличение их технических скоростей, плавание в тяжелых метеорологических условиях, а также, в регионах повышенной опасности и ряд других факторов делают проблему обеспечения безопасности торгового мореплавания приоритетной и актуальной в современных условиях развития флота.

#### Анализ последних достижений и публикаций

В работе был проведен аналитический обзор научных исследований таких ученых как: Александров М.А., Земляновский Д.К., Мальцев А.С., Прусс В.М., Снопков В.И., Торский В.Г., Топалов В.П.

Проводя анализ научных и практических работ в данной области, можно отметить существующее многообразие подходов к обеспечению безопасности мореплавания, не исчерпывающих всей глубины проблематики. Статистические данные показывают, что аварии происходили, и будут происходить, так как основной причиной их возникновения является человеческий фактор [2].

**Формулирование цели статьи и задач.** Целью статьи является анализ влияния человеческого фактора на безопасность мореплавания.

Реализация поставленной цели достигается путем выполнения следующих задач:

1. Выявить основные причины аварий, вызванных человеческим фактором;
2. Проанализировать меры, принимаемые международными организациями, для обеспечения безопасности и снижения аварийности судов;
3. Рассмотреть основные причины задержаний судов в портах захода;
4. Рассмотреть схему по предотвращению аварий на судах;
5. Сформулировать практические рекомендации по минимизации влияния человеческого фактора.

**Основные факторы, влияющие на аварийность судов.** Следует отметить, что, несмотря на различные причины и последствия аварийности судов, подавляющее большинство возникающих аварий, были вызваны ошибками судоводительского состава и береговых работников, связанных с движением судов (рис.1). По данным ИМО и Лондонского клуба взаимного страхования, аварии из-за человеческих ошибок составляют не менее 70-75% [3].



Рис. 1. Причины возникновения аварий на море

Наиболее тяжелыми нарушениями безопасности считаются случаи, когда аварии приводят к морским катастрофам — к гибели судов, человеческим жертвам, экологическим проблемам.

Все аварии судов, вызванные человеческим фактором, могут быть разделены на следующие группы, а именно:

— *навигационные*: вследствие некомпетентности командного состава, отсутствия соответствующего опыта, умения принимать быстрые и правильные решения в сложных ситуациях. В связи с этим, неизбежны столкновения, навалы, посадки на грунт, удары судна о подводные препятствия, штормовые повреждения;

— *технологические*, связанные с грузовой функцией судна. К ним относятся: нарушения прочности корпуса судна, его устройств, потеря остойчивости, подвижка грузов, возникновение пожара, попадание воды во внутренние помещения. ;

— *технические*, вызванные ненадлежащим техническим обслуживанием и эксплуатацией судна. Это выход из строя главного двигателя, вспомогательных механизмов, электрооборудования, валовинтового комплекса, судовых устройств (якорного, рулевого, грузового).

На основании вышесказанного, можно выделить следующие факторы, влияющие на аварийность судов, влекущих за собой непоправимый ущерб и убытки (рис. 2).

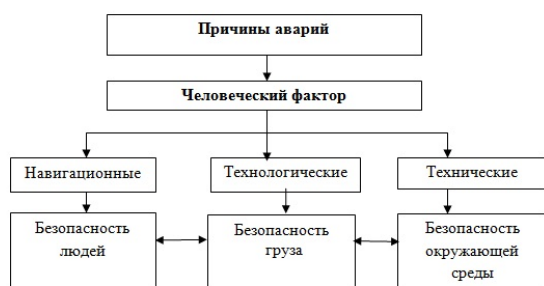


Рис. 2. Классификация причин аварий, вызванных человеческим фактором

Выделим основные факторы, влияющие на причины аварий:

- наем экипажа низкой квалификации;
- несоблюдение норм и правил международных конвенций;
- недобросовестный технический надзор за судами классификационными обществами;
- регистрация судов под «удобным флагом»;
- работа в регионах с повышенной опасностью, а именно: районы с риском пиратских нападений: о. Самали, Гвинейский залив, а также, районы со сложными навигационными условиями.

Исходя из вышесказанного, следует вывод, что для снижения аварийности судов следует разрабатывать новые подходы, позволяющие устранить или свести к минимуму влияние

человеческого фактора на безопасность мореплавания.

**Меры, принимаемые международными организациями, для обеспечения безопасности и снижения аварийности судов.** Различия во взглядах на проблемы безопасности судоходства привели к тому, что в 1982 г. было заключено первое региональное соглашение в области контроля безопасности судоходства, в которое первоначально вошли 14 государств Европы, получившее название Парижский меморандум о взаимопонимании по контролю судов государством порта (Paris Memorandum Of Understanding on Port State Control). Ведущая роль в организации принадлежит Европейскому Союзу, который после катастрофы танкера «Амоко Кадис» 16 марта 1978 г. потребовал учредить международный институт для контроля за судоходством в целях обеспечения безопасности мореплавания, защиты окружающей среды и прекращения эксплуатации субстандартных судов. Каждая из властей должна поддерживать эффективную систему контроля безопасности судов, посредством взаимодействия портовых властей и международных организаций, для того, чтобы иностранные торговые суда, заходящие в порт или находящиеся на якорной стоянке, без какой-либо дискриминации по флагу, под которым они ходят, удовлетворяли требованиям, содержащимся в международных конвенциях.

Иностранные торговые суда инспектируются в соответствии с *следующими международными конвенциями*:

1. *Международная конвенция о грузовой марке 1966 г. (КГМ-66);*

2. *Протокол 1988 г. к Международной конвенции о грузовой марке 1966 г. (Протокол 1988 г. к КГМ-66);*

3. *Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 г. (СОЛАС-74);*

4. *Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененная Протоколом 1978 г. к этой конвенции (МАРПОЛ-73/78);*

5. *Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 г. (ПДМНВ-78);*

6. *Конвенция о Международных правилах предупреждения столкновений судов в море 1972 г. (МППСС-72);*

7. *Международная конвенция по обмеру судов 1969 г. (КОС-69);*

8. *Конвенция N 147 Международной организации труда о минимальных нормах на торговых судах 1976 г. (МОТ-147).*

Несмотря на то, что на морском транспорте действует система мер предупреждения аварийных случаев и снижения тяжести их последствий, масштабы и сложность современного судоходства по районам плавания, виду флота, режиму его эксплуатации, с каждым годом предъявляют все

более жесткие требования к этой системе и требуют его постоянного совершенствования.

В целях развития сотрудничества стран в области технического надзора за судами и для обеспечения безопасности мореплавания в 1968 году была создана Международная ассоциация классификационных обществ, МАКО (англ. International Association of Classification Societies, IACS) - международное объединение классификационных обществ, ставящее своей целью выработку стандартов и правил в отношении обеспечения безопасности морских перевозок. Ассоциация является главным советником Международной морской организации (ИМО) по техническим вопросам. Более 90% тоннажа мирового торгового флота находится в классе обществ-членов МАКО.

Ниже приведены классификационные общества (рис.3.), соответствующие критериям с низким уровнем риска судоходства - так называемый «белый список».



Рис. 3. Классификационные общества

В число пяти стран с наибольшим флотом по флагу регистрации в январе 2016 г и дефакто входили Панама (21,5% от совокупного дефакто мирового флота), Либерия (12,2%), Маршалловы Острова (8,6%), Гонконг Китай (8%) и Сингапур (5,5%).

Следует отметить тот факт, что традиционное разграничение между флотом под национальным флагом и "открытыми регистрами" все больше размывается. В числе 35 крупнейших флотов 11 регистров можно считать полностью открытыми, поскольку из общего числа судов, зарегистрированных под флагами этих стран, судовладельцам этих же стран принадлежит менее 2%.

В 2016 году новой рекордной отметки 74% достигла доля мирового флота, зарегистрированного за рубежом, то есть в этом случае владелец судна является гражданином одной страны, а судно зарегистрировано под флагом другой. Остальные

26% судов остаются под национальным флагом, поскольку либо владелец считает, что национальный флаг является конкурентоспособным по уровню расходов и оказанных услуг, или у него может не быть выбора, как это часто бывает в случае транспортировки государственных грузов или в секторе каботажных перевозок.

Поскольку привлекательность реестров «удобного флага», в первую очередь, обусловлена значительным сокращением расходов судовладельца на содержание экипажа, но при этом, предъявляются более низкие требования на обеспечение надлежащего технического состояния судна в целом, приводящим к аварийности. Местные власти обычно не настаивают на неукоснительном соблюдении судовладельцами всех норм местного и международного регулирования мореплавания.

Вышеперечисленные меры, принимаемые международными организациями, для обеспечения безопасности и снижения аварийности судов, требуют неукоснительного соблюдения со стороны судовладельцев/операторов. Для этого созданы контролирующие органы, как в портах захода судов, так и в судоходных компаниях.

**Анализ основных причины задержаний судов в портах захода.** Для обеспечения соблюдения международных норм и правил обеспечения безопасности мореплавания в 1982 году правительства европейских государств подписали в Париже первое региональное соглашение о Государственном Портовом Контроле - "Парижский Меморандум о взаимопонимании по Государственному Портовому Контролю" (Paris MOU on PSC).

Задачей PSC является инспектирование судна с целью выявления нарушений в выполнении судовладельцами (операторами) требований международных конвенций и правил. За 2014 -2016 гг. офицерами PSC было произведено около 10 тыс. проверок на судах в портах захода, по результатам которых было задержано для устранения замечаний 187 судов (табл.1) [4].

Таблица

**Количество задержанных судов портовыми властями в период 2014-2016 гг.**

Год	2014	2015	2016
Общее количество проверок PSC	3991	3833	1964
Общее количество задержанных судов	113	101	73
Процент PSC, которые произвели задержания судов	2,8%	2,6%	3,7%

Динамика изменения количества задержаний судов показывает, что меры, принимаемые судовладельцами/операторами и экипажами недостаточны, чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию судов. Как следствие, количество задержанных судов остается на высоком уровне.

Анализ статистических данных позволил выявить следующую причинно-следственную связь факторов, повлекших за собой задержания судов (рис.4):



Рис. 4. Причинно - следственные связи факторов задержания судов в портах

Основные виды нарушений, вследствие которых были задержаны суда, в период с 2014 по 2016 годы представлены на рис.5.

Как видно, статистика указывает на то, что большая часть замечаний связана с нарушением пожарной безопасности 22%, нарушением требований, которые касаются спасательных средств 11%, неисправностью вспомогательных механизмов и судовых двигателей 9 %.

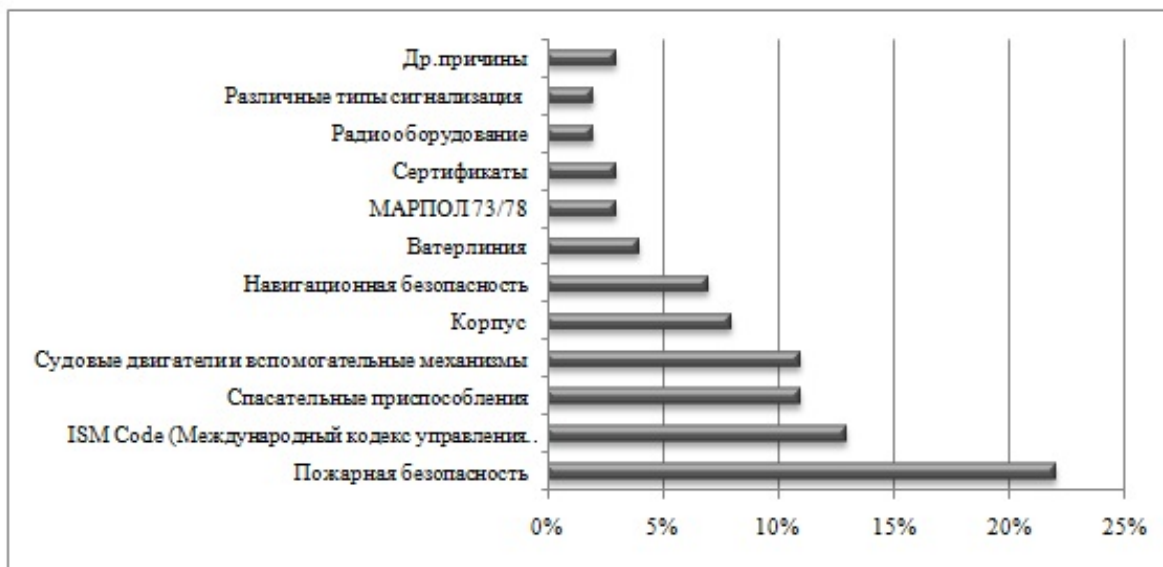


Рис. 5. Основные причины задержаний судов в портах захода PSC

**Схема предотвращения аварий на судах.** Мы рассмотрели причины аварий, виды нарушений, которые могут привести к опасности. Каждый вид опасности приводит либо не приводит к инциденту. Вид инцидента приводит к возникновению определенного вида аварии, которая, в свою очередь приводит к возникновению определенных масштабов последствий.

В рамках данной работы была рассмотрена причинно-следственная цепочка (рис.6), отображающая взаимосвязь между опасностью и аварией [10]. На ее основе необходимо принятие соответствующих контрмер, в качестве которых могут использоваться: обучение экипажа, проверка знаний, чек-листы, освидетельствования, учебные тревоги, процедуры и т.д.

1— меры для предупреждения появления причин, вызывающих опасность;

2 — меры для предупреждения инцидента;

3 — меры для предупреждения аварии;

4 — меры для предотвращения или устранения последствий.

Данная цепочка помогает определить и наглядно представить взаимосвязь между причиной возникновения конкретной опасности. Таким образом, для избегания аварий необходимо выявить и последовательно устранить причину опасности, что и будет приводить к повышению безопасности.

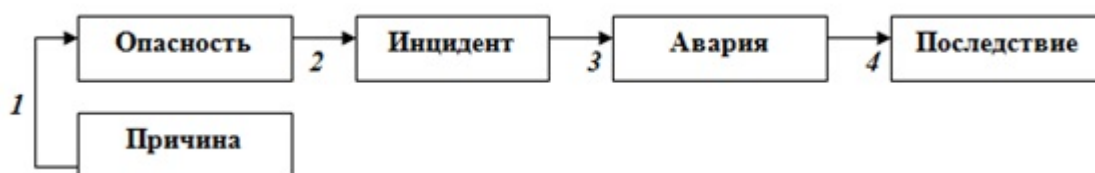


Рис. 6. Причинно-следственная цепочка

Исследования всех причин гибели судов позволяют утверждать, что практически в каждом случае действует правило: если избежать данного инцидента невозможно, необходимо принять меры для максимального снижения его неблагоприятных последствий.

#### **Практические рекомендации по минимизации влияния человеческого фактора.**

1) Основные причины аварий, вызванных человеческим фактором:

- навигационные;
- технологические;
- технические.

2) Основная ответственность за соблюдение требований, изложенных в международных морских конвенциях, лежит на судовладельце / операторе. Ответственность за обеспечение такого соответствия остается за государством флага.

3) Анализ статистических данных показал, что большая часть задержанных судов происходит из-за нарушений тренировок, предъявляемых к пожарной безопасности 22 %.

4) Рассмотренная причинно-следственная связь позволяет выявить и устранить причины аварий, что повысит безопасность мореплавания.

5) Как известно, суда работают во «враждебной» природной среде (штормы, льды, туманы, течения), на судах много сложных конструктивных элементов, устройств и приборов, которые могут отказать по различным причинам, а нормы и правила, регламентирующие управление судами и их эксплуатацию, несовершенны и имеют недостатки. Но самое главное обстоятельство — на судах работают люди, часто не всегда достаточно компетентные и дисциплинированные, которые совершают необдуманные поступки и действия, допускают ошибки и промахи, влекущие за собой серьезные последствия.

Для устранения человеческого фактора недостаточно, чтобы судно и члены экипажа соответствовали всем нормам и правилам международных конвенций, классификационных обществ. Необходимо чтобы квалификация членов экипажа, соответствовала специализации судна; желательно нанимать экипаж на одни и те же суда постоянно, что обеспечить лучшее знание и понимание технического состояния судна; Так как, в большинстве случаев экипаж судна интернациональный, то необходимо устранение языкового барьера. По всем выявленным причинам аварий должны проводиться более глубокие и систематические исследования, направленные на сокращение вызывающих их факторов.

Исследования всех причин аварий и гибели судов, позволяют утверждать, что практически в каждом случае действует правило: если избежать инцидента невозможно, то необходимо принять все возможные меры по максимальному снижению последствий.

#### **Литература**

1. Александров М. Н. Безопасность человека на море. — Л.: Судостроение, 1983.
2. Земляновский Д. К. Теоретические основы безопасности плавания судов. М. Транспорт 1973г. 224 с.
3. Мальцев А. С. Теория и практика безопасного управления судном при маневрировании: дис. докт. техн. наук: 05.22.16. — Одеса, 2007. — 395 с.
4. ABS Annual Review 2015. <http://ww2.eagle.org/en> [Электронный ресурс].
5. Мальцев А.С. Учет течения при плавании в стесненных водах. //Методы и технические средства повышения безопасности мореплавания. /Сб. научн. тр. ЛВИМУ. - М.: В/О "МТИР", 1988.
6. Мальцев А.С. Обеспечение навигационной безопасности в стесненных водах. - Одесса: Облполиграфиздат, 1987. — 69 с.
7. Мальцев А.С. Контроль качества работы судоводителей в море. — Д.: Транспорт, 1987. — 83 с.
8. Прусс В. М. Международно-правовые аспекты безопасности мореплавания. - Одесса: Латстар, 2001. - 132 с.
9. Снопков В.И. Безопасность мореплавания / В.И. Снопков, Г.И. Конопелько, В.Б. Васильева. — М.: Транспорт, 1994. — 247 с.
10. Торский В. Г. Управление судовыми экипажами / В. Г. Торский, В. П. Топалов. — Одесса: Астропринт, 2000. — 212 с.
11. Топалов В. П. Риски в судоходстве / В. П. Топалов, В. Г. Торский. — Одесса: Астропринт, 2007. — 368 с.

#### **References**

1. Aleksandrov M.N. Safety of man at sea. - L.: Shipbuilding, 1983.
2. Zemlyanovsky D.K. Theoretical basis for the safety of navigation of ships. M. Transport 1973g. 224 sec.
3. Maltsev A.S. The theory and practice of safe ship control during maneuvering: dis.: 05.22.16. - Odessa, 2007. - 395 p.
4. ABS Annual Review 2015. <http://ww2.eagle.org/en> [Electronic resource].
5. Maltsev A.C. The account of the current when swimming in cramped waters. // Methods and technical means of enhancing the safety of navigation. / Sat. scientific. tr. LVIM. - Moscow: V / O "MTIR", 1988.
6. Maltsev A.C. Providing navigation security in cramped waters. - Odessa: 1987. - 69 p.
7. Maltsev A.S. Control of the quality of work of boatmasters in the sea. - D.: Transport, 1987. - 83 p.
8. Pruss V.M. International Legal Aspects of Safety of Navigation. - Odessa: Leststar, 2001.-132 p.
9. Snopkov V.I. Safety of navigation / V.I. Snopkov, G.I. Konopelko, V.B. Vasilyeva. - Moscow: Transport, 1994. - 247 p.
10. Torsky V.G. Management ship crews / V.G. Torsky, V.P. Topalov. - Odessa: Astro-print, 2000. - 212 p.
11. Topalov V.P. Risks in shipping / V.P. Topalov, V.G. Torsky. - Odessa: Astroprint, 2007. - 368 p.

---

**Акімова О.В., Руйчева М.П. Аналіз впливу людського фактора на безпеку мореплавання.**

*В роботі розглядається вплив людського фактора на безпеку мореплавання в сучасних умовах розвитку флоту. Безпека є основним і невід'ємною якістю для всіх видів транспорту, але особливе значення вона набуває в морському судноплаванні.*

**Ключові слова:** мореплавання, безпека, людський фактор, аварійність.

**Akimova O.V., Ruicheva M.P. An analysis of reasons for ship's detention in port of call**

*The paper considers the influence of the human factor on the safety of navigation in the current conditions of fleet development. Safety is the main and inalienable quality for all*

*modes of transport, but it takes on special significance in the maritime industry.*

**Keywords:** navigation, safety, human factor, accident rate.

**Акімова О.В.** – к.т.н., доц. кафедри експлуатація флоту і технологія морських перевезень, Одеський Національний Морський Університет.

**Руйчева М.П.** – аспірант, Одеський Національний Морський Університет.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана: 20.03.2018.

УДК 629.423.33::621.336.322: 001.891.573

## РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАКЛАДОК СТРУМОПРИЙМАЧІВ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ВЗАЄМОДІЇ З КОНТАКТНИМ ДРОТОМ

Баб'як М.О.

### RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR OPERATING PANTOGRAPH LININGS, TAKING INTO ACCOUNT THEIR INTERACTION WITH THE CONTACT WIRE

Babyak N.

*У статті розглянуто результати випробувань накладок струмоприймачів електрорухомого складу з нового перспективного матеріалу на основі бронзи, який дозволяє підвищити ресурс експлуатації як самих накладок пантографів, так і контактної дроти. Особливістю взаємодії нових накладок струмоприймачів і контактної дроти полягає в покращеному змащенні зони контакту і утворення струмопровідної політури на контактуючих поверхнях. Розроблені рекомендації щодо підвищення експлуатаційних характеристик та надійності контактних накладок струмоприймачів в умовах локомотивних депо, які ремонтують і експлуатують рухомий склад різних серій.*

**Ключові слова:** експлуатація, пантограф, контакт, зношення, накладка, дріт, ресурс

**Вступ.** Для тягового рухомого складу, який живе від контактної мережі, головним питанням залишається збереження постійного надійного ковзного контакту. У свою чергу надійна робота ковзного контакту, через який протікають великі струми, залежить від багатьох чинників: вид струму, яким електрифікована ділянка; встановлена швидкість руху поїздів по заданій ділянці; різновидність поїздів (пасажирський, вантажний, приміський чи швидкісний); профіль ділянки (рівнинний чи гірський); план залізничної колії (прямолінійна ділянка чи наявність кривих), тип контактної мережі і її підвішування (проста чи ланцюгова, компенсована чи некомпенсована), погодні умови (різкі, а інколи значні перепади температури, дощ і сніг, а особливо ожеледь на контактному дроті), тощо.

Проте, найбільш суттєвим при оцінці надійності роботи контактної пари "накладка струмоприймача - контактний дріт" залишається матеріал елементів, що контактують. Але, й тут не можливо врахувати усі вищенаведені, та й ще не згадані фактори, які б могли забезпечити безперебійне протікання електричного струму від

контактної мережі до всього електричного обладнання електрорухомого складу.

При проектуванні нового рухомого складу закладаються найбільш важкі умови експлуатації, але врахувати і передбачити де той чи інший електровоз чи електропоїзд буде працювати, практично не можливо.

Так, наприклад, швидкісні електропоїзди працюють на території усієї держави, при цьому необхідно враховувати специфіку електрифікації постійним і змінним струмом, а електровози, що працюють на Карпатському перевалі, обслуговують як вантажні, так і пасажирські поїзди, при чому їх використовують, як ведучими (в голові поїзда) так і штовхачами (в хвості поїзда).

На великих станціях, особливо стикових, є велика кількість секційних ізоляторів та повітряних стрілок, що нерідко призводить до механічного пошкодження як окремих контактних елементів, так і до можливого пошкодження цілого струмоприймача, а іноді, і псування значної ділянки контактної мережі.

Усі фактори, що впливають на працездатність контактів з великими значеннями струмів, можна умовно розділити на три групи: конструктивні (профіль контактної дроти, кількість струмом'ємних елементів на положі струмоприймача, тип контактної підвіски та її арматури), металознавчі (матеріал контактів та вид мастила, що застосовують на них) та експлуатаційні (швидкість руху, сили, що діють на контакт, струм та вплив навколишнього середовища) [1].

В основному на надійність контактів впливають чинники, які викликають пошкодження і руйнування їх поверхонь тертя. При підвищеній вологості зовнішні мастила з положів струмоприймачів змиваються, їхні змашуючі властивості знижуються, що призводить до утворення задирів на поверхні металевих контактів, а, як наслідок, до їхнього інтенсивного механічного

та електричного зношування. А при ожеледі на поверхні контактів, або намерзанні мокрого снігу, утворюється електрична дуга, а з цим тісно пов'язане ерозійне пошкодження і зношення контактної пари.

**Постановка проблеми.** На даний час в локомотивних та моторвагонних депо України, більшості країн СНД та Європи для електропоїздів та електровозів змінного струму практикують в якості електричних ковзних контактів вуглецеві (вугільні) вставки з коксу, або графіту.

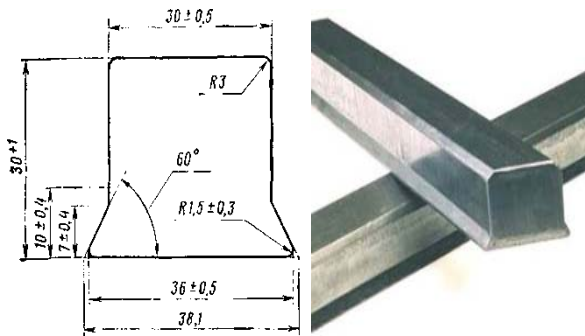


Рис. 1. Вугільні контактні вставки

На магістральних електровозах постійного струму, відповідно до конструкторської документації, на струмоприймачах повинна експлуатуватися в якості контактної накладки мідна смуга 30x6x1200 мм. При цьому, відповідно до Правил технічного обслуговування та поточних ремонтів електровозів постійного струму ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11, до бракувального розміру - 2,5 мм. по висоті пластини не допрацьовує вся смуга, а тільки середня ділянка, що найбільш інтенсивно зношується від зигзагоподібного розташування контактної дроту в плані над віссю залізничної колії [2].

Але, як відомо, найгіршим для умов тертя є використання двох елементів з однакового контактної матеріалу. Тому, впродовж останніх десятиліть проводилися пошуки і створення нового контактної матеріалу для використання в якості накладок струмоприймачів електрорухомого складу. Відомі в Україні та країнах СНД струмом'ємні елементи розроблялися на основі сплавів заліза, міді, інших металів, металокерамічних пластин.

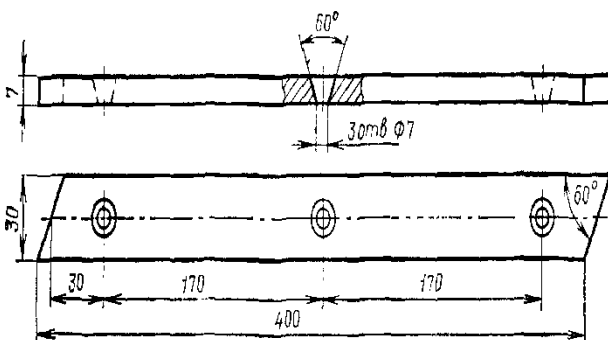


Рис. 2. Металокерамічні пластини ВЖЗп

Основною у Росії є контактна пластина марки ВЖЗп, яка описана в а.с. СРСР 892495, БИ №47, 23.12.81 р. Пластина є прокатоною порошковою смугою на залізо-мідній основі, просоченою свинцево-олов'янистим сплавом [3].

Основним недоліком даних пластин є великий знос контактної дроту, а також суттєвий знос самих пластин. Для усунення цього недоліку використовують сухе графітове мастило (СГС-О) та його розчин на дихлоретані (СГС-Д), ефективність яких є недостатньою.

Ще одним недоліком, згідно з вимогами Директив Євросоюзу, які ставляться на пріоритетні позиції, є забруднення навколишнього середовища важкими металами. При цьому, хімічний склад і структура даних пластин не дозволяють суттєво покращити його експлуатаційні характеристики порівняно з мідними пластинами.

Крім цього, даний тип металокерамічних пластин вже заборонений до експлуатації на залізницях України. Проте, при можливій закупівлі нового тягового електрорухомого складу з Росії, на нових електровозах таких як 2ЕС6 та 2ЕС10, будуть встановлені саме ці контактні пластини.

Тому, багато наукових та комерційних організацій пропонують свою продукцію для експлуатації на струмоприймачах електрорухомого складу в якості контактних накладок. Найбільш поширеними є: імпортна пластина контактна металокерамічна для струмоприймача електровозів постійного струму МГ-487 АТ «Електрокарбон», м.Топольчани, Словаччина; та вітчизняного виробництва - пластина контактна на мідній основі для струмоприймачів електровозів постійного струму ПКД-4-2, ТОВ «Інтер-Контакт-Пріор», м.Київ.

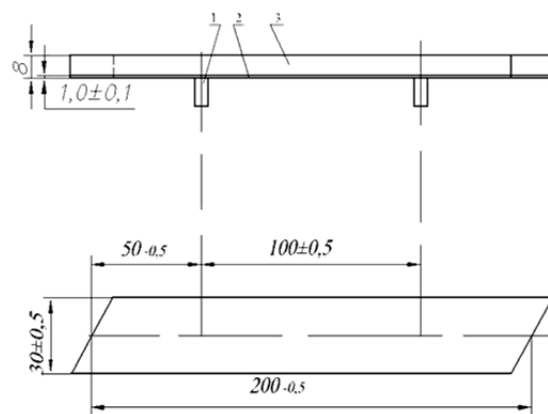


Рис. 3. Пластина контактна на мідній основі ПКД-4-2:  
1 – гвинти; 2 – несучий шар; 3 – робочий шар

Як показує дослід експлуатації даних пластин на електровозах постійного струму ВЛ10, ВЛ11м, вони, порівняно з металокерамічними пластинами ВЖЗп, мають більший ресурс та менше зношують контактний провід. Проте, відповідно до технічних умов, вони повинні експлуатуватися без

додаткового нанесення мастила в зону тертя з контактним дротом. Але внаслідок великих струмів таку операцію зберігають, оскільки сухе тертя призводить до задирів контактних пластин і нагортання на полози струмоприймача міді з контактного дроту, а при його недостатній кількості - до оплавлення пластин.



Рис. 4. Нагортання міді з контактного дроту на полози струмоприймача



Рис. 5. Оплавлення контактних пластин

Крім цього, у пластин ПКД спостерігаються випадки виривання впресованих в несучий шар кріпильних гвинтів, що в свою чергу призводить до додаткового демонтажу-монтажу контактних пластин, а значить збільшує витрати на ремонтні операції та час простою на технічному обслуговуванні.

Нещодавно на ринку і в досвідній експлуатації на мережі постійного та змінного струму з'явилася накладка полозу струмоприймача електрорухомого складу постійного та змінного струму з композиційного матеріалу "Романіт - УВЛШ".

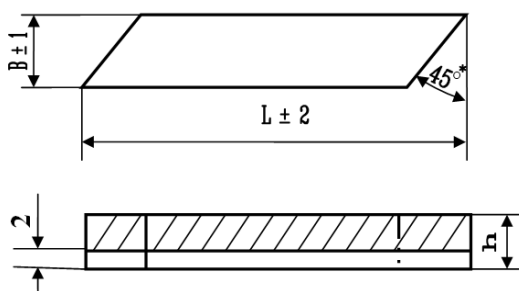


Рис. 6. Накладка НПТР-420-2 з матеріалу "Романіт-УВЛШ"

Відповідно до Технічних умов (ТУ У 30.2-37199864-001:2016) [4], на накладки полозів струмоприймачів для електрорухомого складу постійного та змінного струму всіх типів, виготовленого з композиційного матеріалу «Романіт-УВЛШ» призначені для встановлення на прямі ділянки струмоприймачів і являють собою біметалеву пластину, з одного боку якої - сталеві пластина-підкладка, а з іншого - робочий романітовий шар.

Пластини, відповідно до ТУ повинні витримувати допустимий струм:

- постійний - при стоянці 380 А, в русі – 750 А;
- змінний - при стоянці 80 А, в русі – 900 А.

Але, відповідно до Технологічної інструкції по технічному огляду і ремонту струмоприймачів ТИ-514 [5], контактні пластини повинні витримувати допустимий струм (для міді) при постійному струмі - при стоянці 550 А, в русі – 2100 А.

Можливо, це стає причиною недостатньої струмопровідності, що також призводить до перетікання значних струмів між рядами пласти і пошкодження струмопровідних мідних пластин під ними (рис. 6-7) та схоплення контактного дроту і пластини з подальшим нагортанням міді на полози струмоприймача (рис. 7).



Рис. 6. Псування шунтуючих пластин на полозі



Рис. 7. Нагортання міді з контактного дроту на полози струмоприймача і псування шунтуючих пластин

До речі, кріплення саме цих пластин і зміна кріплення струмовідвідних шунтів також ускладнює слюсарні роботи та збільшує час для виконання ТО. При цьому, інколи частково, а інколи повністю перекриваються технологічні отвори для стікання

води з полоза струмоприймача, що прискорює утворення ожеледі і намерзання мокрого снігу на полозі (рис. 8).



Рис. 8. Перекриття шунтуючими пластинами технологічних отворів на полозі

**Мета статті.** Аналіз існуючих контактних пластин для струмоприймачів електрорухомого складу, виявлення основних конструктивних, технологічних та експлуатаційних недоліків відомих контактних пластин та розробка ресурсозберігаючої технології експлуатації накладок струмоприймачів з урахуванням їх взаємодії з контактним дротом.

**Викладення основного матеріалу.** На даний час на електрорухомому складі залізничного, промислового та комунального транспорту використовують контактні накладки (вставки) двох типів: вуглецеві (вугільні) - на основі коксу, або графіту, та металеві, які можна поділити на мідні, мідно-графітові та металокерамічні. Нажаль, жодна контактна накладка не забезпечує в повній мірі надійність такого важливого електричного апарата, як струмоприймач.

Тому, врахувавши особливості взаємодії контактного дроту і ковзної контактної пластини у найважчих умовах Львівської залізниці - на Карпатському перевалі, було прийняте рішення про розробку свого матеріалу, який би був дешевший, надійніший і вітчизняний. Технічна задача, що вирішується нашою розробкою композиції для накладки струмоприймачів електрорухомого складу, є створення такого матеріалу струмоз'ємного елемента, який без використання зовнішнього мастила забезпечить зменшення зносу контактного проводу і самого струмоз'ємного елемента за рахунок зменшення коефіцієнту тертя при збереженні достатніх для експлуатації механічних і електрофізичних властивостей.

Суть розробки полягає у тому, що струмоз'ємний елемент струмоприймача електрорухомого складу, основу якого складають металеві порошки, їх з'єднання і графіт, відрізняється від відомих тим, що елемент виготовляється пористим. Суміш порошків пресується у прес-формі, яка відповідає конструкції елемента. Спресована заготовка термічно обробляється у захисній атмосфері. У результаті отримуємо пористий елемент, величина пористості

якого визначається кількістю технологічної речовини та технологічними параметрами виготовлення заготовки. Пори шляхом просочування заповнюються мастильною речовиною на основі органічних з'єднань вуглецю, кремнію, фтору та інших наповнювачів, що і визначає технічний ефект підвищення стійкості елемента до зношування при його терті по контактному дроті.

Прикладом реалізації даної моделі є контактні елементи на бронзовій основі БрЗГ струмоприймача електрорухомого складу з підвищеною зносостійкістю пари контактного дроту і струмоз'ємного елемента. Дослідна перевірка розробленого матеріалу показала, що на контактних поверхнях контактної мережі та накладки струмоприймача утворюється шар "політури". Розрахунок параметрів надійності після порівняльних випробувань розроблених накладок БрЗГ з накладками інших видів, які використовуються у локомотивному депо "Львів-Захід" показали, що знос накладок з розробленого матеріалу БрЗГ в 1,5...2,5 рази менший ніж знос накладок з матеріалів ВЖ-Зп, МГ-487.

Багаторічний досвід наукової дослідницької роботи дав змогу передбачити низку факторів, щоб використати їх при створенні нового контактного матеріалу та розробки дослідних зразків контактних пластин. Зокрема, удосконалена технологія виготовлення пластин, отримано покращений склад БрЗГ-1 (фазовий склад пластини – бронза – 35-40% об, залізо – 27-34% об, вуглець – 27-30% об).

На даний час авторами розробки проведені дослідження покращеної композиції для контактних пластин струмоприймачів електрорухомого складу постійного струму БрЗГ-2 (масова частка вуглецю в політурі перевищує 35%), що дозволить зменшити знос контактного проводу, з підвищенням ресурсу самої пластини.

Враховуючи розміри контактних пластин марок БрЗГ-1 (8x30x225) та БрЗГ-2 (9x30x225) можна сказати, що на один полоз струмоприймача їх необхідно 5+3+5, тобто 13 пластин, на відміну від контактних пластин марок ПКД-1 і ПКД-2 розмірами (8x30x200) при необхідності 6+4+6, тобто 16 пластин, що в загальному на один електровоз складає економію 12 пластин (18,75 %). При вартості пластин ПКД-2 понад 400 грн., це більше 4800 грн. на один електровоз, не враховуючи трудові затрати.

Враховуючи, що нові контактні пластини марок БрЗГ-1 та БрЗГ-2 мають більший ресурс в 1,25...2,5 рази ніж контактні пластини марок ПКД-1 і ПКД-2, тоді, при серійному використанні цих пластин, додатково знизяться загальні витрати на закупівлю пластин і зменшаться затрати робочого часу на їх монтаж-демонтаж.

Для електровозів змінного струму та електропоїздів передбачене кріплення вугільних вставок у два ряди, а висота вставки становить 30

мм. Тому було розроблено контактну пластину БрЗГ-4, у якій збільшено відсоток вуглецю, та збільшено висоту пластини до 10 мм., що продовжує ресурс пластини на 17..20%, у порівнянні з БрЗГ-1.

У моторвагонному депо Львів (РПЧ-1) відпрацьовано технологію нижнього болтового кріплення контактних пластин БрЗГ-4, а також розроблено покращену композицію зі зміцненим нижнім шаром контактної пластини БрЗГ-5, що дозволяє кріплення пластини до каркасу полоза як за допомогою шпильки, так і за допомогою гвинта.

Одним з головних показників роботи контактної пари "пластина - контактний провід" є ресурс обох контактуючих поверхонь. Тому, нами розроблено і на електропоїзді перевірено комплект контактних пластин БрЗГ-6 зі збільшеним відсотком просочування, що забезпечує покращене змащування контактного проводу зі зменшенням іскріння в зимовий період.

Для уніфікації кріплення контактних пластин БрЗГ по кріпильних отворах від накладок інших марок запропоновані накладки БрЗГ-7 та БрЗГ-9 з різною висотою та довжиною 200 мм, в якій отвір просвердлюється "по місцю" монтажу.

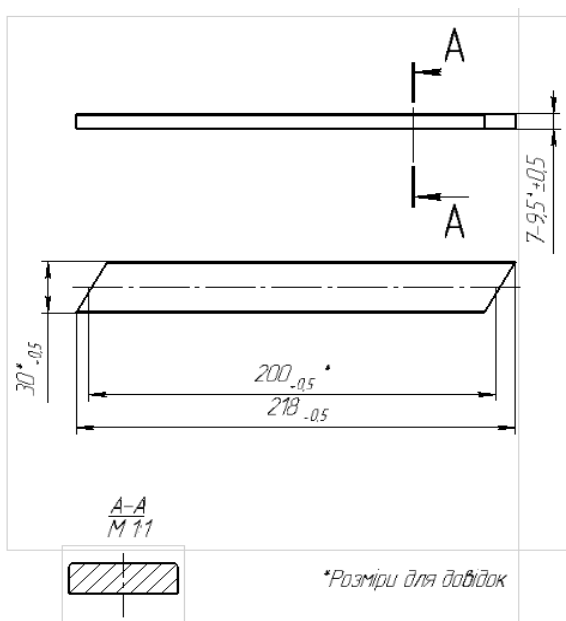


Рис. 9. Універсальна контактна пластинка БрЗГ-7,9

Зараз формується модельний ряд контактних пластин БрЗГ, з якого замовник може обирати накладку для своїх умов експлуатації електрорухомого складу, наприклад, в залежності від роду струму, або його величини - для пасажирського або вантажного електровоза.

Також суттєвою складовою економії коштів є використання контактних пластин БрЗГ для літнього або зимового періоду.

При розробці технології виготовлення пластин використані патенти України на корисну модель № 90838 та № 93116 [7, 8].

На основі патентів та власного досвіду, у науково-дослідній роботі нами розроблені рекомендації щодо підвищення експлуатаційних характеристик та надійності електричної частини електрорухомого складу, які дозволять підвищити стан безпеки руху поїздів.

**Висновок.** У роботі проаналізовано існуючі накладки струмоприймачів електрорухомого складу, причини виходу їх з ладу та можливі шляхи їх усунення. Розглянуто конструктивні та експлуатаційні особливості накладок і вставок, що експлуатуються на даний час у локомотивних та моторвагонних депо на Львівській залізниці.

Розроблено пропозиції щодо використання в якості накладок нового перспективного матеріалу БрЗГ з урахуванням специфіки взаємодії накладок струмоприймача та контактного дроту.

Впровадження повинно враховувати специфіку кріплення та вміст просочувального мастила накладок БрЗГ, а також їх умов експлуатації залежно від струмових навантажень та умов навколишнього середовища.

При впровадженні рекомендованої комплексної ресурсозберігаючої технології у локомотивних та моторвагонних депо необхідно замовляти контактні пластини для певного періоду і виду тяги, що значно зменшить перевитрати і збереже ресурс контактного дроту.

#### Література

1. Берент В.Я. Материали и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта - М.: Интекст. 2005. - С.408.
2. ЦТ-0188. Правила технічного обслуговування та поточних ремонтів електровозів постійного струму ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11. /М-во інфраструктури України, Держадміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця
3. Беляев И.А. Машинисту о контактной сети и токосъеме. — Москва: Транспорт, 1986. — (Б-чка машиниста локомотива).
4. ТУ У 30.2-37199864-001:2016 Накладка ползів струмоприймачів для електрорухомого складу постійного та змінного струму з композиційного матеріалу «Романит-УВЛШ»
5. ТИ-514 - Техническое обслуживание и ремонт токоприемников отечественных электровозов постоянного и переменного тока. Технологическая инструкция. 1988.
6. ТУ У 31.2 – 2237310075 – 001: 2017. Пластинка контактна БрЗГ для струмоприймачів електротранспорту. Технічні умови.
7. Патент UA 90838 U. 10.06.2014. Композиція для виготовлення струмознімного елемента струмоприймача електрорухомого складу. – [Електро. ресурс]. Режим доступу: <http://uapatents.com/3-90838-kompoziciya-dlya-vigotovlennya-strumoznimnogo-elementa-strumoprijmacha-elektrorukhomogo-skladu.html>
8. Патент UA 93116 U. 25.09.2014. Спосіб подачі мастила в зону тертя між контактним дротом та струмознімним елементом Режим доступу: <http://uapatents.com/4->

93116-sposib-podachi-mastila-v-zonu-tertya-mizh-kontaktym-drotom-ta-strumoznimnim-elementom.html

### References

1. Berent V. Materialy i svoystva elektricheskikh kontaktov v ustroystvakh zheleznodorozhnogo transporta - M.: Intekst. 2005. - S.408.
2. TST-0188. Pravyly tekhnichnoho obsluhovuvannya ta potochnykh remontiv elektrovoziv postynoho strumu VL8, VL10, VL11. /M-vo infrastruktury Ukrayiny, Derzhadministratsiya zaliznychnoho transportu Ukrayiny, Ukrzaliznytsya
3. Belyayev I.A. Mashinistu o kontaktnoy seti i tokos"yeme. — Moskva: Transport, 1986. — (B-chka mashinista lokomotiva)
4. TU U 30.2-37199864-001:2016 Nakladka poloziv strumopryymachiv dlya elektrorukhomoho skladu postynoho ta zminnoho strumu z kompozytsiynoho materialu «Romanyt-UVLSH»
5. TI-514 - Tekhnicheskoye obsluzhivaniye i remont tokopriyemnikov otechestvennykh elektrovozov postoyannogo i peremennogo toka. Tekhnologicheskaya instruktsiya. 1988.
6. TU U 31.2 – 2237310075 – 001: 2017. Plastyna kontaktna BrZ·H dlya strumopryymachiv elektrotransportu. Tekhnichni umovy.
7. Patent UA 90838 U. 10.06.2014. Kompozytsiya dlya vyhotovlennya strumoznimnoho elementa strumopryymacha elektrorukhomoho skladu. – [Elektro. resurs]. Rezhym dostupu: <http://uapatents.com/3-90838-kompoziciya-dlya-vigotovlennya-strumoznimnogo-elementa-strumoprijmacha-elektro-rukhomogo-skladu.html>
8. Patent UA 93116 U. 25.09.2014. Sposib podachi mastyla v zonu tertya mizh kontaktnym drotom ta strumoznimnym elementom Rezhym dostupu: <http://uapatents.com/4-93116-sposib-podachi-mastila-v-zonu-tertya-mizh-kontaktym-drotom-ta-strumoznimnim-elementom.html>

**Бабяк Н.А. Ресурсосберегающая технология эксплуатации накладок токоприемников с учетом их взаимодействия с контактным проводом.**

*В статье рассмотрены результаты испытаний накладок токоприемников электроподвижного состава с нового перспективного материала на основе бронзы, который позволяет повысить ресурс эксплуатации как самих накладок пантографов, так и контактного провода. Особенностью взаимодействия новых накладок токоприемников и контактного провода заключается в улучшенном смазке зоны контакта и образования токопроводящей политуры на контактирующих поверхностях. Разработаны рекомендации по повышению эксплуатационных характеристик и надежности контактных накладок токоприемников в условиях локомотивных депо, которые ремонтируют и эксплуатируют подвижной состав различных серий.*

**Ключевые слова:** эксплуатация, пантограф, контакт, износ, накладка, проволока, ресурс

**Babyak N. Resource-saving technology for operating pantograph linings, taking into account their interaction with the contact wire**

*In the article the results of tests of the lining of current collectors of electric rolling stock from a new perspective material based on bronze are considered, which allows increasing the service life of both the pantograph linings and the contact wire. The peculiarity of the interaction between the new pantograph linings and the contact wire is the improved lubrication of the contact zone and the formation of conductive polishing on the contacting surfaces. Recommendations are developed to improve the performance characteristics and reliability of pantograph contact pads in conditions of locomotive depots that repair and operate the rolling stock of various series.*

**Keywords:** operation, pantograph, contact, wear, lining, wire, resource.

**Баб'як М.О.** – докторант, к.т.н., доц., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (Львівська філія).

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 04.04.2018

УДК 656.078

## МЕТОДИКА ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНОГО АНАЛІЗУ В УПРАВЛІННІ АВТОТРАНСПОРТНИМ ВИРОБНИЦТВОМ

Бекетов Ю.О., Северин О.О.

### TECHNIQUE OF PRACTICAL APPLICATION OF FUNCTIONAL AND COST ANALYSIS IN THE MANAGEMENT OF MOTOR TRANSPORT PRODUCTION

Beketov Yu.O., Severin O.O.

*В роботі приведена методика практичного використання функціонально-вартісного аналізу як ефективного інструменту виявлення невикористаних внутрішньовиробничих резервів на підприємствах різних галузей виробництва і сфер діяльності. Реалізація методики функціонально-вартісного аналізу дозволила виявити найбільш економічний з погляду виробника і споживача варіант організації виробництва автотранспортного підприємства.*

**Ключові слова:** автотранспортне підприємство, функціонально-вартісний аналіз.

**Вступ.** Рішення проблеми ефективного розподілу товарів і підвищення рівня якості обслуговування споживачів транспортних послуг у ринкових умовах тісно пов'язане з проблемою якості послуг. Тільки високий рівень якості обслуговування може забезпечити надійний ринок збуту для послуг підприємств транспорту. Високий рівень якості й ефективності обслуговування мають підкріплюватися відповідним рівнем матеріально-технічного забезпечення, включаючи розвиток системи складських і контейнерних терміналів, сучасну вантажно-розвантажувальну техніку, комп'ютерні засоби інформатики і керування. Функціонально-вартісний аналіз є ефективним інструментом виявлення невикористаних внутрішньовиробничих резервів на підприємствах різних галузей виробництва, в тому числі і для сфери автомобільного транспорту.

**Постановка проблеми.** Якість займає ключову позицію економічної та соціальної стратегії розвинених країн, а її рівень є надійним індикатором загального стану економіки. У поясненнях до терміну «вимога» вказується, що для позначення конкретного виду вимоги можуть застосовуватися визначальні слова: наприклад, вимоги до продукції, вимоги до процесу, вимоги споживача та ін. [1]. Рівень розвитку транспортної сфери є однією з

найважливіших характеристик розвитку сучасного суспільства – його соціальної спрямованості.

Транспортна послуга – це результат діяльності виконавця транспортної послуги по задоволенню потреб пасажира, вантажовідправника і вантажоодержувача в перевезеннях відповідно до встановлених норм і вимог (ДСТ Р 51005-96) [2]. Якість транспортних послуг – це сукупність характеристик транспортного обслуговування, що обумовлюють його здатність задовольняти потреби споживачів шляхом належного і ефективного виконання транспортних послуг, а також відповідати встановленим стандартам і нормативам, умовам договору або вимогам, що зазвичай пред'являються до транспортного обслуговування. На транспортних підприємствах України недооцінка значущості комплексного розвитку системи управління якістю призвели до зростання браків в інфраструктурі залізниць, автодорожнього, водного та авіаційного транспорту, що значною мірою збільшує ризик порушення безпеки руху. Вдосконалення систем управління якістю є одним з найважливіших напрямів розвитку транспорту.

**Аналіз публікацій.** Питанням підвищення якості обслуговування споживачів транспортних послуг приділялась велика увага таких вчених, як Малишева А.І. [3], Минько Е. В. [4], Кричевського М. Л. та інших (табл.). При цьому, більш детально питанням необхідності розробки методики оцінки і управління якістю перевезень вантажів рухомих складом автотранспортного підприємства займався Горев А. Е. [2].

В роботі Попової Н. В. [7] визначені вимоги клієнтів до каналів розподілення послуг, критерії оцінки їх роботи.

Послуги – це вид діяльності, направлений на задоволення відповідної частини потреб клієнтури, що характеризується наявністю необхідного технологічного, економічного, інформаційного і ресурсного забезпечення.

Таблиця

## Аналіз літературних джерел

Питання, що розглянуті	Літературне джерело				
	[5]	[3]	[4]	[2]	[6]
Поняття якості обслуговування та якості транспортних послуг	+	-	+	+	+
Показники якості послуг	+	+	-	+	+
Методика управління якістю перевезень вантажів	-	-	-	-	-
Методика управління якістю перевезень пасажирів	-	+	-	-	-
Особливості оцінки якості транспортних послуг	+	-	-	-	-
Складові системи управління якістю	-	-	-	+	-
Принципи управління якістю	+	-	-	-	-

В ринкових умовах розробка нових конкурентоздатних видів транспортних послуг та їх удосконалення є вирішальною умовою діяльності кожного підприємства. Тому перевагу над конкурентами, як правило, здобувають ті автотранспортні підприємства, які при розробці нових пропозицій ефективно використовують концепцію маркетингу і орієнтуються, понад усе на інтереси клієнтів.

**Мета дослідження.** Підвищення рівня якості транспортного обслуговування замовників за рахунок використання внутрішніх резервів роботи АТП.

Об'єктом дослідження є виробничий транспортний процес обслуговування замовників.

Предмет дослідження – система показників оцінки якості перевезень вантажів.

Робоча гіпотеза – розробка та впровадження на АТП системи управління якістю перевезень вантажів забезпечить підвищення ефективності виробничої діяльності підприємства в цілому.

Для визначення резервів підвищення рівня якості транспортних послуг необхідно використовувати сучасні аналітичні методи. Одним з таких методів є функціонально-вартісний аналіз (ФВА), за допомогою якого визначаються одночасно як резерви підвищення ефективності роботи АТП, так і якість надання транспортних послуг по кожному із замовників транспорту.

**Результати досліджень.** Методика практичного використання ФВА складається з таких основних етапів.

Етап 1. Виділення основних груп замовників транспорту та їх ранжування.

Змістом робіт цього етапу є виділення в умовах АТП основних груп клієнтури за рівнем обсягу виконання транспортних робіт (послуг). Для цього широко використовуються різноманітні графічні методи:

- діаграма типу «N-Q»;
- графік Лоренца (крива кумулятивних накопичень значень);
- графічна інтерпретація методу «ABC» та ін.

Вихідними даними, необхідними для виконання робіт на цьому етапі аналізу, має бути зібрана економічна інформація, що відображає

діяльність АТП за окремими клієнтами, які обслуговуються.

Діаграма типу «N-Q» є графіком, на горизонтальній осі якого розташовані номери (найменування) усіх N – обслугованих рухомим складом замовників автотранспорту, а на вертикальній осі – обсяг перевезених вантажів по кожному замовнику (вантажовідправнику) у натуральних показниках (Q – обсяг перевезень вантажів) або у вартісному вираженні (D – сума доходів від перевезень вантажів). Всю клієнтуру, що обслуговується, слід розмістити зліва направо по ступеню зниження обсягу перевезених вантажів.

Аналіз даних дозволяє виділити три основні групи замовників транспорту, що обслуговуються рухомим складом АТП:

- група А – найважливіша клієнтура що має найбільший обсяг перевезень вантажів. Їхня кількість невелика (15-20 % від загального числа замовників); але вони займають головні позиції у виробничій програмі експлуатації рухомого складу АТП (45-50 % обсягу перевезень вантажів);

- група В – по важливості це середня група, що включає 25-30 % загальної кількості вантажовідправників. У структурі обсягу перевезень їхня доля складає біля 30-35 %;

- група С – клієнтура, що не має великої важливості. Вона складає 45-50% позицій виробничої програми, на її долю припадає 20-25 % обсягу перевезень.

Відповідно до принципу виділення ведучої ланки, об'єктами подальшого вивчення мають виступати об'єкти, виділені в групах А і В як найбільш важливі. Будемо вважати їх основною клієнтурою, що обслуговується.

Етап 2. Аналіз виробничих витрат і ефективності роботи АТП при обслуговуванні кожного замовника:

Виявляють витрати і розраховують показники ефективності використання рухомого складу при транспортному обслуговуванні кожного з основних замовників. Мета такого аналізу – одержання достовірної інформації про рівень рентабельності послуг, що надаються АТП. Критерієм оцінки використовують показник рентабельності перевезень.

Після закінчення розрахунків будують стовпчикову діаграму на якій по горизонталі розміщують основну договірну клієнтуру, а по вертикалі – рівень рентабельності перевезень. На цій діаграмі всіх замовників автотранспорту, що належать до груп А і Б, ранжують зліва направо по мірі зниження рівня рентабельності.

Отримані результати характеризують лише одну сторону ефективності автотранспортного виробництва – із погляду самого АТП. Тому цей аналіз повинен бути доповнений і іншими дослідженнями, що дозволять оцінити виробничу діяльність автотранспортників з позиції клієнтури, що обслуговується.

Етап 3. Аналіз функціональності виконання транспортних послуг (робіт).

Одне з найважливіших завдань (функцій) АТП – своєчасне, повне і якісне транспортне

обслуговування клієнтури. Тому метою цього етапу ФВА є визначення рівня функціональності (якості) виконання робіт і послуг по кожному із замовників транспорту, що сформували групи А і В.

Рівень функціональності транспортного обслуговування можна виразити різними способами. В даному разі пропонується для цього використовувати коефіцієнт функціональності, що розраховується для кожного і-го вантажовідправника:

$$K_{\phi} = 1 - \frac{Ш_{сан} + З_{ДТП} + Н_{в}}{Д_{пер}}, \quad (1)$$

де  $Ш_{сан}$  – сума штрафних санкцій, виставлених клієнтурою АТП за невчасність перевезення вантажу, тис. грн. ;

$З_{ДТП}$  – збитки вантажовідправників у зв'язку з ДТП, допущеним із вини водіїв АТП, тис. грн. ;

$Н_{в}$  – сума недостач, втрат і розкрадань вантажів у процесі їхнього транспортування, тис. грн.

Етап 4. Вибір об'єктів інноваційної діяльності.

Для визначення об'єктів інноваційної діяльності будують кореляційну таблицю (рис. 1). У ній число рядків і число стовпчиків дорівнює чисельності основних вантажовідправників, що потрапили у групи А і В. По горизонталі кореляційної таблиці записують номери замовників по мірі зниження рівня рентабельності перевезень вантажів, а по вертикалі вказують номери замовників по мірі зниження коефіцієнта функціональності.

$R_{\phi} / K_{\phi}$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$N_7$	$N_8$	$N_9$	$N_{10}$	$N_{11}$	$N_{12}$
$N_1$												
$N_2$												
$N_3$			Область I							Область II		
$N_4$												
$N_5$												
$N_6$												
$N_7$												
$N_8$			Область III							Область IV		
$N_9$												
$N_{10}$												
$N_{11}$												
$N_{12}$												

Рис. 1. Визначення об'єктів інноваційної діяльності

За допомогою кореляційної таблиці вся основна договірна клієнтура АТП поділяється на чотири області:

- область I – до неї входять замовники, що мають найбільш високий рівень як рентабельності перевезень, так і функціональності;

- область II – це замовники автотранспорту, у яких досягнутий високий рівень функціональності (якості) транспортного обслуговування, але має місце низький рівень ефективності використання рухомого складу, тобто рентабельності;

- область III – замовники, що мають високий рівень рентабельності перевезень вантажів і низький

рівень функціональності транспортного обслуговування;

- область IV – це ті замовники автотранспорту, у яких спостерігається за звітний період часу найбільш низький рівень як ефективності транспортного процесу, так і функціональності транспортного обслуговування.

Остання група підприємств – замовників автотранспорту і є об'єктами інноваційної діяльності; по кожному з підприємств необхідно запропонувати заходи щодо підвищення ефективності використання рухомого складу і росту якості транспортного обслуговування.

За результатами аналізу даних ПАТ «АТП-16363» використання функціонально-вартісного аналізу дозволяє сформувати три групи замовників: до групи А відноситься 4 замовники, сумарний обсяг перевезення яких складає 293,5 тис. т, до групи Б – 8 замовників з об'ємом перевезень 233,5 тис. т та до групи С – 9 замовників на 94,1 тис. т. Відповідно до принципу виділення ведучої ланки, об'єктами подальшого вивчення мають виступати об'єкти, виділені в групах А і В як найбільш важливі. Будемо вважати їх основною клієнтурою, що обслуговується. Нумерація клієнтів наступна: 1- Гіпермаркет «Fozzy», 2-САН ІнБев Україна, 3 - Лакталіс Україна, 4 -Філіп Морріс Україна, 5 - Danone, 6 -АТБ маркет, 7-ВАТ Южспецстрой, 8 - ТОВ Синергія, 9-ТОВ Балаклійський шиферний комбінат, 10 - Електротяжмаш, завод, 11 - ТОВ Виконт, 12- ТОВ Метінвест СМЦ. Графічна інтерпретація результатів робіт першого етапу ФВА наведена на рис. 2.

Кореляційна матриця, яка будується на четвертому етапі практичного застосування ФВА за результатами наших досліджень має наступний вигляд (рис.3).

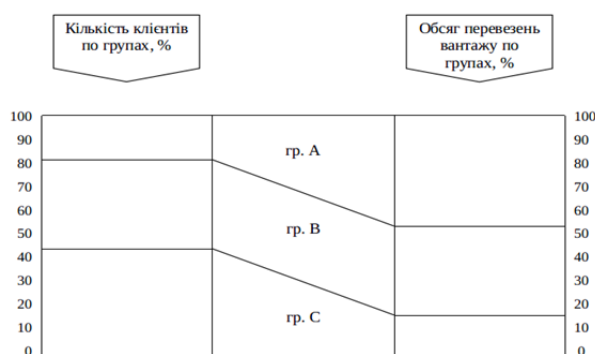


Рис. 2. Визначення основних груп замовників транспорту

До області I ввійшли 5 замовників транспортного обслуговування, до області II – 1 замовники, до області III – 1 замовник та до області IV – 5 замовники.

Особлива увага надається тим замовникам транспортних послуг, у яких найнижчий показник рентабельності та рівень функціональності транспортного обслуговування, тобто вони мають найбільш низький рівень як ефективності

транспортного процесу, так і функціональності транспортного обслуговування. Тому ПАТ «ХАТП-16363» має приділити увагу замовникам, які потрапили до області IV, а саме за даним експериментальним дослідження три замовники під номером 8-12, які АТП може втратити.

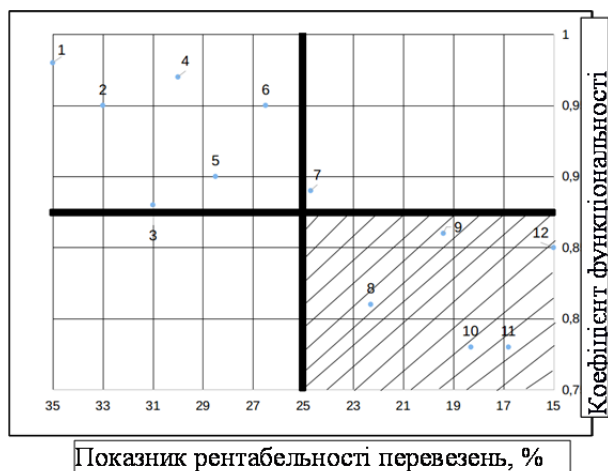


Рис. 3. Визначення об'єктів інноваційної діяльності

**Висновки.** Запропонована методика практичного застосування одного з новітніх методів управління резервами роботи сучасних АТП, що працюють в ринкових умовах, тобто функціонально-вартісного аналізу, дає змогу розробити рекомендації, що дають можливість для керівництва АТП визначити об'єкти інноваційної діяльності, до яких належать конкретні вантажовідправники, де спостерігається низький рівень як ефективності транспортного процесу, так і якості надання транспортних послуг та розробити конкретні заходи. Такий підхід дозволить автотранспортним підприємствам виявити найбільш економічний з погляду виробника і споживача варіант організації виробництва.

#### Література

1. Системи управління якістю. Вимоги : ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). – [Чинний від 2016-07-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2016. – 22 с. (Національний стандарт України).
2. Горев А. Э. Грузовые автомобильные перевозки. Учебное пособие для ВУЗов, 2-е издание / А. Э. Горев. – М. : Академия, 2004. – 288с.
3. Малышев А. И. Экономика автомобильного транспорта. Учебник для вузов / А. И. Малышев. – М.: Транспорт, 1983. – 336 с.
4. Минько Э. В. Качество и конкурентоспособность / Э. В. Минько. – П. : СПб, 2004. – 268 с.
5. Кучерук Г. Ю. Якість транспортних послуг: управління, розвиток та ефективність. Монографія / Г. Ю. Кучерук. – К. : ДЕДУТ, 2011. – 208 с.
6. Лебідь В. В. Управління проектами транспортного забезпечення вантажних перевезень у міжнародному сполученні: автореф. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук : спец. 05.13.22 «Управління проектами та програмами» / В. В. Лебідь. – К., 2017. – 24 с.

7. Попова Н. В. Маркетинг транспортных услуг. Учебное пособие / Н. В. Попова. – Х. : ХНАДУ, 2002. – 223 с.

#### References

1. Sistemi upravlnnyya yakIstyu. Vimogi : DSTU ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). – [Chinniy vid 2016-07-01]. K. : Derzhspozhivstandart UkraYini, 2016. – 22 s. (Natsionalniy standart UkraYini).
2. Gorev A. E. Gruzovyye avtomobilnyie perevozki. Uchebnoe posobie dlya VUZov, 2-e izdanie / A. E. Gorev. – M. : Akademiya, 2004. – 288s.
3. Malyishev A. I. Ekonomika avtomobilnogo transporta. Uchebnyk dlya vuzov / A. I. Malyishev. – M. : Transport, 1983. – 336 s.
4. Minko E. V. Kachestvo i konkurentosposobnost / E. V. Minko. – P. : SPb, 2004. – 268 s.
5. Kucheruk G. Yu. YakIst transportnih poslug: upravlnnyya, rozvitok ta efektyvnIst. MonografIya / G. Yu. Kucheruk. – K. : DETUT, 2011. – 208 s.
6. LebId V. V. Upravlnnyya proektami transportnogo zabezpechennya vantazhnyih perevezhen u mlzharodnomu spoluchenni: avtooref. na zdobuttya nauk. stupenya kand. teh. nauk : spets. 05.13.22 «Upravlnnyya proektami ta programami» / V. V. LebId. – K., 2017. – 24 s.
7. Popova N. V. Marketing transportnyih uslug. Uchebnoe posobie / N. V. Popova. – H. : HNADU, 2002. – 223 s.

**Бекетов Ю.А., Северин А.А. Методика практичного застосування функціонально-вартісного аналізу в управлінні автотранспортним виробництвом.**

*В роботі приведена методика практичного використання функціонально-вартісного аналізу як ефективного інструмента виявлення невикористаних внутрішніх резервів на підприємствах різних галузей виробництва і сфер діяльності. Реалізація методики функціонально-вартісного аналізу дозволила виявити найбільш економічний з точки зору виробника і споживача варіант організації виробництва автотранспортного підприємства.*

**Ключевые слова:** motor transport enterprise, functionally-cost analysis.

**Beketov Yu.O. Severin O.O. Technique of practical application of functional and cost analysis in the management of motor transport production.**

*The paper presents the methodology of practical use of functional-cost analysis as an effective tool for identifying non-used in-production reserves in enterprises of various industries and spheres of activity. The implementation of the methodology of functional-value analysis made it possible to identify the most economic option for the manufacture of the motor transport enterprise from the point of view of the producer and the consumer.*

**Key words:** motor transport enterprise, functional-cost analysis

**Бекетов Юрій Опанасович** - к.еон.н., професор кафедри транспортних технологій, декан факультету транспортних систем Харківського автомобільно-дорожнього університету, e-mail: dekanat.fts@gmail.com.  
**Северин Олександр Олександрович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних технологій Харківського автомобільно-дорожнього університету, e-mail: saa.severin@ukr.net.

Рецензент: д.т.н., проф. Горбунов М.І.

УДК 621.873

## МЕТОДИ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ КРАНІВ

Бойко Г.О., Бойко Т.В., Єпіхін Р.А.

### METHODS OF EVALUATION OF THE TECHNICAL STATE OF LOAD-LIFTING CRANES

Boyko G., Boyko T., Epihin R.

*Проведено аналіз сучасних методів оцінки технічного стану вантажопідйомних кранів. Наводяться переваги та недоліки існуючих методів. Акцентується увага на тому, що оцінка технічного стану кранів, що виробили нормативний ресурс, повинна носити індивідуальний характер, при цьому оцінка технічного стану повинна проводитися по параметрах технічного стану. Наводиться концепція оцінки технічного стану вантажопідйомних кранів. В якості основних концептуальних положень (основного задуму) при розробці методики оцінки технічного стану металоконструкцій вантажопідйомних кранів прийнято:*

*- основний принцип експлуатації вантажопідйомних кранів - «безпечна експлуатація за технічним станом»;*

*- оцінка технічного стану вантажопідйомних кранів здійснюється по параметрам технічного стану металоконструкцій;*

*- параметрами технічного стану металоконструкцій кранів приймаються параметри, зміна яких (окремо, або в деякій сукупності) може призвести кран в непрацездатний або граничний стан;*

*- група параметрів технічного стану замінюється комплексним (узагальненим) параметром;*

*Наведені концептуальні положення лягли в основу удосконаленої методики оцінки технічного стану металоконструкцій вантажопідйомних кранів.*

**Ключові слова:** *технічний стан, метод, критерії, оцінка, параметри, кран.*

**1. Вступ.** Згідно Закону України "Про об'єкти підвищеної небезпеки" [1] вантажопідйомні крани, відносяться до об'єктів підвищеної небезпеки.

За даними Державної служби гірничого нагляду та промислової безпеки України (ДЕРЖГІРПРОМНАГЛЯД) на сьогодні на підприємствах України експлуатується понад 230 тис. підймальних споруд, 84 % з яких відпрацювали нормативний термін експлуатації [2].

Подальша безпечна експлуатація їх можлива лише після проведення експертного обстеження (технічного діагностування) в основі якого є оцінка технічного стану. Проблема об'єктивної (кількісної)

оцінки технічного стану є актуальною і дає як значний економічний ефект, адже мова йде про подальше продовження експлуатації у разі позитивного експертного висновку, так і запобігає виникненню техногенно-небезпечних ситуацій (аварій) у разі припинення подальшої експлуатації при негативному експертному висновку. Отримання кількісної оцінки технічного стану дозволить більш об'єктивно підійти до визначення можливості та термінів подальшої безпечної експлуатації, знизити витрати на підтримку їх працездатності.

На сьогоднішній день відсутня науково-обґрунтована методика оцінки технічного стану вантажопідйомних кранів, яка дозволяє отримати кількісну (числову) оцінку технічного стану, що дозволить більш об'єктивно визначити їх технічний стан та спрогнозувати терміни подальшої безпечної експлуатації.

Дослідження вітчизняних та зарубіжних учених з цієї проблеми свідчать також про те, що оцінка технічного стану повинна бути індивідуальною та проводитись за параметрами технічного стану, тобто бути багатокритеріальною. При цьому кількісна характеристика повинна визначатись числовим показником.

**Метою статті** є аналіз існуючих методів оцінки технічного стану вантажопідйомних кранів та удосконалення методики оцінки технічного стану кранів мостового типу.

#### **2.1. Основна частина**

**2.1. Аналіз існуючих методів.** З метою запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, причинами яких можуть стати аварії вантажопідйомних кранів, потрібен постійний моніторинг технічного стану та оцінка залишкового ресурсу вантажопідйомних кранів.

На сьогоднішній день офіційним нормативно-технічним документом з оцінки технічного стану вантажопідйомних кранів є методичні рекомендації [3]. Оцінка технічного стану вантажопідйомних

кранів входить в об'єм робіт з експертного обстеження (технічного діагностування), який включає:

- аналіз технічної документації на обстежуваний кран;
- оцінку неруйнівними методами контролю фізичного стану металоконструкцій;
- дослідження напруженого стану металоконструкцій з урахуванням фактичної товщини металу;
- оцінку технічного стану механізмів, приладів безпеки і електроустаткування;
- визначення залишкового ресурсу крану на підставі аналізу фактичного режиму роботи за увесь період експлуатації і технічного стану;
- складання висновку про можливість подальшої безпечної експлуатації кранів.

Періодичність експертних обстежень кранів відповідно до [3] не має бути рідше за 1 раз в 3 роки.

Таким чином, практично усі вантажопідйомні крани, незалежно від їх технічного стану отримують продовження терміну служби на наступні 1-3 роки.

Така практика, на нашу думку, є необ'єктивною, адже за фактичним технічним станом крани розрізняються і визначення терміну подальшої безпечної експлуатації кранів повинно мати індивідуальний підхід, основою якого повинен бути технічний стан кранів.

Питанню оцінки технічного стану кранів присвячено досить багато робіт. Аналіз апріорної інформації з цієї проблеми свідчить про декілька напрямків підходів з вирішення цього питання.

Передусім слід зупинитися на ряді публікацій [4-14], присвячених методу оцінки технічного стану і прогнозуванню залишкового ресурсу кранів на основі неруйнівного контролю, а саме застосуванню магнітної структуроскопії при оцінці напружено-деформованого стану металоконструкцій кранів. Як основний параметр (інформативний показник) пропонується використовувати магнітний параметр металу - коерцитивну силу, так як вона є найбільш чутливою до зміни щільності дислокацій структури і пов'язана лінійною залежністю з механічними властивостями металу. В основу запропонованої методики покладені кореляційні залежності між фізико-механічними властивостями металу і параметром петлі магнітного гістерезису, контрольованим при статичних і втомних випробуваннях на всіх стадіях вантаження аж до руйнування. У цих публікаціях вказується, що втома металу стає основною технічною перешкодою для безаварійної експлуатації вантажопідйомних кранів, а її оцінка можлива по коерцитивній силі, як найбільш інформативному параметру напружено-деформованого і структурного стану металу.

Однак, запропонований підхід, який на даний час є досить популярним має ряд суттєвих недоліків, а саме:

- значення коерцитивної сили для конструкцій із однієї і тієї ж марки сталі можуть

суттєво різнитися, так як обумовлені не лише умовами експлуатації, але і способом виробництва сталі, технологією виробництва металевих конструкцій, термічною обробкою і багатьма іншими факторами;

- залежність коерцитивної сили від величини напружень при навантаженні у пружній області для сталей являє собою криву з мінімумом, тому при вимірюванні одному значенню коерцитивної сили відповідають два значення напружень, які розділити неможливо;

- елементи більшості сталевих конструкцій при їх виробництві зазнають значних пластичних деформацій і як наслідок мають більші значення коерцитивної сили, що може призвести до їх помилкового бракування.

В роботі [7] також вказується на недоліки, які властиві магнітно-коерцитивному методу неруйнівного контролю з оцінки технічного стану металоконструкцій кранів та прогнозуванню їх залишкового ресурсу. Перш за все автори вказують, що в Україні нормативна база для використання цього методу досить обмежена, а сам метод може призвести до значної похибки при аналізі результатів контролю магнітних властивостей металоконструкцій кранів з різними товщинами елементів. Адже при контролі елементів металоконструкції з одного металу, але з різними товщинами будемо отримувати поступове зниження показників коерцитивної сили зі збільшенням товщини металу до певної величини [8].

Таким чином, запропонована методика оцінки напружено-деформованого стану металу вантажопідйомних кранів по величині коерцитивної сили на даний момент недостатньо апробована та досить затратна з фінансової точки зору, щоб її безальтернативно впроваджувати. Більш того коерцитивна сила не є комплексним показником технічного стану металоконструкції крану, а є одним з багатьох.

Окрім вищезазначеного методу оцінки напружено-деформованого стану металоконструкцій кранів та визначення їх залишкового ресурсу у ряді робіт [15, 16] пропонується застосування експрес-методів неруйнівного контролю, які базуються на внутрішній енергії метала конструкцій:

- метод акустичної емісії (АЕ);
- метод магнітної пам'яті металу (МПМ);
- тепловий контроль.

Перший та останній методи із наведеного переліку не отримали на даний час застосування при оцінці технічного стану металевих конструкцій кранів. Лише застосування методу МПМ пропагується для застосування на практиці для ранньої діагностики пошкоджень металоконструкцій. Згідно з [15] відомо, що під дією експлуатаційних навантажень робота металу в найбільш навантажених елементах кранів в основному визначається зсувною деформацією в зонах концентрації напружень (ЗКН). При цьому

накопичення втомлених пошкоджень металу з виникненням тріщин в багатьох випадках відбувається в умовах циклічного робочого навантаження. В силу магнітно - механічного ефекту на поверхні найбільш навантажених елементів кранів де виникли стійкі смужки сковазання виникає власне магнітне поле розсіювання відповідного напрямку і, як правило, зі зміною знаку, що є свідченням розвитку пошкодження металу.

Наведений метод МПМ, на наш погляд, не має переваг у порівнянні з відомими методами неруйнівного контролю, а є лише одним із них і також базується на основі магнітних властивостей металу.

Відомий також підхід до моніторингу технічного стану обладнання, викладений у роботі [17]. Сутність підходу полягає у «індикаторному» обстеженні на основі акустичних ефектів, які виникають задовго до появи дефектів, не сумісних з режимом експлуатації. «Індикаторне» обстеження пропонується будувати на модуляційних, нелінійних, дисипативних і дисперсійних ефектах, які проявляються задовго до руйнування, до появи дефекту несумісного з режимом експлуатації. Причому в додаток до загальноприйнятих способів зондування матеріалу імпульсами хвиль можна застосовувати зондування деградуючого в процесі експлуатації матеріалу безперервними гармонічними хвилями.

Однак, технічна реалізація запропонованої технології, а саме створення акустичного «індикатора» переддефектного стану пов'язано зі значними труднощами. Вимірювання модуляційних, нелінійних дисперсійних параметрів, як правило, здійснюється в лабораторних умовах, тому слід напрацювати схематичні рішення побудови «індикаторів» переддефектного стану металу.

Більш об'єктивними, на наш погляд, підходами до оцінки технічного стану металоконструкцій кранів є концепції методик, наведені в роботах [18-20].

Так в роботі [18] вказується, що оцінка технічного стану кранів, що виробили нормативний ресурс, повинна носити індивідуальний характер, при цьому оцінка технічного стану повинна проводитися по параметрах технічного стану (декілька десятків параметрів). Запропонована автором в роботі [18] концепція знайшла подальший розвиток в роботі [19], де ще раз підкреслюється, що як основний підхід при оцінці технічного стану вантажопідійомних кранів має бути прийнятий критеріальний підхід, при якому кількісна оцінка визначається числовим показником або групою показників, вичислених або отриманих в результаті проведених вимірів і порівнюваних з допустимим значенням. Як параметри технічного стану автором пропонується використовувати такі, які характеризують справний стан кранів і підкранових споруд. При цьому які-небудь окремі відхилення цих величин від встановлених нормативними

документами вимог вважаються дефектами і підлягають усуненню. Знаючи закон зміни цих параметрів за часом, а також визначивши, що певні параметри характеризують найбільш вірогідне і найближче за часом настання граничного стану, автор пропонує скласти цільову функцію. На його думку така математична модель дозволяє прогнозувати час роботи вантажопідійомних кранів до настання цього граничного стану.

До позитивного у запропонованій в роботах [18, 19] методиці слід віднести те, що автор пропонує застосовувати багатокритеріальний підхід до оцінки технічного стану, рекомендуючи порівнювати поточні значення параметрів з їх граничними значеннями.

Найбільш правильним, на наш погляд, являється підхід, викладений в роботі [20], суть якого зводиться до того, що з метою встановлення технічного стану кранів для ухвалення обґрунтованого рішення про можливість і умови їх подальшої експлуатації, а також заходи по відновленню працездатності пропонується методика бальної оцінки технічного стану вантажопідійомних кранів за допомогою визначення розрахункового показника - рейтингу  $R$

$$R = \frac{1}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4} \left( 100 - D \cdot \frac{1}{k_5} \right), \quad (1)$$

де  $k_1$  - коефіцієнт металоконструкції, що враховує вид і стан металоконструкції;  $k_1 = 1,0-1,3$ ;

$k_2$  - коефіцієнт умов експлуатації, що враховує умови, в яких експлуатується кран;  $k_2 = 1,0-1,2$ ;

$k_3$  - коефіцієнт "старості", що враховує "вік" крану;  $k_3 = 1,0-1,5$ ;

$k_4$  - коефіцієнт режиму роботи, що враховує інтенсивність експлуатації крану;  $k_4 = 1,0-1,4$ ;

$k_5$  - коефіцієнт складності конструкції крану;  $k_5 = 1,0-10,0$ ;

$D$  - діагностичний показник стану крану

$$D = (\alpha \cdot Z_1 + \beta \cdot Z_2 + \gamma \cdot Z_3), \quad (2)$$

де  $\alpha, \beta, \gamma$  - вагові коефіцієнти;

$Z_1, Z_2, Z_3$  - кількість, виявлених дефектів відповідно 1-й, 2-й і 3-й категорії.

Розрахункова величина рейтингу  $R$  розташовується між мінімальним значенням 0 і максимальним - 100. Прийнята шкала оцінки дозволяє по розрахунковому значенню рейтингу віднести обстежуваний кран до тієї або іншої групи його технічного стану.

Згідно інформації [10] за кордоном також проводять експертні обстеження вантажопідійомних кранів, але завдання експертних обстежень формулюється інакше. Типове формулювання завдання експертних обстежень приведене у

введенні до Міжнародного стандарту ISO 12482-1 [21]. Відзначається, що крани не можуть експлуатуватися невизначений час. Вони повинні експлуатуватися в межах заданих виробником обмежень і проводяться експертні обстеження. Терміни експертних обстежень вказуються виробником кранів.

Відомий закордонний виробник кранів фірма «Потен» (Франція) систематично проводить широкомасштабні експериментальні дослідження втомленості металевих конструкцій своїх кранів на натурних зразках і надає рекомендації в інструкціях з експлуатації кранів стосовно визначення ресурсу металевих конструкцій з появою видимих тріщин в основному металі елементів металоконструкцій кранів, вказуючи при цьому, що наявність таких тріщин на 90-99 % свідчить про закінчення ресурсу металевих конструкцій. В той же час вона попереджує про необхідність обережно оцінювати відпрацювання ресурсу з появою тріщин у зварних швах, адже їх опір втомленості досить змінний [22].

Також в цій роботі [22] вказується, що обстеження металевих конструкцій кранів, які відпрацювали нормативний термін експлуатації і відзначаються високою якістю виготовлення, рекомендується оцінювати технічний стан та залишковий ресурс за допомогою бальної системи, яку повинні робити експерти найбільш кваліфіковані у цій галузі.

Аналогічна думка висловлюється в роботі [23], де вказується, що для оцінки технічного стану вантажопідйомних кранів слід застосовувати оцінки в балах, а також зазначається, що оцінка залишкового ресурсу кожного конкретного крану є самостійною, відносно складною науково-технічною проблемою, а роботи з оцінки залишкового ресурсу повинні виконуватися експертами вищої кваліфікації, які мають відповідні знання, досвід самостійних розрахунків кранів та їх дослідження.

Відомо також методика оцінки технічного стану металоконструкцій вантажопідйомних кранів [24], яка базується на багатокритеріальному підході до оцінки технічного стану. Згідно методики технічний стан металоконструкції крану оцінюється за декількома параметрами, які завдяки застосуванню функції бажаності Харингтона зводяться до одного числового параметра. Це дозволяє здійснити індивідуальний підхід до оцінки технічного стану металоконструкції. Недоліком розробленої методики є те, що вона не враховує термін та умови експлуатації, режим роботи кранів.

Таким чином, підводячи підсумки розглянутих підходів до оцінки технічного стану металевих конструкцій вантажопідйомних кранів можна зробити висновок, що на даний час існує науково-обґрунтована методика оцінки технічного стану металевих конструкцій кранів, але вона потребує удосконалення.

**2.2. Основні положення концепції оцінки технічного стану вантажопідйомних кранів.** Як відомо, технічний стан вантажопідйомних кранів характеризується різними параметрами, число яких може доходити до декількох десятків. Число параметрів, що характеризують технічний стан кранів можна зменшити, якщо не брати до уваги параметри, що характеризують стан механізмів, приладів безпеки і електроустаткування кранів. Такий підхід буде правильним, бо на залишковий ресурс кранів ці параметри не впливають, оскільки вони є відновлюваними.

Тому, технічний стан кранів необхідно оцінювати по параметрах технічного стану їх металоконструкцій. Число параметрів, що характеризують технічний стан металевих конструкцій кранів також багаточисельне, що не дозволяє отримати комплексну (узагальнену) оцінку технічного стану металоконструкцій вантажопідйомних кранів.

В якості основних концептуальних положень (основного задуму) при розробці методики оцінки технічного стану металоконструкцій вантажопідйомних кранів прийнято:

- основний принцип експлуатації вантажопідйомних кранів - «безпечна експлуатація за технічним станом»;

- оцінка технічного стану вантажопідйомних кранів здійснюється по параметрам технічного стану металоконструкцій;

- параметрами технічного стану металоконструкцій кранів приймаються параметри, зміна яких (окремо, або в деякій сукупності) може призвести кран в непрацездатний або граничний стан;

- група параметрів технічного стану замінюється комплексним (узагальненим) параметром;

- встановлення назначеного ресурсу здійснюється згідно чисельного показника комплексного (узагальненого) параметра.

Наведені вище концептуальні положення лягли в основу удосконаленої методики оцінки технічного стану металоконструкцій вантажопідйомних кранів.

**2.3. Удосконалена методика оцінки технічного стану металоконструкцій вантажопідйомних кранів (загальні положення).** В якості об'єкта досліджень вибрані крани мостового типу, як найбільш поширений тип вантажопідйомних кранів які експлуатуються в Україні. Згідно даних Держгірпромнагляду України число мостових кранів складає більше ніж 50 % від загального числа кранів в Україні [2].

**2.3.1. Вибір параметрів, що характеризують технічний стан металоконструкцій кранів мостового типу.** Як вже зазначено вище, число параметрів, що характеризують технічний стан металевих конструкцій кранів мостового типу багато чисельне. До основних, на нашу думку, відносяться:

- величина нормальної напруги в металі;

- величина горизонтальних інерційних навантажень, діючих на металокожструкцію крану;
- загальні і місцеві залишкові деформації металокожструкції крану;
- механічні і корозійні руйнування елементів металокожструкції;
- механічні властивості і хімічний склад матеріалів металокожструкцій кранів;
- величина пружного прогину головних балок моста крану під навантаженням та ін.

Знаючи поточні значення параметрів технічного стану і закон їх зміни, можна оцінити час настання їх граничного стану.

**2.3.2. Розробка узагальненого (комплексного) параметра оцінки технічного стану крану.** Виходячи з положень концепції та враховуючи, що технічний стан крану характеризується декількома параметрами, виникає необхідність у використанні комплексного (узагальненого) параметра технічного стану.

При рішенні завдань з декількома змінними (параметрами) нами пропонується застосувати як комплексний показник так звану функцію бажаності Харингтона [25].

Під бажаністю  $d_i$  розуміють той або інший бажаний рівень параметра. На спеціальній шкалі (див. рис.) величина  $d_i$  може мінатися від 0 до 1.

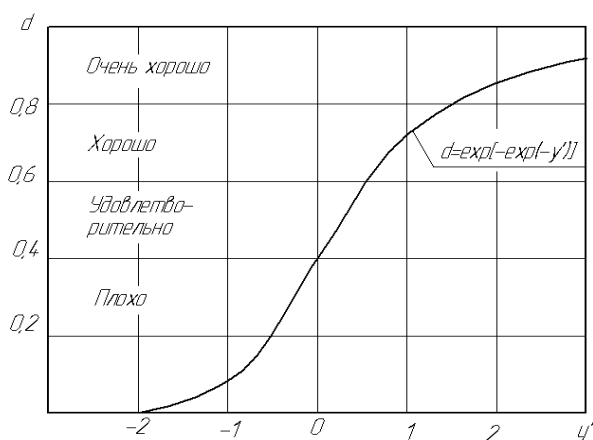


Рис. Шкала бажаності

Шкала виглядає таким чином:

$d = 1,00$  - максимально можливе значення параметра;

$d = 1,00 - 0,80$  - допустиме і чудове значення параметра;

$d = 0,80 - 0,60$  - допустиме і хороше значення параметра;

$d = 0,60 - 0,37$  - допустимий і задовільний рівень;

$d = 0,37 - 0$  - незадовільний рівень якості.

Значення  $d$  на шкалі бажаності можна зміщувати вгору або вниз, залежно від конкретних ситуацій.

Ідея використання функції бажаності як комплексного параметра технічного стану крану полягає в тому, що значення кожного з параметрів

технічного стану ( $y_i$ ), яких може бути скільки завгодно багато, переводяться у відповідні приватні бажаності ( $d_i$ ), після чого формується так звана узагальнена функція бажаності ( $D$ ), що є середне геометричне бажаностей окремих параметрів технічного стану

$$D = \sqrt[g]{d_1 \cdot d_2 \dots \cdot d_g}, \quad (3)$$

де  $g$  - число вибраних параметрів технічного стану крану.

В результаті узагальнена функція бажаності виявляється єдиним параметром оцінки технічного стану замість багатьох.

Значення приватних функцій (параметрів) бажаності  $d_1, d_2, d_3$  знаходяться переведенням вимірних значень вибраних параметрів технічного стану по формулі (4) в безрозмірні величини

$$d_i = e^{-(e^{-y'_i})}, \quad (4)$$

де  $y'_i$  - деяка безрозмірна величина, пов'язана (частіше лінійно) з відгуком  $y_i$

$$y'_i = a_0^* + a_1^* y_i, \quad (5)$$

Коефіцієнти  $a_0^*$  і  $a_1^*$  визначаються шляхом завдання двох значень функції відгуку  $y_i$ , відповідних базовим (граничним) значенням приватної функції бажаності  $d_i$ .

Формула (4) застосовна, коли параметр має одностороннє обмеження.

Якщо обмеження для параметра двосторонні, тобто мають вигляд

$y_{min} \leq y \leq y_{max}$ , функцію бажаності зручно задавати формулою:

$$d_i = e^{-\left(\frac{y'_i}{y_{max} - y_{min}}\right)^n}, \quad (6)$$

де  $n$  - позитивне число,

$$y'_i = \frac{2y_i - (y_{max} + y_{min})}{y_{max} - y_{min}}. \quad (7)$$

Показник ступені  $n$  можна вчислити, якщо задати деякому параметру  $y$  значення  $d$  (переважно в інтервалі  $0,6 < d < 0,9$ ), підрахувати по (6) відповідну величину  $d_i$ , а потім скористатися формулою:

$$n = \frac{\ln \ln \frac{1}{d}}{\ln |y|} \quad (8)$$

Вибираючи різні значення  $n$ , можна задавати різну кривизну кривої бажаності. Ця обставина дозволяє врахувати особливу важливість окремих параметрів технічного стану: для них  $n$  матиме більше значення, і малій зміні параметра поблизу обмежуючих границь відповідатиме різка зміна бажаності.

**2.3.3. Встановлення назначеного ресурсу крана (визначення терміну подальшої безпечної експлуатації).** Узагальнений параметр  $D$  технічного стану металлоконструкцій кранів дозволяє віднести обстежуваний кран до тієї або іншої групи його технічного стану. Набуте значення узагальненого параметра  $D$  технічного стану надалі служить для визначення коефіцієнта безпеки  $K_6$ , який визначається по формулі:

$$K_6 = \frac{1}{k_6 \cdot k_y \cdot k_p} \cdot D, \quad (9)$$

де  $k_6$  - коефіцієнт "віку" крану;  
 $k_y$  - коефіцієнт умов експлуатації;  
 $k_p$  - коефіцієнт режиму роботи.

Слід зазначити, що кількість коефіцієнтів може бути збільшена з урахуванням особливих умов експлуатації, а також призначення крану. Коефіцієнт безпеки  $K_6$  можна використовувати для визначення термінів подальшої безпечної експлуатації крану, який згідно [26] визначається по формулі:

$$T = T_n \cdot K_6 \quad (10)$$

де  $T_n$  - нормативний термін служби крану відповідно до його режиму роботи (згідно паспорта або нормативних документів),

$K_6$  - коефіцієнт безпеки крану.

### 3. Висновки

Проведений аналіз існуючих методів оцінки технічного стану вантажопідійомних кранів показав доцільність подальшого їх удосконалення. Оцінка технічного стану вантажопідійомних кранів повинна бути багатокритеріальною з урахуванням усіх реальних особливостей експлуатації кранів, що дозволить більш об'єктивно визначити термін подальшої безпечної експлуатації вантажопідійомних кранів.

### Література

1. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки». / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2001. – 6 с. – (Бібліотека офіційних видань).
2. Андриенко Н.Н. Куда іде́м, куда поворачиваем? [Текст] / Н.Н. Андриенко, В.Л. Корень, С.Я. Полнарв

// Подъёмные сооружения. Специальная техника, 2011. - № 7-8. – С. 20-21.

3. Методика проведения экспертного обследования кранов мостового типа. ОМД 00120253.001-2005. [Текст] / Методичні рекомендації. // Підйомно-транспортна академія наук України. – Харьков, 2005. - 157 с.
4. Попов Б.Е. Магнитная диагностика и остаточный ресурс подъёмных сооружений. [Текст] / Б.Е. Попов, В.С. Котельников и др. // Безопасность труда в промышленности, 2004. - № 4. – С. 33-38.
5. Попов В.А. Оценка напряжённо-деформированного состояния металлоконструкций грузоподъёмных кранов по изменениям коэрцитивной силы металла. [Текст] / В.А. Попов, С.А. Губский и др. // Подъёмные сооружения. Специальная техника, 2005. - № 5. - С. 24-29.
6. Стариков М.А. Модернизированный метод оценки остаточного ресурса крановых металлоконструкций по параметрам коэрцитивной силы и коэффициента вариации твёрдости. [Текст] / М.А. Стариков, Ю.А. Никифоров. Вісник Одеського національного морського університету, 2011. № 32. – С. 118-122.
7. Григоров О.В. Трудности оценки эксплуатационной пригодности металлоконструкций кранов с разными толщинами элементов магнито-коэрцитивным методом. [Текст] / О.В. Григоров, Н.О. Петренко, С.О. Губский. Подъёмно-транспортная техника, 2013. - № 1. – С. 22-31.
8. Григоров О.В. Метод анализа замеров коэрцитивной силы при технической диагностике металлоконструкций кранов с разными толщинами элементов. [Текст] / О.В. Григоров, В.А. Попов, С.А. Губский и др. // Метрология, 2009. - № 3. – С. 34-39.
9. Безлюдько Г. Я. Оценка эксплуатационного ресурса металлоконструкций грузоподъёмных машин по измерениям коэрцитивной силы металла. [Текст] / Г.Я. Безлюдько, Б.Е. Попов, В.А. Попов // Подъёмные сооружения. Специальная техника, 2002. - № 1-2. - С. 14-15.
10. Котельников В.С. К вопросу экспертных обследований грузоподъёмных кранов. [Текст] / В.С. Котельников, И.М. Еремин, А.А. Зарецкий и др. // Подъёмные сооружения. Специальная техника, 2002. - № 4. - С. 27-30.
11. Попов Б.Е. Магнитный контроль структуры и напряжённо-деформированного состояния металлоконструкций. [Текст] / Б.Е. Попов, Е.А. Левин, Г.Я. Безлюдько и др. // Подъёмные сооружения. Специальная техника, 2002. - № 12. - С. 20-22
12. Котельников В.С. Практика магнитной диагностики подъёмных сооружений при проведении экспертизы промышленной безопасности. [Текст] / В.С. Котельников, Б.Е. Попов, Г.Я. Безлюдько // Подъёмные сооружения. Специальная техника, 2003. - № 7. - С. 18-19.
13. Попов В.А. Исследование и практика применения магнитной структуроскопии. [Текст] / В.А. Попов // Подъёмные сооружения. Специальная техника, 2004. - № 2. - С. 16-17.
14. Алексеев В.В. К вопросу применения магнитной структуроскопии при оценке напряжённо-деформированного состояния металлоконструкции. [Текст] / В.В. Алексеев, С.А. Губский и др. // Подъёмные сооружения. Специальная техника, 2005 г. № 3. - С. 34-35.

15. Дубов А.А. Оценка ресурса грузоподъёмных машин в соответствии с рекомендациями нового национального стандарта ГОСТ Р 53006-2008. [Текст] / А.А. Дубов. // Электронный журнал. Предотвращение аварий зданий и сооружений, 2013. Режим доступа. [www.pamag.ru/prensa/orgm-gost](http://www.pamag.ru/prensa/orgm-gost).
16. Дубов А.А. О проблеме измерения характеристик напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов сложных технических объектов. Энергетическая концепция диагностики напряженно-деформированного состояния материалов. [Текст] / А.А. Дубов., В.Т. Власов. // Электронный журнал. Энергодиагностика, 2013. Режим доступа. [www.energodagnostika.ru/ru/orgm-gost](http://www.energodagnostika.ru/ru/orgm-gost).
17. Родюшкин В.М. От поиска дефектов к поиску преддефектного состояния. [Текст] / В.М. Родюшкин. // Вестник научно-технического развития, 2009. - № 4 (20). - С.51-56.
18. Иванов В.Н. Методология определения остаточного ресурса работы грузоподъёмных кранов [Текст] / В.Н. Иванов. // Подъёмные сооружения. Специальная техника, 2002. - № 1-2 (6). - С. 35-37.
19. Иванов В.Н. О методике технического диагностирования грузоподъёмных кранов [Текст] / В.Н. Иванов. // Подъёмные сооружения. Специальная техника, 2005. - № 9. - С. 24-25.
20. Никитин К.Д. Состояние грузоподъёмных кранов с истекшими нормативными сроками и меры по повышению уровня их промышленной безопасности [Текст] / К.Д. Никитин, Г.Н. Горбунов. // Подъёмные сооружения. Специальная техника, 2003. - № 11. - С. 14-15.
21. ISO 12482-1: 1995 Cranes-Condition monitoring – Part 1: General.
22. Котельников В.С. Концепция оценки остаточного ресурса металлических конструкций грузоподъёмных кранов, отработавших нормативный срок службы. [Текст] / В.С. Котельников, Ю.А. Ерёмин, А.А. Зарецкий и др. // Безопасность труда в промышленности, 2000. - № 10. - С. 41-46.
23. Зарецкий А.А. Определение остаточного ресурса грузоподъёмных кранов. [Текст] / А.А. Зарецкий, А.И. Инденбаум. // Подъёмные сооружения и специальная техника, 2012. - № 1. - С. 12-15.
24. Бойко Г.А. Методика оценки технического состояния металлоконструкций грузоподъёмных кранов. [Текст] / Г.А. Бойко // Вісник наукових праць Східноукраїнського національного університету імені В. Даля, 2011. - Частина 1 (155). - С. 29-35.
25. Harrington E. The desirability function. – Industrial Quality Control, 1965. - № 21. - № 10. - P. 494-498.
26. Шимановский А.В. Назначение срока проведения первого обследования для определения остаточного ресурса стальных конструкций. [Текст] / А.В. Шимановский, С.В. Колесниченко. // Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій ім. В.Н. Шимановського, 2009. – Випуск 3. – С. 13-20.
3. Metodika provedenija jekspertnogo obsledovanija kranov mostovogo tipa. OMD 00120253.001-2005. [Tekst] / Metodichni rekomendacii. // Pidjomno-transportna akademija nauk Ukraini. – Har'kov, 2005. - 157 s.
4. Popov B.E. Magnitnaja diagnostika i ostatochnij resurs pod#jomnyh sooruzhenij. [Tekst] / B.E. Popov, V.S. Kotel'nikov i dr. // Bezopasnost' truda v promyshlennosti, 2004. - № 4. – S. 33-38.
5. Popov V.A. Ocenka naprjazhjonno-deformirovannogo sostojanija metallokonstrukcij gruzopod#jomnyh kranov po izmenenijam kojercitivnoj sily metalla. [Tekst] / V.A. Popov, S.A. Gubskij i dr. // Pod#jomnye sooruzhenija. Special'naja tehnika, 2005. - № 5. - S. 24-29.
6. Starikov M.A. Modernizirovannyj metod ocenki ostatochnogo resursa kranovyh metallokonstrukcij po parametram kojercitivnoj sily i kojefficienta variacii tvjordosti. [Tekst] / M.A. Starikov, Ju.A. Nikiiforov. Visnik Odes'kogo nacional'nogo mors'kogo universitetu, 2011. № 32. – S. 118-122.
7. Grigorov O.V. Trudnoshhi ocinki ekspluatacijnoї pridadnosti metalokonstrukcij kraniv z rizmimi tovshhinami elementiv magnito-koercitivnim metodom. [Tekst] / O.V. Grigorov, N.O. Petrenko, S.O. Gubs'kij. Pod#jomno-transportnaja tehnika, 2013. - № 1. – S. 22-31.
9. Grigorov O.V. Metod analiza zamerov kojercitivnoj sily pri tehnichekoj diagnostike metallokonstrukcij kranov s rznymi tolshhinami jelementov. [Tekst] / O.V. Grigorov, V.A. Popov, S.A. Gubskij i dr. // Metrologija, 2009. - № 3. – S. 34-39.
10. Bezljud'ko G. Ja. Ocenka jekspluatacionnogo resursa metallokonstrukcij gruzopod#emnyh mashin po izmerenijam kojercitivnoj sily metalla. [Tekst] / G.Ja. Bezljud'ko, B.E. Popov, V.A. Popov // Pod#emnye sooruzhenija. Special'naja tehnika, 2002. - № 1-2. - S. 14-15.
11. Kotel'nikov V.S. K voprosu jekspertnyh obsledovanij gruzopod#emnyh kranov. [Tekst] / V.S. Kotel'nikov, I.M. Eremin, A.A. Zareckij i dr. // Pod#emnye sooruzhenija. Special'naja tehnika, 2002. - № 4. - S. 27-30.
12. Popov B.E. Magnitnyj kontrol' struktury i naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija metallokonstrukcij. [Tekst] / B.E. Popov, E.A. Levin, G.Ja. Bezljud'ko i dr. // Pod#emnye sooruzhenija. Special'naja tehnika, 2002. - № 12. - S. 20-22
13. Kotel'nikov V.S. Praktika magnitnoj diagnostiki pod#emnyh sooruzhenij pri provedenii jekspertizy promyshlennoj bezopasnosti. [Tekst] / V.S. Kotel'nikov, B.E. Popov, G.Ja. Bezljud'ko // Pod#emnye sooruzhenija. Special'naja tehnika, 2003. - № 7. - S. 18-19.
14. Popov V.A. Issledovanie i praktika primenenija magnitnoj strukturoskopii. [Tekst] / V.A. Popov // Pod#emnye sooruzhenija. Special'naja tehnika, 2004. - № 2. - S. 16-17.
15. Alekseev V.V. K voprosu primenenija magnitnoj strukturoskopii pri ocenke naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija metallokonstrukcij. [Tekst] / V.V. Alekseev, S.A. Gubskij i dr. // Pod#emnye sooruzhenija. Special'naja tehnika, 2005 g. № 3. - S. 34-35.
16. Dubov A.A. Ocenka resursa gruzopod#jomnyh mashin v sootvetstvii s rekomendacijami novogo nacional'nogo standarta GOST R 53006-2008. [Tekst] / A.A. Dubov. // Jelektronnyj zhurnal. Predotvrashhenie avarij zdaniy i sooruzhenij, 2013. Rezhim dostupa. [www.pamag.ru/prensa/orgm-gost](http://www.pamag.ru/prensa/orgm-gost).
17. Dubov A.A. O probleme izmerenija harakteristik naprjazhenno-defor-mirovannogo sosotojanija konstrukcionnyh materialov slozhnyh tehniceskikh

### References

1. Zakon Ukraini «Pro ob'ekti pidvishhenoi nebezpeki». / Verhovna Rada Ukraini. – Ofic. vid. – K.: Parlam. vid-vo, 2001. – 6 s. – (Biblioteka oficijnih vidan').
2. Andrienko N.N. Kuda idjom, kuda povorachivaem? [Tekst] / N.N. Andrienko, V.L. Koren', S.Ja. Polnarev // Pod#jomnye sooruzhenija. Special'naja tehnika, 2011. - № 7-8. – С. 20-21.

- ob#ektov. Jenergeticheskaja koncepcija diagnostiki naprjazhjonno-deformirovannogo sostojanija materialov. [Tekst] / A.A. Dubov., V.T. Vlasov. // Jelektronnyj zhurnal. Jenergodagnostika, 2013. Rezhim dostupa. www.energodiagnostika.ru/ru/orgm-gost.
18. Rodjushkin V.M. Ot poiska defektov k poisku preddefektnogo sostojanija. [Tekst] / V.M. Rodjushkin. // Vestnik nauchno-tehnicheskogo razvitija, 2009. - № 4 (20). – S.51-56.
  19. Ivanov V.N. Metodologija opredelenija ostatochnogo resursa raboty gruzopod#jomnyh kranov [Tekst] / V.N. Ivanov. // Pod#jomnye sooruzhenija. Special'naja tehnika, 2002. – № 1-2 (6). – S. 35-37.
  20. Ivanov V.N. O metodike tehničeskogo diagnostirovanija gruzopod#jomnyh kranov [Tekst] / V.N. Ivanov. // Pod#jomnye sooruzhenija. Special'naja tehnika, 2005. - № 9. - S. 24-25.
  21. Nikitin K.D. Sostojanie gruzopod#jomnyh kranov s istekshimi normativnymi srokami i mery po povyšeniju urovnja ih promyshlennoj bezopasnosti [Tekst] / K.D. Nikitin, G.N. Gorbunov. // Pod#jomnye sooruzhenija. Special'naja tehnika, 2003. - № 11. - S. 14-15.
  22. ISO 12482-1: 1995 Cranes-Condition monitoring – Part 1: General.
  23. Kotel'nikov V.S. Koncepcija ocenki ostatochnogo resursa metallicheskih konstrukcij gruzopod#jomnyh kranov, otrabotavshih normativnyj srok sluzhby. [Tekst] / V.S. Kotel'nikov, Ju.A. Erjomin, A.A. Zareckij i dr. // Bezopasnost' truda v promyshlennosti, 2000. - № 10. – S. 41-46.
  24. Zareckij A.A. Opredelenie ostatochnogo resursa gruzopod#jomnyh kranov. [Tekst] / A.A. Zareckij, A.I. Indenbaum. // Pod#jomnye sooruzhenija i special'naja tehnika, 2012. - № 1. – S. 12-15.
  25. 24. Bojko G.A. Metodika ocenki tehničeskogo sostojanija metallokonstrukcij gruzopod#jomnyh kranov. [Tekst] / G.A. Bojko // Visnik naukovih prac' Shidnoukrains'kogo nacional'nogo universitetu imeni V. Dalja, 2011. – Chastina 1 (155). – S. 29-35.
  26. Harrington E. The desirability function. – Industrial Quality Control, 1965. - № 21. - № 10. - R. 494-498.
  27. Shimanovskij A.V. Naznachenie sroka provedenija pervogo obsledovanija dlja opredelenija ostatochnogo resursa stal'nyh konstrukcij. [Tekst] / A.V. Shimanovskij, S.V. Kolesnichenko. // Zbirnik naukovih prac' Ukraïns'kogo naukovo-doslidnogo ta proektnogo institutu stalevih konstrukcij im. V.N. Shimanov'skogo, 2009. – Vipusk 3. – S. 13-20.

**Бойко Г.А., Бойко Т.В., Епихин Р.А. Методы оценки технического состояния грузоподъемных кранов.**

*Проведен анализ современных методов оценки технического состояния грузоподъемных кранов. Приводятся преимущества и недостатки существующих методов. Акцентируется внимание на том, что оценка технического состояния кранов, которые исчерпали нормативный ресурс, должна носить индивидуальный характер, при этом оценка технического состояния должна проводиться по параметрам технического состояния. Приводится концепция оценки технического состояния грузоподъемных кранов в качестве основных концептуальных положений (основного замысла) при разработке методики оценки технического состояния металлоконструкций грузоподъемных кранов принято:*

*- основной принцип эксплуатации грузоподъемных кранов - "безопасная эксплуатация по техническому состоянию";*

*- оценка технического состояния грузоподъемных кранов осуществляется по параметрам технического состояния металлоконструкций;*

*- параметрами технического состояния металлоконструкций кранов принимаются параметры, изменение которых (отдельно, или в некоторой совокупности) может привести кран в неработоспособное или предельное состояние;*

*- группа параметров технического состояния заменяется комплексным (обобщенным) параметром.*

*Приведенные концептуальные положения легли в основу усовершенствованной методики оценки технического состояния металлоконструкций грузоподъемных кранов.*

**Ключевые слова:** *техническое состояние, метод, критерии, оценка, параметры, кран.*

**Bojko G., Bojko T., Epihin R. Methods of evaluation of the technical state of load-lifting cranes**

*The analysis of modern methods of estimation of the technical state of loading cranes is conducted. Advantages over and lacks of existent methods are brought. Attention is accented on that the estimation of the technical state of faucets that produced a normative resource must carry individual character, here the estimation of the technical state must be conducted on the parameters of the technical state. Conception over of estimation of the technical state of loading cranes is brought As substantive conceptual provisions (basic intention) at development of methodology of estimation of the technical state of steel structures of load-lifting cranes it is accepted:*

*- basic principle of exploitation of load-lifting cranes is "safe exploitation after the technical state";*

*- the estimation of the technical state of load-lifting cranes comes true for to the parameters of the technical state of steel structures;*

*- the parameters of the technical state of cranes are taken parameters, the change of which (separately, or in some combination) can cause the crane to be inoperative or limit state;*

*- the group of parameters of the technical state is replaced by an integrated (generalized) parameter;*

*The presented conceptual provisions formed the basis of an improved methodology for assessing the technical condition of steel structures of load-lifting cranes.*

**Key words:** *technical condition, method, criteria, evaluation, parameters, crane.*

**Бойко Григорій Олексійович** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту і підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

**Бойко Тетяна Василівна** – старший викладач кафедри залізничного, автомобільного транспорту і підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

**Єпихін Роман Анатолійович** – студент кафедри залізничного, автомобільного транспорту і підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

*Рецензент:* д.т.н., д.е.н., проф. **Рамазанов С.К.**

Стаття подана 19.04.2018.

УДК 621.384

## УПРОЧНЕНИЕ ОПОРНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТА МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Василенко Н.А., Гончаров В.В., Климах А.А.

## HARDENING TRANSPORT SUPPORT PARTS BY IONIC IMPLANTATION METHOD

Vasilenko N.A., Honcharov V.V., Klimash A.A.

*Статья посвящена исследованию изменения структуры и свойств шарикоподшипниковой стали ШХ-15, ключевого материала опор вращения транспортных механизмов, которые вызваны обработкой поверхностного слоя ионами азота и титана. В результате обработки поверхностного слоя твердость композиции покрытие – подложка увеличена в два раза по сравнению с твердостью основного материала и составила 4,2 – 4,3 ГПа, энергия адгезии составила 1,89 ГПа. Оптимальное время обработки ионной имплантацией для получения стойких к истиранию нитридных покрытий составило 50 – 60 минут. Толщина модифицированного слоя составило 1 мкм.*

**Ключевые слова:** ионная имплантация, модифицированный слой, нитриды, твердость, адгезия.

**Введение.** В последнее время, в ряде отраслей техники, в том числе и транспортной, для упрочнения поверхностей сталей и чугунов используют нитридные модифицированные покрытия, которые обладают рядом ценных свойств [1-3]. Однако, применение этих нитридных покрытий в различных областях машиностроения, сдерживается их невысокой надежностью в процессе эксплуатации деталей, поэтому изучение структуры, твердости и адгезии нитридных покрытий, полученных методом ионной имплантации (ИИ) является актуальным.

**Целью работы** является исследование модифицированных защитных покрытий нитрида титана методом, основанным на бомбардировке поверхности подложки ионами высоких и средних энергий. Изучение структуры, кинетики роста и свойств этих покрытий, а также их использования в качестве защитных покрытий опорных деталей машин и механизмов.

**Техника эксперимента.** Для получения защитных покрытий на деталях транспортных механизмов в подложку имплантировались ионы азота и титана. В качестве подложек использованы образцы стали ШХ-15, широко применяемой в

производстве опор вращения. Имплантация азота вглубь стальных подложек производилась при комнатной температуре и рабочем давлении  $5,32 \cdot 10^{-2}$  Па. В качестве мишени использовали титан. Подложки были взвешены до и после имплантации на аналитических весах модели ВЛР-200г.

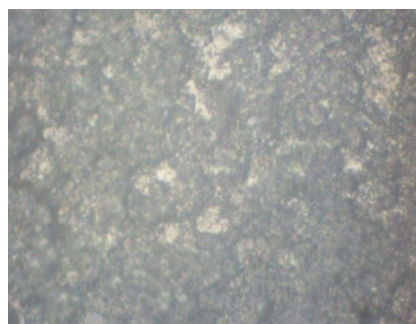
Для получения качественных твердых и износостойких покрытий важно подобрать правильно режим имплантации. В литературных данных [4] указано, что износостойкость покрытий максимальная при дозе внедряемых ионов  $D=10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>. Так как доза внедряемых ионов непосредственно зависит от времени, то для обработки были взяты образцы стали ШХ-15 в количестве 25 штук и произведена имплантация при режимах:  $U_p = 400$  В,  $I_p = 0,5$  А,  $U_m = 2$  кВ,  $I_m = 50$  мА,  $U_{\text{подл}} = 25$  кВ,  $I_{\text{подл}} = 35$  мА. Время имплантации варьировалось от 3 до 120 минут.

Доза ионов, внедренных в подложку, составляла  $1,83 \cdot 10^{16} - 7,34 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>.

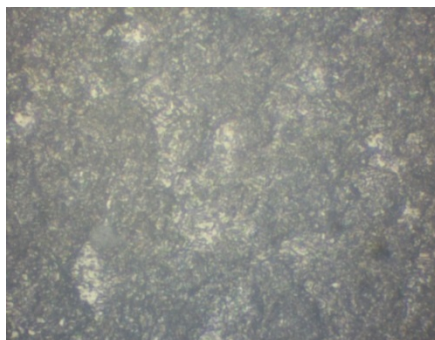
**Результаты эксперимента и их обсуждение.** На рисунке 1 показана структура стали ШХ-15 после 10 и 40 мин имплантации нитрида титана.

Из рисунка видно, что при использовании титановой мишени на конструкционных легированных стальных подложках происходит рост фазы нитрида титана и в данном случае зерно укрупняется. Однако укрупнение зерна в данном случае не приводит к снижению твердости, износостойкости и адгезии.

На рис. 2 приведена временная зависимость толщины модифицированного покрытия на подложке стали ШХ-15. На графике наблюдается смешанный закон роста слоя – сначала покрытие растет по линейному закону, а после 40 мин имплантации наблюдается параболический закон роста. В результате этого при данных условиях образуется слой толщиной 0,9 мкм (рис.3).

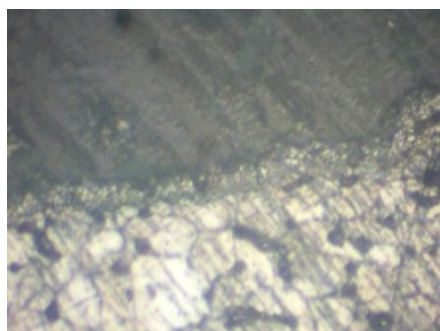


а

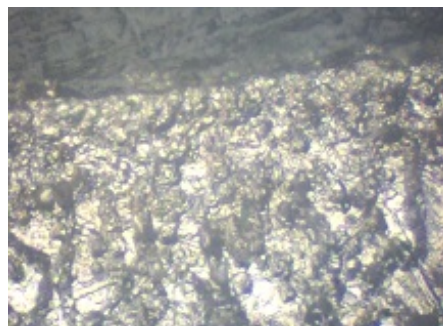


б

Рис. 1. Структура стали ШХ-15: а – после 10 мин имплантации x500; б – после 40 мин имплантации x500



а



б

Рис. 3. Оптический снимок поперечного среза модифицированного покрытия на стали ШХ-15 при: а – 50 мин имплантации; б – 90 мин имплантации x2000

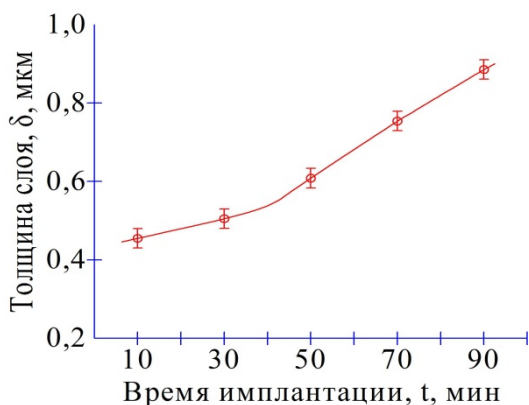
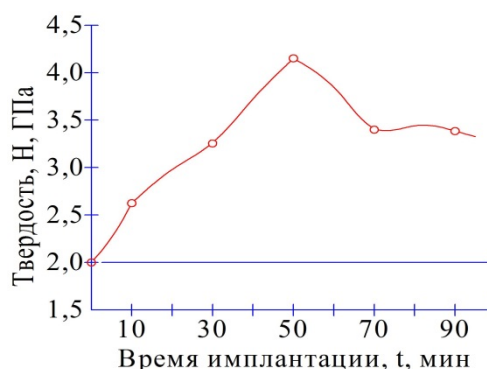


Рис. 2. График зависимости толщины модифицированного покрытия на подложках стали ШХ-15 от времени имплантации ионов азота и титана

Временная зависимость твердости модифицированного покрытия стали ШХ-15 имеет максимум при 50 мин имплантации (рис.4). При дальнейшей модификации поверхности (60-90 мин) твердость системы снижается. Связано это, на наш взгляд, с тем, что с увеличением времени облучения поверхности (более 60 мин) в поверхностном слое возникают значительные внутренние напряжения из-за непрерывного поступления атомов азота и титана вглубь подложки. В результате решетка искажается, возникают внутренние дефекты, что, в свою очередь, приводит к снижению твердости. Значения микротвердости на 10-50 мин имплантации имеют в 2,4 раза большие значения, чем твердость необработанной подложки. Максимальная твердость равна 4,15 ГПа



—○— Твердость композиции покрытие- подложка  
— Твердость подложки

Рис. 4. График зависимости твердости модифицированного покрытия стали ШХ-15 от времени имплантации нитридом титана

Для оценки адгезии пленок были взяты образцы при t = 10 - 90 мин имплантации, данные приведены в таблице.

Зависимость величины адгезии от времени имплантации при использовании мишени титана (рис.5) имеет линейный характер. Однако величина адгезии в 2 раз выше при использовании подложки из стали ШХ-15, чем при использовании подложки из конструкционной стали ВСт3сп [5]. На наш взгляд это связано с тем, что в подложке, легированной хромом при бомбардировке атомами азота интенсивно формируется фаза нитрида хрома

в модифицированном слое. Ионы азота, достигая подложки, в поверхностном слое встречают не только атомы железа, но также атомы хрома и вступают с ними во взаимодействие. В результате этого фазы нитрида железа и хрома формируются примерно одинаковый промежуток времени и с увеличением времени имплантации диффундируют вглубь стальной подложки.

Таблица  
Оценка величины адгезии модифицированных нитридных покрытий, ГПа

Время, мин	Результат измерения, дел.			Энергия адгезии, ГПа		
	15 г	25 г	35 г	15 г	25 г	35 г
0	65	70	78	0,67	0,97	1,09
20	45	56	75	1,4	1,51	1,18
30	42	50	67	1,61	1,89	1,48
40	46	53	65	1,34	1,68	1,57
50	50	61	79	1,14	1,27	1,06
60	43	62	72	1,54	1,23	1,28
70	47	60	69	1,29	1,31	1,39
80	43	53	64	1,54	1,68	1,62
90	47	62	75	1,29	1,23	1,18
Максимальное значение				1,61	1,89	1,62

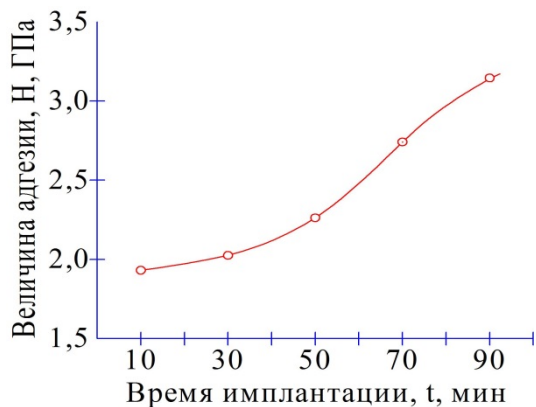
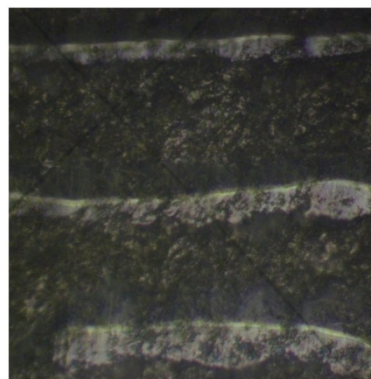


Рис. 5. График зависимости величины адгезии модифицированного покрытия стали ШХ-15 от времени имплантации нитридом титана

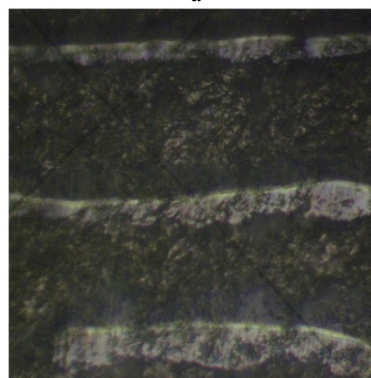
Результаты царапания поверхности покрытия указывают на увеличение величины адгезии (рис. 6).

Очевидно, что происходит сужение канавки.

**Выводы.** Таким образом, при имплантации ионов азота и титана в поверхность материалов опорных деталей, получается модифицированный слой толщиной до 1 мкм, обладающей высокой твердостью и адгезией. Возможность легкой смены рабочего газа и мишеней обеспечивает получение многослойных структур (карбидов, нитридов и т.д.). Таким образом, упрочнение методом ионной имплантации деталей транспортных механизмов обеспечивает им высокую надежность, износостойкость и др. эксплуатационные характеристики.



а



б

Рис. 6. Результаты царапания поверхности покрытий нитрида титана на стали ШХ-15 при нагрузке на индентор 15 г: а – время имплантации 20 мин; б – время имплантации 90 мин х 800

#### Л и т е р а т у р а

- Pierson H.O. Handbook of refractory carbides and nitrides: properties, characteristics, processing and application / H.O. Pierson - Westwood-New Jersey: Noyes Publ.1996.
- P. Le Clair and G.P. Berera Moodera. // Thin Solid Films. - 2000. – Vol. 376. - №1/2. – P. 9 – 15.
- Кляхина Н.А. Зависимость адгезионных свойств нитридных пленок от способа их получения // Упрочняющие технологии и покрытия. – Москва : Изд-во «Машиностроение», 2009. - № 6 (54). - С. 19 – 22.
- Ионная имплантация в полупроводники и другие материалы [Текст] : сборник статей / Перевод с англ. под ред. д-ра физ.-мат. наук проф. В.С.Вавилова. – Москва : Мир, 1980. - 332 с.
- Дзюба В.Л., Кляхина Н.А., Васецкая Л.А. Исследование влияния режимов имплантации ионов на физико-механические свойства стали // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ : Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2009. - № 5 (135). - С. 249 - 253.

## References

1. Pierson H.O. Handbook of refractory carbides and nitrides: properties, characteristics, processing and application / H.O. Pierson - Westwood-New Jersey: Noyes Publ.1996.
2. P. Le Clair and G.P. Berera Mooder. // Thin Solid Films. - 2000. - Vol. 376. - №1/2. - P. 9 - 15.
3. Klyakhina N.A. Dependence of adhesion properties of nitride films on the method of their production // Hardening technologies and coatings.
4. Ion implantation in semiconductors and other materials [Text]: collection of articles / Translated from English. Ed. Doctor of Phys.
5. Dzyuba VL, Klyakhina NA, Vasetskaya L.A. Investigation of the influence of ion implantation regimes on the physicomaterial properties of steel // News of the Scidukraukensky National University Volodymyr Dahl. - Луганськ: Вид-во ЧНУ ім. V. Dahl, 2009. - No. 5 (135). - P. 249 - 253.

**Василенко Н.П., Гончаров В.В., Климаш А.А.**  
**Зміцнення опорних деталей транспорту методом іонної імплантації**

*Стаття присвячена дослідженню зміни структури і властивостей шарикопідшипникової сталі ШХ-15, ключового матеріалу опор обертання транспортних механізмів, які викликані обробкою поверхневого шару іонами азоту і титану. В результаті обробки поверхневого шару твердість композиції покриття - підкладка збільшена в два рази в порівнянні з твердістю основного матеріалу і склала 4,2 - 4,3 ГПа, енергія адгезії склала 1,89 ГПа. Оптимальний час обробки іонної імплантацією для отримання стійких до стирання нітридних покриттів*

*склало 50 - 60 хвилин. Товщина модифікованого шару склала 1 мкм.*

*Ключові слова* іонна імплантація, модифікований шар, нітриди, твердість, адгезія.

**Vasilenko N.A., Honcharov V.V., Klimash A.A.**  
**Hardening transport support parts by ionic implantation method**

*The article is devoted to the study of changes in the structure and properties of ball-bearing steel ШХ-15, the key material of the bearings of the rotation of transport mechanisms, which are caused by the treatment of the surface layer by nitrogen and titanium ions. As a result of surface layer treatment, the hardness of the coating-substrate composition was doubled compared to the hardness of the base material and was 4.2 to 4.3 GPa, the adhesion energy was 1.89 GPa. Optimum processing time by ionic implantation for obtaining abrasion resistant nitride coatings was 50 - 60 minutes. The thickness of the modified layer was 1 μm.*

*Keywords:* ionic implantation, modified layer, nitrides, hardness, adhesion.

**Василенко Н.П.** – к.ф.-м.н., завідувач кафедри "Загальна фізика та технічна механіка", Інститут хімічних технологій ЧНУ ім. В.Даля

**Гончаров В.В.** – к.х.н., доцент кафедри "Медична та біологічна фізика, медична інформатика та біостатистики, ДЗ "Луганський державний медичний університет"

**Климаш А.О.** – к.т.н., доцент кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та ПТМ», ЧНУ ім. В.Даля

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 11.04.2018.

УДК 629.4.077-592

## ДО ПИТАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГАЛЬМІВНОЇ ВАЖІЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ВАГОНА-ХОПЕРА

Волошин Д.І., Афанасенко І.М., Дерев'янчук Я.В.

## THE QUESTION OF THE HOPPER-CAR MECHANICAL BRAKE ELEMENTS IMPROVING

Voloshin D., Afanasenko I., Derevianchuk Ya.

У статті проаналізовано технічні та конструктивні недоліки існуючої конструкції гальмівної важільної передачі вагона-хопера. Розраховані основні зусилля, що діють на важелі при використанні різних типів гальмівних колодок. Проведено оцінку їх напружено-деформованого стану. Запропоновано варіант оптимізації конструкції важелів за допомогою програмного комплексу Solid Edge Siemens PLM Software. Зроблено висновок, що удосконалення конструкції елементів гальмівної важільної передачі вагона-хопера дозволить зменшити їх масу, розміри та вартість.

**Ключові слова:** гальмівна важільна передача, вагон-хопер, гальмові колодки, міцність, оптимізація.

**Вступ.** Гальма є одним з основних вузлів, що забезпечують безпеку руху на залізничному рухомому складі. Вони мають надійно працювати в різних експлуатаційних умовах та забезпечувати

необхідні режими гальмування при стоянці та русі поїзда.

Гальмова важільна передача (ГВП) вагонів утворює систему важелів, тяг, затяжок, триангелів, що рівномірно передають навантаження на фрикційні елементи гальма від штока гальмівного циліндра або привода ручного гальма. Удосконалення гальмівної важільної передачі дозволяє спростити її конструкцію, технічне обслуговування та ремонт, зменшить вагу і вартість її елементів, а також покращити безпеку руху.

**Постановка проблеми.** Вантажні вагони-хопери мають несиметричну гальмівну важільну передачу ГВП з одностороннім натисненням колодок. Позитивними якостями таких систем у порівнянні з системами двостороннього натиснення колодок є менша маса і простіша будова. Схема ГВП вантажного вагона-хопера для цементу, зерна, мінеральних добрив зображена на рис. 1.

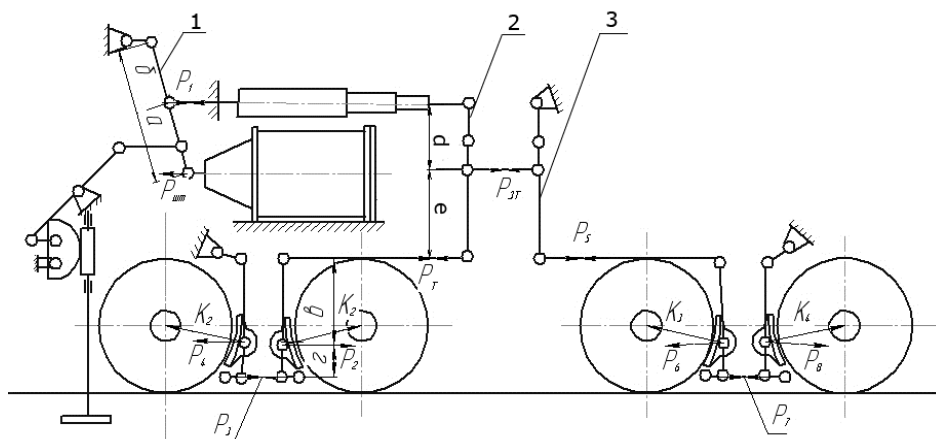


Рис. 1. Схема гальмівної важільної передачі вагонів-хоперів (для цементу, зерна, мінеральних добрив)

1 – перший важіль; 2, 3 – проміжні важелі;  $P_{um}$  – сила від штока гальмівного циліндра;

$P_1$  – сила на авторегуляторі;  $P_m$  – сила на затяжці;  $P_n$  – сила від тяги до вертикальних важелів

На рухомому складі найбільш розповсюджені чавунні та композиційні гальмівні колодки.

Більшість пасажирських вагонів обладнана чавунними колодками. На вантажних вагонах-хоперах застосовують композиційні гальмівні колодки. Вони є більш зносостійкими, що спрощує технічне обслуговування ГВП.

Вертикальні важелі мають отвори, які дозволяють змінювати передаточне число ГВП. При використанні чавунних гальмівних колодок гальмівна важільна передача має більш високе передаточне число. Її елементи передають більші сили та мають більші габарити, масу та вартість. Додаткові отвори, для перемикання передаточного числа, послаблюють важелі та створюють можливість помилкового встановлення завищеного передаточного числа для композиційних колодок. Збільшене зусилля притискання композиційних гальмівних колодок призводить до пошкодження поверхні кочення коліс та їх заклинювання. Дефекти на поверхні кочення коліс руйнують як колесо, так і рейкову колію, що загрожує безпеці руху.

Запропоноване удосконалення важелів ГВП під композиційні колодки для вагонів-хоперів дозволить полегшити вагу, спростити їх конструкцію, технічне обслуговування і ремонт, зменшити вартість і покращити показники безпеки руху.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Удосконаленню гальмівного обладнання присвячені праці П. С. Анісімова [1], В. Р. Асадченко [2], Д. В. Дмитрієва [3], А. М. Бабаєва, Е. І. Галая, Е. Е. Галая [4] та інших науковців. Займалися дослідженням роботи композиційних гальмівних колодок та сприяли їх широкому впровадженню В. Г. Іноземцев, В. М. Казаринов, В. Ф. Ясенцев, Л. О. Вуколов [5, 7]. Питання удосконалення та оптимізації елементів рухомого складу розглядаються в працях О. В. Фоміна [15], М. Б. Кельріха та інших.

**Мета статті.** Проаналізувати технічні і конструкційні недоліки гальмової важільної передачі вагонів-хоперів. Розглянути сили, що діють на важелі, та оптимізувати їх для роботи з сучасними композиційними колодками.

**Результати досліджень.** Для обґрунтованого дослідження доцільності удосконалення ГВП авторами проведена оцінка зусиль, що діють у конструкції важільної передачі вагона-хопера при різних типах гальмівних колодок. Розраховані на міцність за допомогою скінчено-елементного методу (СЕМ) найбільш вагомі елементи передачі. Використовуючи можливості програмного комплексу реалізований приклад оптимізації форми елементів ГВП.

Максимальні зусилля, що діють на штоці гальмівного циліндра при  $i$ -тому типі гальмівних колодок можна визначити згідно [9] за відомою формулою

$$P_{um}^i = p^i \frac{\pi d^2}{4}, \tag{1}$$

де  $p^i$  – тиск у гальмівному циліндрі при  $i$  – тому типі гальмівних колодок, МПа, згідно [6] допустима величина тиску при композиційних колодках  $p^k = 340 \text{ кПа}$ , для чавунних колодок  $p^v = 450 \text{ кПа}$ .

$d$  – діаметр штоку гальмівного циліндра, м, для вагонів-хоперів  $d = 0,356 \text{ м}$ .

Зусилля  $P_1$  (рис. 1), що діє на важелі 1, вздовж осі авторегулятора ГВП, при різних типах гальмівних колодок визначається як

$$P_1 = P_{um}^i \frac{a+b}{b}, \tag{2}$$

де  $a^{k,v}$ ,  $b^{k,v}$  – розміри плеч горизонтального важеля при  $i$ -тому типі колодки, м. При типовій конструкції важеля [6]  $a^{k,v} = 0,29 \text{ м}$ ,  $b^{k,v} = 0,37 \text{ м}$ .

Відповідно, зусилля  $P_{zm}$  на важелях 2 та 3 розраховується за наступною формулою

$$P_{zm}^i = P_1 \frac{d^i + e^i}{e^i}, \tag{3}$$

тут  $d^i$ ,  $e^i$  – розміри плеч нахиленого важеля при  $i$  – тому типі колодки, м. Згідно [6]  $d^k = 0,125 \text{ м}$ ,  $e^k = 0,55 \text{ м}$ ,  $d^v = 0,195 \text{ м}$ ,  $e^v = 0,48 \text{ м}$ .

У зв'язку з тим, що кожен важіль 1–3 складається з двох частин, зусилля яке припадає на одну частину важеля дорівнює половині, відповідно,  $P_1, P_{zm}$ .

Результати розрахунку за формулами (1-3) зведені до таблиці 1 у залежності від типу гальмівних колодок, також наведена різниця цих зусиль.

Таблиця 1  
**Зусилля, що діють у гальмівній важільній передачі вагона-хопера при чавунних та композиційних гальмівних колодках, кН**

Параметр	Тип колодок ГВП		Різниця зусиль, %
	Чавунні	Композиційні	
Зусилля на штоці гальмівного циліндра, $P_{um}^i$	44,792	33,843	24
Зусилля $P_1^i$	79,899	60,369	32
Зусилля на затяжці проміжних важелів, $P_z^i$	112,358	74,089	52

Згідно [9] для важелів ГВП переважною деформацією є — деформація згинання, так, умова міцності для такого важеля буде мати вигляд:

$$[\sigma_3] \geq \frac{M_3}{W}, \quad (4)$$

де  $[\sigma_3]$  - допустиме напруження, що виникає у важелі при згині, МПа;

$M_3$  - максимальний згинальний момент, кНм;

$W$  - момент опору в найбільш напруженому перерізі, м<sup>3</sup>.

Найбільш напруженим є переріз де важіль з'єднується з затяжкою, тоді, для важеля 1 максимальний згинальний момент, можна визначити, як  $M_3^i = 0,5P_{шт}^i \cdot a$ , відповідно, для важелів 2-3  $M_3^i = 0,5P_1^i \cdot d^i$ .

Момент опору найбільш напруженого перерізу, що має прямокутну форму, з отвором, висотою  $d_{отвору}$  під втулку та валик дорівнює

$$W = \frac{t(h^3 - d_{отвору}^3)}{6h}, \quad (5)$$

тут  $t$  - товщина важеля, м;

$h$  - висота важеля, м.

З формул (4-5) отримаємо допустиму висоту важеля у вигляді кубічного рівняння

$$h^3 - \frac{6M_3}{t[\sigma_3]}h = d_{отвору}^3. \quad (6)$$

Розв'язуючи рівняння (6) отримаємо допустимі значення максимальної ширини важелів при певних типах колодок, при цьому вважаємо товщину важеля стандартною  $t = 0,014$  м, діаметр отвору  $d_{отвору} = 0,045$  м, допустиме напруження для сталі Ст.3 дорівнює  $[\sigma] = 0,95\sigma_T$  [11]  $[\sigma] = 190$  МПа, результати розрахунку зводимо до таблиці 2.

Таблиця 2

**Значення допустимої ширини важеля при деформації згинання для різних типів гальмових колодок у найбільш напруженому перерізі важеля, м**

Важіль	Тип колодок ГВП		Різниця ширини, %
	Чавунні	Композиційні	
1	0,124	0,11	11
2-3	0,136	0,1	26

За формулою (6) можна побудувати допустимий профіль робочої частини важеля (та, що випробовує деформацію згину) по довжині, він буде мати форму зображену на рис. 2–3, відповідно для важеля 1 та важелів 2-3. Необхідно зазначити, що, при розрахунку аналітичним методом не враховувалась наявність крайніх провущин, розрахунок виконувався для середньої частини важеля.

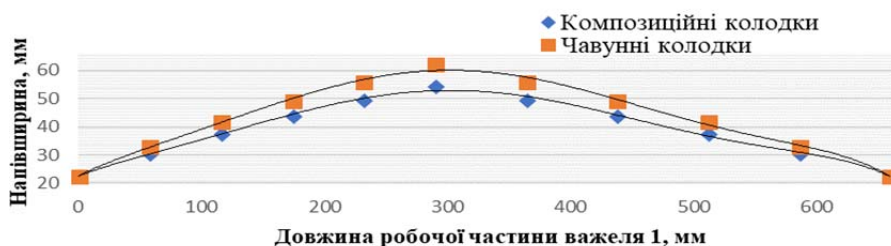


Рис. 2. Розподіл допустимої напівширини важеля 1 по довжині робочої частини

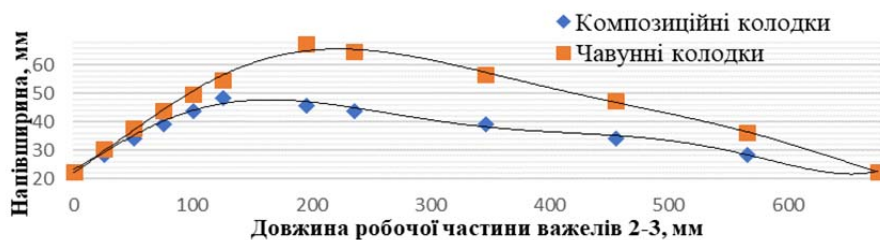


Рис. 3. Розподіл допустимої напівширини важелів 2-3 по довжині робочої частини

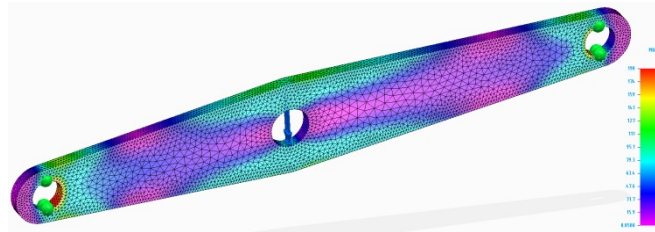


Рис. 4. Напружений стан важеля 1 при дії зусилля на середній отвір

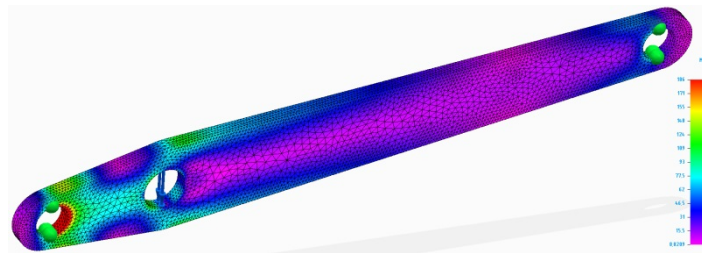


Рис. 5. Напружений стан важеля 2-3 при дії зусилля на середній отвір

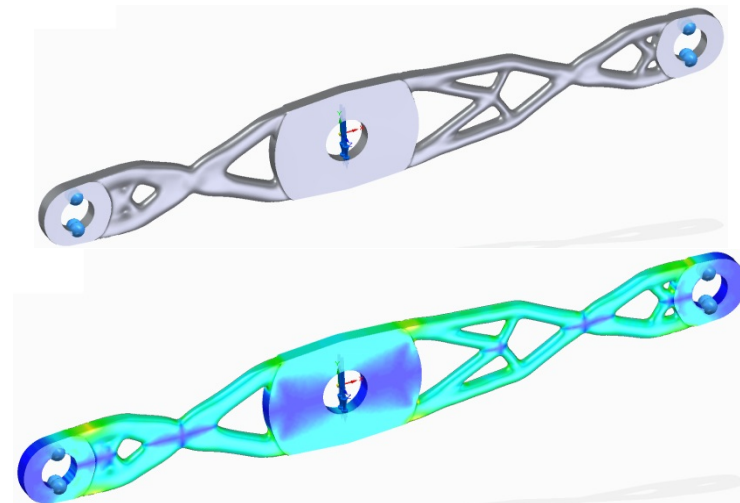


Рис. 6. Результат оптимізації важеля 1 ГВП вагона-хопера в програмного комплексі Solid Edge ST10 з розподілом напружень

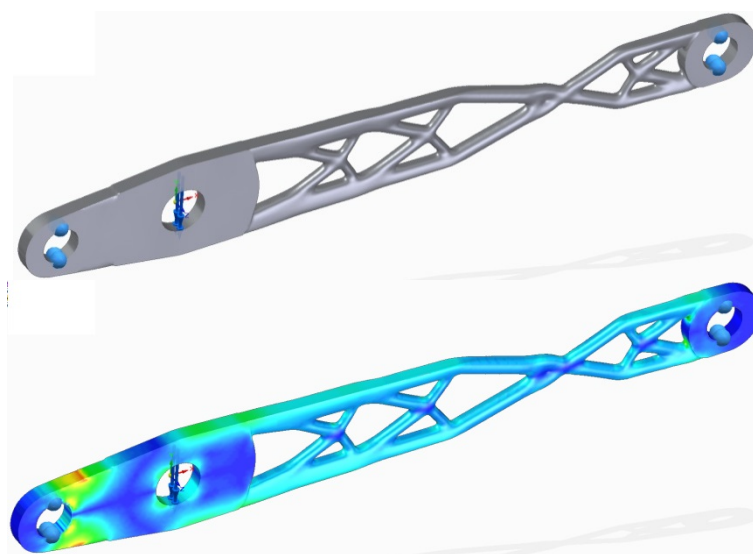


Рис. 7. Результат оптимізації важелів 2-3 ГВП вагона-хопера в програмного комплексі Solid Edge ST10 з розподілом напружень

При спеціалізації важелів на композиційні колодки отримуємо значне зменшення маси важеля близько 15,3%. Для перевірки на міцність спеціалізованих важелів використовувався програмний комплекс Solid Edge ST10 Siemens PLM Software. В якості скінченних елементів застосовувались елементи тетраедральної форми (важіль 1 – 57 039 елементів, 91 583 вузлів, мінімальний розмір елемента – 3,19 мм, 2-3 – 56 736 елементів, 91 097 вузлів, мінімальний розмір – 3,24 мм). Матеріал – сталь Ст3, прийнято допущення про ізотропність матеріалу важелів та однорідність. В якості зусиль використовувались зусилля (табл. 1), що рівномірно розподілені по вушку зони контакту з валиком. Граничні умови – шарнірне закріплення в крайніх отворах під валики ГВП. Результати розрахунку наведені на рис. 4-5. При розрахунках максимальні напруження не перевищують допустимі та є місцевими в зоні контакту з валиками з'єднання ГВП.

Виготовляються важелі ГВП переважно штампуванням з листового прокату. Використання сучасних технологій розкрою сталевих прокату (плазмова і лазерна різка та інші) дозволить виготовляти елементи більш складної та раціональної конфігурації. Ця обставина обумовлює можливість зміни форми елементів важільної передачі та раціонального розкрою прокатного листа при виготовленні.

Користуючись новим функціоналом програмного комплексу Solid Edge ST10 авторами здійснено один з варіантів оптимізації конфігурації важелів при забезпеченні умови міцності з запасом міцності 1,1 та зменшенням маси на 35%, при побудові зони провусин під валики вважались не змінними для запобігання деформацій змінання. Приклади побудови генеративного дизайну важелів 1–3 наведені на рис. 6–7.

Для порівняння результатів зводимо їх до таблиці 3.

Таблиця 3

**Маса важелів ГВП вагона-хопера для різних типів гальмових колодок та їх різниця, кг**

Важіль	Тип важеля					Різниця між існуючою конструкцією та спеціалізованою, оптимізованою %
	Існуюча конструкція	Спеціалізовані на композиційні колодки	Різниця, %	Оптимізовані та спеціалізовані на композиційні колодки	Різниця, %	
1	6,93	6,23	10,1	3,19	35	54
2-3	7,36	6,05	17,8	3,93	35	46,6
Разом на вагон	43,3	36,66	15,3	22,1	39,7	49

Таким чином, спеціалізація важелів ГВП вагона-хопера під композиційні колодки дозволить зменшити їх масу на 15,3%, а з можливою оптимізацією на 49%, що дозволить зменшити масу тари та коефіцієнти тари вагона в цілому.

**Висновок.** Було проаналізовано недоліки існуючої конструкції ГВП вагона-хопера. Розглянуті зусилля що діють на важелі, та запропоновано варіант оптимізації конструкції важелів за допомогою програмного комплексу Solid Edge Siemens PLM Software. Удосконалення конструкції важелів ГВП вагона-хопера дозволить зменшити їх масу, геометричні розміри, вартість та виключити можливість помилкового збирання важільної передачі, що покращить безпеку руху.

### Література

1. Анисимов П. С. Расчет и проектирование механической и пневматической частей тормозов вагонов: учеб. пособие / П. С. Анисимов, В. А. Юдин, А. Н. Шамаков, С. Н. Коржин ; под. общ. ред. П. С. Анисимова. – М. : Маршрут, 2005. – 248 с.
2. Асадченко В. Р. Расчет пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава: учеб. пособие / В. Р. Асадченко. – М. : Маршрут, 2004. – 120 с.
3. Бабаев А. М. Принцип дії, розрахунки та основи експлуатації гальм рухомого складу залізниць: навч. посіб. / А. М. Бабаєв, Д. В. Дмитрієв. – К. : ДЕДУТ, 2007. – 176 с.
4. Галай Э. И. Тормозные системы железнодорожного транспорта. Конструкция тормозного оборудования: учеб. пособие / Э. И. Галай, Е. Э. Галай ; М-во образование Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 315 с.
5. Иноземцев В. Г. Автоматические тормоза / В. Г. Иноземцев, В. М. Казаринов, В. Ф. Ясенцев. - М. Транспорт, 1981. – 464 с.
6. Інструкція з ремонту гальмівного обладнання вагонів: ЦВ-ЦЛ-0013 : – Затв. нак. Укрзалізниця №22-ЦЗ від 25.01.05. – вид. офіц. – К.: ТОВ Видавничий дім «САМ», 2005. – 160 с.
7. Вуколов Л. А. Фрикционные характеристики тормозных колодок из композиционных материалов без асбеста : // Тр. ВНИИЖТ / - 1987. - С. 27...33.
8. Киселев С. И. Температурные поля, деформации и напряжения в цельнокатанных вагонных колесах при различных режимах торможения: С.И. Киселев, В.Г. Иноземцев, С.Ю. Петров, А.С. Киселев // Вестн. ВНИИЖТ. - 1994. - №7. - С. 13... 17.
9. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм / – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 356 с.
10. Фомін О. В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва: Монографія / О. В. Фомін. – Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 251 с.
11. Конструирование и расчет вагонов/ Под ред. проф. Лукина В.В. / -М.: УМК МПС России, 2000. — 731с.

### References

1. Anisimov P. S. Raschet i proektirovanie mexanicheskoy i pnevmaticheskoy chastej tormozov vagonov: ucheb. posobie [Calculation and design mechanical and

- pneumatic parts of the brakes wagons]/ P. S. Anisimov, V. A. Yudin, A. N. Shamakov, S. N. Korzhin ; pod. obshh. red. P. S. Anisimova. –M. : Marshrut, 2005. – 248 s.
2. Asadchenko V. R. Raschet pnevmaticheskix tormozov zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava: ucheb. posobie [Calculation pneumatic brakes of railway rolling stock]/ V. R. Asadchenko. –M. : Marshrut, 2004. –120 s.
  3. Babaev A. M. Princip dii, rozrachunki ta osnovi ekspluatacii galm ruxomogo skladu zaliznic: navch. posib. [The principle of operation, calculations and bases operating brake, for rail transport]/ A. M. Babaev, D. V. Dmitriev. – K. : DETUT, 2007. – 176 s.
  4. Galay E. I. Tormoznyie sistemyi zheleznodorozhnogo transporta. Konstruktsiya tormoznogo oborudovaniya: ucheb. posobie / E. I. Galay, E. E. Galay ; M-vo obrazovanie Resp. Belarus, Belarus. gos. un-t transp. – Gomel : BelGUT, 2010. – 315 s.
  5. Inozemcev V. G. Avtomaticheskie tormoza [Automatic brakes]/ V.G. Inozemcev, V.M. Kazarinov, V. F. Yasencev. - M. Transport, 1981. – 464 s.
  6. Instrukciya z remontu galmivnogo obladnannya vagoniv: CV-CL-0013 [Manual braking equipment repair cars]: – Zatv. nak. Ukrzaliznici №22-CZ vid 25.01.05. – vid. ofic. – K.: TOV Vidavnichij dim «SAM», 2005. – 160 s.
  7. Vukolov L. A. Frikcionnye karakteristiki tormoznykh kolodok iz kompozicionnykh materialov bez asbesta: [Friction characteristics brake shoes made of composite materials without asbestos]// Tr. VNIIZhT / - 1987. - S. 27...33.
  8. Kiselev S. I. Temperaturnye polya, deformacii i napryazheniya v celnokatannykh vagonnykh kolesax pri razlichnykh rezhimakh tormozheniya [Temperature fields, deformations and stresses in solid-rolled car wheels under different braking regimes]: S.I. Kiselev, V.G. Inozemcev, S.Yu. Petrov, A.C. Kiselev // Vestn. VNIIZhT. - 1994. - №7. - S. 13... 17.
  9. Normy rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh) s izmeneniyami i dopolneniyami [Norms calculating and designing railways carriages IPS gage railway 1520 mm (nesamohodnyh) s Changes and additions]./ – M.: GosNIIV-VNIIZhT, 1996. – 356 s.
  10. Fomin O. V. Optimizacijne proektuvannya elementiv kuzoviv zaliznichnix napivvagoniv ta organizaciya ix virobnictva [Optimization design elements ry gondola bodies and organization of production]: Monografiya / O.V. Fomin. – Doneck: DonIZT UkrDAZT, 2013. – 251 s.
  11. Konstruirovaniye i raschet vagonov [Construction and calculation cars]/ Pod red. prof. Lukina V.V. / -M.: UMK MPS Rossii, 2000. — 731 s.

**Волошин Д.И., Афанасенко И.Н., Деревянчук Я.В. К вопросу усовершенствования конструкции тормозной рычажной передачи вагона-хоппера.**

*В статье проанализированы технические и конструкционные недостатки существующей конструкции тормозной рычажной передачи вагона-хоппера. Рассчитаны основные усилия, которые действуют на рычаги при использовании разных видов тормозных колодок. Проведено оценку их напряженно-деформированного состояния. Предложены варианты оптимизации конструкции рычагов при помощи программного комплекса Solid Edge Siemens PLM Software. Сделаны выводы, что усовершенствованная конструкция элементов тормозной рычажной передачи вагона-хоппера позволит уменьшить их массу, размеры и стоимость.*

**Ключевые слова:** тормозная рычажная передача, вагон-хоппер, тормозные колодки, прочность, оптимизация.

**Voloshin D., Afanasenko I., Derevianchuk Ya. The question of the hopper-car mechanical brake elements improving.**

*The article analyses the technical and structural disadvantages the existing design brake linkage of the hopper-car. The main efforts are calculated that act on the levers when using different types of brake pads. Their stress-strain state was estimated. Options for optimizing design of the levers are proposed using the Solid Edge Siemens PLM Software. It is concluded that the improved design of the brake linkage elements of the hopper-car will reduce their weight, size and price.*

**Keywords:** brake linkage, hopper-car, brake pads, strength, optimization.

**Волошин Д.И.** – к.т.н., доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: voloshin@kart.edu.ua

**Афанасенко І.М.** – старший викладач кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: afanasenkoigor@kart.edu.ua

**Дерев'янчук Я.В.** – старший викладач кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: derevianchuk@kart.edu.ua

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 15.04.2018.

УДК 656.7.025:338.47 (045)

## МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ РАДІОЧАСТОТНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ ВАНТАЖУ У ВАНТАЖНОМУ ТЕРМІНАЛІ

Габрієлова Т.Ю., Коновалюк В.С, Литвиненко С.Л., Тарасенко Ю.І.

## MODEL OF EVALUATING THE FEASIBILITY OF INTRODUCING A RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION SYSTEM FOR CARGO HANDLING IN CARGO TERMINAL

Gabrielova T., Lytvynenko S., Konovalyuk V., Tarasenko Y.

*Запропоновано математичну модель, що дала змогу порівняти економічні показники роботи вантажного комплексу при існуючій системі обробки вантажу (без застосування системи радіочастотної ідентифікації) та за умов впровадження нової системи з використанням системи радіочастотної ідентифікації, а також прийняти рішення щодо оптимального етапу початку впровадження систем радіочастотної ідентифікації. Сутність запропонованої задачі полягає розв'язанні дилеми щодо необхідності обслуговування вантажу традиційним, перевіреним часом способом, або, як альтернативи, навпаки, перейти на систему обробки вантажу за допомогою технології радіочастотної ідентифікації. За допомогою запропонованої моделі можливо визначити на якому етапі, та при якому обсязі і темпі вантажопотоку для підприємства буде вигідно перейти на використання можливостей радіочастотної ідентифікації.*

**Ключові слова:** радіочастотна ідентифікація, вантаж, витрати, вантажний комплекс.

**Вступ.** Авіаційний транспорт вимагає реалізації ряду нових підходів та технологічних рішень. Одним з таких рішень є система радіочастотної ідентифікації (RFID). Це є технологія автоматичного, безконтактного дистанційного виявлення, розпізнавання та оперативного супроводу об'єктів, яка забезпечує контроль за ними із використанням спеціальної мітки, що несе інформацію.

**Постановка проблеми.** Для вітчизняних авіаперевізників важливою проблемою є підвищення ефективності використання перевізної ємності літаків, в тому числі під перевезення вантажів. Тому мережеві авіакомпанії шукають методи, моделі та системи, які дозволяють вирішувати задачі оптимізації комерційного завантаження. Для мережевих авіаперевізників задача ускладнюється внаслідок наявності великої кількості комбінацій окремих сегментів перевезень та трансферних вантажопотоків.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Одним із перших особливості використання технології радіочастотної ідентифікації (RFID) на авіаційному транспорті досліджував P. Pandit у [2]. Він відзначав, що реалізація RFID в авіаційній галузі відставала від інших секторів світової економіки. У галузі авіаперевезень RFID, як відзначав ще у середині 2000-х P. Pandit, потенційно може бути використано для відстеження пристроїв навантаження на одиницю навантаження (ULD) та іншого наземного обладнання, а також термінових вантажних відправлень, пасажирського багажу та запасних частин літаків.

Дослідження реалізовані Chi-Kong Chan, Harry K. H. Chow, Alex K. S. Ng, Henry C. B. Chan, а також Vincent T. Y. Ng у [4] показали, що з використанням нової системи контролю авіаційного вантажу в ланцюзі постачань на основі радіочастотної ідентифікації скорочення часу на обробку вантажу в контрольній точці можливо в середньому на 15-30 хвилин. А тому, можна досягти 10-25% доходу від інвестованого проекту.

Результати використання RFID-технології авіакомпанією Korean Air для обробки вантажів у вантажному терміналі аеропорту Інчхон, які систематизовані Qing Cao, Brandon S. Good та Lynn A. DeRose у [1] показують не тільки надійність і гнучкість системи RFID для вирішення непередбачених подій, таких як відсутність оператора, але й дають можливість оцінити зниження витрат. Розрахунки авторами проводилися за умов, що термінал працює на протязі 30-ти днів 24 години 7 днів на тиждень; термінал приймає 1000 одиниць вантажу кожного дня; вантаж транспортується в ULD контейнерах.

Описана у [3] платформа EURIDICE пропонує реалізацію нових логістичних послуг, які є суто товарами чи «речами», пов'язуючи, таким чином перетворення поточного процесу орієнтованих архітектур існуючих логістичних систем навколо, помістивши товари в середину, а реалізовані бізнес-

процеси над платформою. З технічної точки зору проект EURIDICE поєднував найсучасніші свого часу технології, доступні для створення прозорої і добре структурованої системи, здатної обробляти значну кількість сценаріїв.

У [5] було відзначено, що існують такі можливості RFID системи, як: зчитування інформації на відстані 6 метрів на відміну від 50 сантиметрів (у випадку зі штрих-кодами), зниження часу на обслуговування вантажу у вантажному терміналі приблизно на 21%. При цьому витрати на логістичні послуги знизилися на 122 млн. дол. США.

Авіаперевізник Delta у минулому році оголосив про важливе оновлення свого додатку Fly Delta. Серед іншого, оновлення дозволяє пасажиром відстежити частину зареєстрованого багажу та його подорож через аеропорт. Користувачі можуть змінювати розміщення місця багажу та використовувати мітки для його відстеження [6].

Стратегія реалізації та організаційно-економічний механізм впровадження технології радіочастотної ідентифікації у вітчизняних вантажних авіакомпаніях запропоновані С. Литвиненком у [7; 8].

**Мета статті** – розробка математичної моделі оцінки доцільності впровадження системи RFID для обробки вантажу у вантажному терміналі, яка дозволяє визначити оптимальний період для впровадження цієї системи на підставі показників економічної ефективності у порівнянні з існуючим обладнанням.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

При розробці моделі пропонується використати вже відому задачу динамічного програмування – задачу про заміну обладнання, яка наведена в [9]. Її суть у класичній постановці полягає у визначенні оптимальних термінів заміни старого обладнання на теж саме, але нове. Старіння обладнання включає його фізичний та моральний знос, в результаті чого ростуть виробничі затрати, витрати на ремонт і обслуговування, знижується продуктивність праці. Тому настає час, коли вигідніше замінити старе обладнання на нове. Критерієм оптимальності є, як правило, прибуток від експлуатації обладнання або сумарні затрати на експлуатацію протягом запланованого періоду.

При побудові моделі задачі прийнято вважати, що рішення про заміну приймається на початку кожного проміжку експлуатації (наприклад, на початку року), і що обладнання можна використовувати необмежено довго. Основна характеристика задачі про заміну обладнання – параметр стану обладнання – його вік  $t$ .

Під час складання динамічної моделі, процес заміни розглядається в  $n$ -кроків, розбиваючи весь період експлуатації на  $n$ -кроків. Варіантом розв'язку на кожному кроці (тобто для кожного року) є одна з альтернатив: продовжувати експлуатацію

обладнання або замінити обладнання на нове. При цьому вважається, що заміна старого обладнання на нове відбувається миттєво. Дана задача є доволі гнучкою щодо можливостей включення в модель різних модифікацій задачі. Аналогічна задача може розглядатися для великого числа варіантів управління ресурсами компанії.

Основним критерієм пошуку оптимального рішення є збільшення прибутку від обробки вантажів.

Елементи моделі динамічного програмування:

– етап представлений порядковим номером року  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ );

– варіанти рішення на  $i$ -ому етапі (для  $i$ -го року) є альтернативи: залишити традиційну систему обробки вантажу чи впровадити RFID технологію;

– термін роботи з системою обробки вантажу як традиційної так і з технологією RFID –  $t$ .

На рис. представлено дану задачу у вигляді схеми. Необхідні дані для вирішення задачі: дохід від обробки вантажопотоку при традиційній системі протягом кожного року; щорічні витрати, що припадають на обробку вантажу при традиційній системі; дохід від обробки вантажопотоку з використанням технології RFID протягом кожного року; щорічні витрати, що припадають на обробку вантажу з використанням технології RFID; вартість закупки компонентів RFID.

Значення параметрів:

$P_0$  – прибуток компанії від обробки певного об'єму вантажу за даний рік, що розраховується за формулою:

$$P_0 = r_0 - c_0, \quad (1)$$

де  $r_0$  – дохід від певного об'єму обробленого вантажу, що розраховується за формулою:

$$r_0 = Q_0 \nu \quad (2)$$

де  $Q_0$  – об'єм вантажу, який було прийнято за даний рік;  $\nu$  – ставка на обробку вантажної одиниці (або одиниці маси вантажу);  $c_0$  – витрати на обробку вантажу, що враховують: вартість технологічного обладнання; вартість ІТ-інфраструктури; експлуатаційні витрати; вартість ремонту та зберігання запасних частин обладнання; зарплата персоналу; витрати, що виникають в результаті невірної обробки вантажу, чи в результаті затримки; витрати пов'язані з втратою чи пошкодженням вантажу під час обробки;  $P_1, P_2, P_3, P_4$  – прибутки за кожен наступний рік, враховуючи зміну вантажопотоку кожного року.

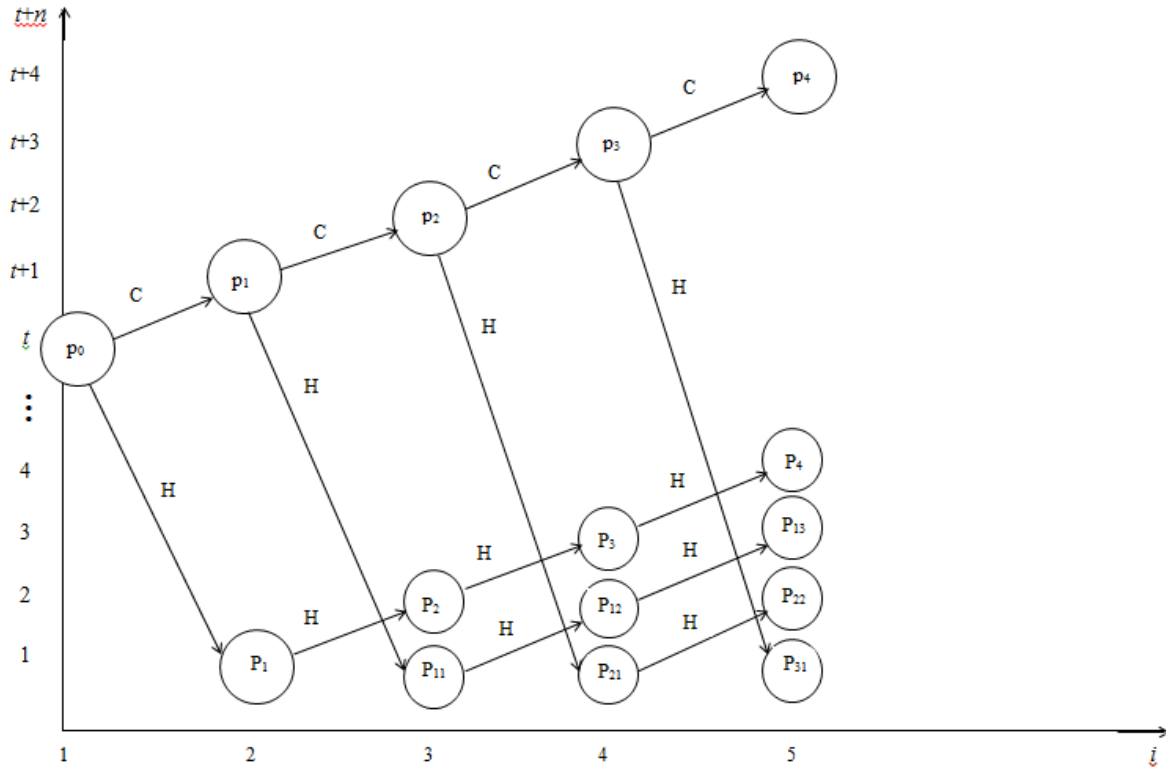


Рис. Схема прийняття рішення щодо впровадження RFID технології

Прибуток від обробки вантажу за допомогою технології RFID протягом першого року її використання ( $p_1$ ) розраховується за формулою:

$$p_1 = R - C_1 - L_1, \quad (3)$$

де  $R$  – дохід, що залежить від об'єму вантажу, який було прийнято за даний рік, та ставки на обробку вантажу;  $C_1$  – витрати на обробку вантажу за умов використання технології RFID протягом першого року її експлуатації, що включають: вартість технологічного обладнання; експлуатаційні витрати, що включають вартість ремонту та затрати на зберігання запасних частин; зарплата персоналу; витрати, що виникають в результаті неправильної обробки вантажу та в результаті затримки; витрати, пов'язані з втратою вантажу під час його обробки;

$L_1$  – загальні витрати на придбання та налаштування компонентів радіочастотної ідентифікації: витрати на маркування товару за допомогою RFID-міток (одноразового та повторного використання); витрати на купівлю ручних рідерів; витрати на купівлю стаціонарних рідерів; витрати на купівлю антен; витрати на прокладку кабелів; витрати на ліцензійне програмне устаткування; витрати на розробку та модифікацію системи; витрати на проміжне програмне забезпечення та бази даних; витрати на підтримку програмного забезпечення; витрати на підтримку технічного забезпечення; затрати пов'язані з навчанням персоналу.

Витрати на маркування товару за допомогою RFID-міток (одноразового та повторного використання) розраховуються виходячи із формули:

$$L_{\text{мар}} = \sum_{i=1}^n n_{\text{м.о}} \cdot P_{\text{м.о}} + \sum_{j=1}^m m_{\text{м.п}} \cdot P_{\text{м.п}}, \quad (4)$$

де  $n_{\text{м.о}}$  – число необхідних міток, які одноразово використовуються;  $n_{\text{м.п}}$  – число необхідних міток, які повторно використовуються;  $P_{\text{м.о}}$  – вартість однієї мітки, яка одноразово використовується;  $P_{\text{м.п}}$  – вартість однієї мітки, яка повторно використовується.

Витрати на купівлю ручних рідерів розраховуються виходячи із формули:

$$L_{\text{р.р}} = \sum_{i=1}^n n_{\text{р.р}} \cdot P_{\text{р.р}}, \quad (5)$$

де  $n_{\text{р.р}}$  – число необхідних ручних рідерів;  $P_{\text{р.р}}$  – вартість одного ручного рідера.

Витрати на купівлю стаціонарних рідерів розраховуються виходячи із формули:

$$L_{\text{с.р}} = \sum_{i=1}^n n_{\text{с.р}} \cdot P_{\text{с.р}}, \quad (6)$$

де  $n_{c.p}$  – число необхідних стаціонарних рідерів;

$P_{c.p}$  – вартість одного стаціонарного рідера.

Витрати на купівлю антен для ручних та стаціонарних рідерів розраховуються виходячи із формули:

$$L_a = \sum_{i=1}^n n_{c.p} \cdot 2 \cdot P_{c.a} + \sum_{j=1}^m m_{p.p} \cdot 2 \cdot P_{p.a}, \quad (7)$$

де  $P_{c.a}$  – вартість однієї антени для стаціонарного

рідера;  $m_{p.p}$  – число необхідних ручних рідерів;

$P_{p.a}$  – вартість однієї антени для ручного рідера.

Витрати на прокладку кабелів у склади авіакомпанії розраховуються виходячи із формули:

$$L_{п.к} = \sum_{i=1}^n n_k \cdot P_k + C_{п.к}, \quad (8)$$

де  $P_k$  – вартість одного кабелю;  $n_k$  – кількість кабелів;  $C_{п.к}$  – загальна вартість прокладки кабелів.

Витрати на ліцензійне програмне устаткування розраховуються виходячи із формули:

$$L_{п.у} = L_{пр.п.з} + L_{л.бд}, \quad (9)$$

де  $L_{пр.п.з}$  – вартість ліцензії/хост-системи проміжного програмного забезпечення;  $L_{л.бд}$  – вартість ліцензії/хост-системи бази даних.

Витрати на розробку та модифікацію системи розраховуються виходячи із формули:

$$L_{м.с} = L_{п.р.з} + L_{м.с} + L_{т.у}, \quad (10)$$

де  $L_{п.р.з}$  – вартість початкової розробки системи;

$L_{м.с}$  – вартість модифікації системи;  $L_{т.у}$  – вартість тренувальної установки системи.

Витрати на проміжне програмне забезпечення та бази даних розраховуються виходячи із формули:

$$L_{п.п.з} = L_{п.п.п.з} + L_{м.п.з} + L_{з.п.з} + L_{р.бд} + L_{м.бд} + L_{р.ас} + L_{м.ас} + L_{ін}, \quad (11)$$

де  $L_{п.п.п.з}$  – вартість початкової настройки

проміжного програмного забезпечення;  $L_{м.п.з}$  – вартість модифікації проміжного програмного забезпечення;  $L_{з.п.з}$  – вартість звітів проміжного

програмного забезпечення;  $L_{р.бд}$  – вартість розробки баз даних;  $L_{м.бд}$  – вартість модифікації

баз даних;  $L_{р.ас}$  – вартість розробки автономних прикладних систем;  $L_{м.ас}$  – вартість модифікації автономних прикладних систем;  $L_{ін}$  – вартість інтерфейсу.

Загальні витрати на застосування RFID-технологій розраховуються виходячи із формули:

$$L_{заг} = L_{мар} + L_{р.р} + L_{с.р} + L_a + L_{п.к} + L_{п.у} + L_{м.с} + L_{п.п.з}, \quad (12)$$

Необхідно відзначити, що  $P_2, P_3, P_4$  – прибуток від обробки вантажу за допомогою RFID технології отриманий протягом 2-го, 3-го та 4-го року її використання відповідно.

При обчисленні прибутків  $P_2, P_3, P_4$ , витрати на обробку вантажу за умов використання технології RFID ( $C_2$ ) включають: вартість технологічного обладнання; затрати на його експлуатацію; експлуатаційні витрати, що включають вартість ремонту та витрати на зберігання запасних частин обладнання; зарплата персоналу. Але в даному випадку слід враховувати, що за умов використання нової технології, кількість необхідних ресурсів зменшується, за рахунок чого зменшуються й самі витрати.

При цьому  $L_2$  – затрати на придбання та налаштування системи радіочастотної ідентифікації, що включають лише витрати на підтримку програмного й технічного забезпечення, а також амортизацію.  $P_{11}, P_{21}, P_{31}$  – прибутки від обробки вантажу за допомогою технології RFID за умови прийняття рішення щодо її впровадження наступного року (2-го, 3-го, 4-го років).  $P_{12}, P_{13}$  – прибутки від обробки вантажу за допомогою технології RFID за умови, що рішення було прийнято 2-го або 3-го років, і вона експлуатується й надалі. Їх величина буде залежати від вантажопотоку, який спостерігатиметься саме 2-го року, а також від витрат на обробку одиниці вантажу ( $C_3$ ) за умов, що технологія експлуатується не перший рік.

Отже витрати включатимуть: вартість технологічного обладнання; витрати на його експлуатацію; витрати на ремонт та зберігання запчастин обладнання; витрати пов'язані з моральним зносом обладнанням; заробітна платня робітників, враховуючи, що кількість ресурсів зменшилась.  $l_3$  – затрати на придбання та налаштування системи радіочастотної ідентифікації, що включають лише витрати на підтримку програмного й технічного забезпечення, а також амортизацію за перший та другий роки експлуатації.

$P_{22}$  – прибуток від обробки одиниці вантажу за допомогою технології радіочастотної ідентифікації за умов, що рішення про впровадження нової технології було прийнято 4-го року, і технологія експлуатується другий рік.

Величина  $i$  може варіюватися та є крайнім терміном, протягом якого все одно необхідно прийняти рішення про впровадження нових технологій. Для рішення задачі цей термін задається. Його значення звичайно коливається у межах декількох років. Оскільки сучасний світ характеризується швидкими темпами розвитку та динамічною зміною технологій, за достатньо великий термін технологія, що на сьогоднішній день є новою та перспективною, може застаріти настільки, що потрібно буде купувати наступну її модифікацію. З урахуванням глобалізаційних процесів в галузі, з поширенням електронного документообігу та розвитком ІТ-технологій довготривалу стабільності не можна гарантувати. На основі аналізу тенденцій появи нових технологій, автором було запропоновано, що граничний термін, за який потрібно прийняти рішення, щодо впровадження нової технології обслуговування вантажу, становить 4 роки ( $i = 4$ ).

Після визначення граничного терміну  $i$  необхідно спрогнозувати вантажопотік на термін  $i$ . Для прогнозування можна, наприклад, використати метод екстраполяції часових рядів, кореляційні моделі. При короткостроковому прогнозуванні, а також при прогнозуванні в ситуації зміни зовнішніх умов, коли найбільш важливими є наслідки реалізації досліджуваного процесу, найбільш ефективними виявляються адаптивні методи. Маючи статистику щодо кількості оброблених вантажних одиниць за попередні роки, можна спрогнозувати вантажопотік на наступні  $i$  роки.

Після визначення компонентів доходу та витрат для старого та нового обладнання (показники  $r$  та  $c$ ), аналізуються дві альтернативи прийняття рішення про заміну системи. На початку року, коли починають приймати рішення ( $i = 1$ ), вантаж обробляється традиційним методом протягом часу  $t$ . Протягом року  $i = 1$  можна або впровадити технологію RFID (Н), чи працювати без неї (С) у наступному році.

Якщо було вирішено працювати з технологією RFID, то на початку наступного року її вік буде  $t = 1$ , а отже, витрати будуть також включати покупку необхідних компонентів і вдосконалення програмного забезпечення. Вважається, що далі рішення щодо повернення до традиційної системи обробки вантажів не приймається. Другий рік використання нової технології виключає витрати на придбання нових компонентів, а залишаються витрати на підтримку програмного та технічного забезпечення.

Такий самий підхід використовується кожного року, починаючи з другого. Компанія може прийняти рішення на користь нової технології 2-го, 3-го чи 4-го року.

**Висновки та пропозиції.** В результаті розв'язання задачі було отримано значення  $i$ , при якому досягається максимальний прибуток від заміни традиційної системи обробки вантажу на

нову з використанням технології радіочастотної ідентифікації, що дає компанії інформацію про те, коли найбільш вигідно впровадити RFID. Задаючи різні значення та темпи зростання вантажопотоку, можливо проаналізувати декілька сценаріїв розвитку подій та варіанти для прийняття рішення щодо доцільності впровадження нової технології.

В кінці кожного року компанія підраховує прибуток в залежності від прийнятого рішення. П'ятий рік є підсумовуючим, де виводяться 5 варіантів отримання прибутку в залежності від етапу, на якому було прийнято рішення. Найбільший прибуток визначає оптимальний етап, коли необхідно використовувати нову систему обробки вантажів на основі RFID. Таким чином підприємство отримує інструмент для визначення оптимального етапу впровадження нової технології обробки вантажу в терміналі, та порівняння прибутків від використання традиційної системи обробки вантажу без RFID та з використанням RFID.

Для проведення розрахунків задачі про заміну обладнання в її класичному вигляді, можна користуватися спеціальною програмою TORA та шаблонами електронної таблиці Excel, що доповнюють її.

#### Л і т е р а т у р а

1. Qing Cao, Brandon S. Good, Lynn A. DeRose (2011) RFID for air cargo operations: return on investment analysis through process modeling and simulation. In Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, edited by S. Jain, R.R. Creasey, J. Himmelspach, K.P. White, and M. Fu. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6147874/>
2. Pandit, P. N. (2007) RFID for Air Cargo. RFID Journal. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.rfidjournal.com/article/view/3473>.
3. J. Schumacher, M. Gschweidl, and M. Rieder (2010) EURIDICE – An enabler for intelligent cargo for the logistics sector. Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics(JSCI), vol. 8, no. 2, pp. 18-28, 2010.
4. Chi-Kong Chan, Harry K. H. Chow, Alex K. S. Ng, Henry C. B. Chan, and Vincent T. Y. Ng. (2012) An RFID Case Study for Air Cargo Supply Chain Management. In Proceedings of the International MultyConference of Engineers and Computer scientists 2012 Vol I, IMECS 2012, March 14-16, 2012, Hong Kong. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://core.kmi.open.ac.uk/display/2696390>.
5. Cargonews Asia. Korea pushes for RFID use at airports. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cargonewsasia.com/secured/article.aspx?article=25680>
6. Ngo D. (2016) Delta app tracks luggage using RFID tech. Tech industry. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cnet.com/news/fly-delta-app-tracks-luggage-rfid/>
7. Литвиненко С. Л. Стратегія реалізації RFID-технологій у вітчизняних вантажних авіакомпаніях / С. Л. Литвиненко // Актуальні проблеми економіки. – К.: ВНЗ «Національна академія управління», 2010. – Вип. 8 (110). – С. 117-122.

8. Литвиненко С.Л. Організаційно-економічний механізм впровадження технологій радіочастотної ідентифікації у вантажних авіакомпаніях // Залізничний транспорт України. – 2010. – Вип. 2 (81). – С. 42-45.
9. Ломкова Е. Н. Экономико-математические модели управления производством (теоретические аспекты) / Е. Н. Ломкова, А. А. Эпов. – Волгоград: ВолГГУ, 2005. – 67 с.

### References

1. Qing Cao, Brandon S. Good, Lynn A. DeRose (2011) RFID for air cargo operations: return on investment analysis through process modeling and simulation. In Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, edited by S. Jain, R.R. Creasey, J. Himmelspach, K.P. White, and M. Fu. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6147874/>
2. Pandit, P. N. (2007) RFID for Air Cargo. RFID Journal. – [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.rfidjournal.com/article/view/3473>.
3. J. Schumacher, M. Gschweidl, and M. Rieder (2010) EURIDICE – An enabler for intelligent cargo for the logistics sector. Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics (JSCI), vol. 8, no. 2, pp. 18-28, 2010.
4. Chi-Kong Chan, Harry K. H. Chow, Alex K. S. Ng, Henry C. B. Chan, and Vincent T. Y. Ng. (2012) An RFID Case Study for Air Cargo Supply Chain Management. In Proceedings of the International MultyConference of Engineers and Computer scientists 2012 Vol I, IMECS 2012, March 14-16, 2012, Hong Kong. – [Electronic resource]. – Access mode: <http://core.kmi.open.ac.uk/display/2696390>.
5. Cargonews Asia. Korea pushes for RFID use at airports. – [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.cargonewsasia.com/secured/article.aspx?article=25680>
6. Ngo D. (2016) Delta app tracks luggage using RFID tech. Tech industry. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.cnet.com/news/fly-delta-app-tracks-luggage-rfid/>
7. Lytvynenko S. L. Strategiya realizatsiyi RFID-tehnologiy u vitchiznyanih vantazhnih aviakompaniyah [Strategy of RFID-technologies introduction at national airfreight companies. Author's abstract.]. Actual Problems of Economics. Kyiv. vol. 8, pp. 117-122, 2010.
8. Lytvynenko S. L. Organizatsiyno-ekonomichniy mehanizm vprovadzheniya tehnologiy radiochastotnoyi identifikatsiyi u vantazhnih aviakompaniyah [Organizationally economic mechanism of introduction of technologies of radio frequency authentication in freight airlines. Author's abstract.]. Railway Transport of Ukraine. Kyiv. vol. 2, pp. 42-45, 2010.
9. Lomkova E. N., Eпов A. A. Ekonomiko-matematicheskie modeli upravleniya proizvodstvom (teoreticheskie aspekty) [Economic-mathematical models of production management (theoretical aspects)]. Volgograd. 2005. 67 p.
10. Ломкова Е. Н. Экономико-математические модели управления производством (теоретические аспекты) / Е. Н. Ломкова, А. А. Эпов. –

**Габриэлова Т.Ю., Литвиненко С.Л., Коновалюк В.С., Тарасенко Ю.И. Модель оценки целесообразности внедрения системы радиочастотной идентификации для обработки груза в грузовом терминале**

*Было предложено математическую модель, которая позволила сравнить экономические показатели работы грузового комплекса при существующей системе обработки груза (без применения системы радиочастотной идентификации) и в условиях внедрения новой системы с использованием системы радиочастотной идентификации, а также принять решение относительно оптимального этапа начала внедрения систем радиочастотной идентификации. Сущность предлагаемой задачи заключается в решении дилеммы о необходимости обслуживания груза традиционным, проверенным временем способом, или, как альтернативы, наоборот, перейти на систему обработки груза с помощью технологии радиочастотной идентификации. С помощью предложенной модели можно определить на каком этапе, и при каком объеме и темпе грузопотока для предприятия будет выгодно перейти на использование возможностей радиочастотной идентификации.*

**Ключевые слова:** радиочастотная идентификация, груз, расходы, грузовой комплекс.

**Gabrielova T., Lytvynenko S., V. Konovalyuk, Tarasenko Y. Model of evaluating the feasibility of introducing a radio frequency identification system for cargo handling in cargo terminal**

*The mathematical model was proposed, enabling to compare economic performance indicators of a cargo complex under available cargo handling system (without the use of radio frequency identification system) and under the conditions of the introduction of a new system using the radio frequency identification system, as well as to decide on the optimal stage for starting the introduction of radio frequency identification systems.*

*The essence of the proposed task is to resolve the dilemmas of the necessity to service the cargo in a traditional time-tested way, or, alternatively, on the contrary, switch to a cargo handling system using radio frequency identification technology, with substantial costs for the purchase of the necessary components, but subsequently less spending per unit processed cargo. With the offered model it is possible to determine at what stage, in what volume and traffic flow rate it will be advantageous for the enterprise to transfer to the use of the opportunities of radio frequency identification.*

**Keywords:** radio frequency identification, cargo, costs, cargo complex.

**Габриэлова Т.Ю.** – к.е.н., доцент, координатор програм професійного навчання ТОВ «SPL», e-mail: [t\\_gabrielova@ukr.net](mailto:t_gabrielova@ukr.net)

**Коновалюк В.С.** – к.е.н., доцент, доцент кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету

**Литвиненко С.Л.** – к.е.н., доцент, докторант кафедри менеджменту та маркетингу ПВНЗ «Європейський університет», e-mail: [sllitvinenko1982@gmail.com](mailto:sllitvinenko1982@gmail.com)

**Тарасенко Ю.І.** – співробітник компанії DHL, e-mail: [juliet-252@yandex.ru](mailto:juliet-252@yandex.ru)

Рецензент: д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 21.03.2018.

УДК 656.615:338

**ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЗЕРНОВОГО ТЕРМІНАЛУ****Гаркуша Г.Г., Сагіров І.В., Жерліцина О.В.****IMITATING MODEL OF GRAIN TERMINAL****Garkusha G.G., Sagirov I.V., Zherlitsyna O.V.**

У статті запропоновано використання нового програмного продукту – системи AnyLogic – для моделювання роботи зернового терміналу Маріупольського морського торгового порту. Наведені обмеження, які необхідні для безперервного використання зернового терміналу, ключовий фрагмент програми та ілюстрації інтерфейсу. Загальна система моделі складається з 7 розділів та начального екрану з пояснювальною інформацією.

**Ключові слова:** зерновий термінал, імітаційна модель, безперервна робота, обмеження, діаграми, логістична схема.

**Вступ.** Відповідно до плану розвитку України на 2015 – 2020 роки Кабінет Міністрів України оприлюднив першочергові задачі розвитку економіки України. Економічне зростання повинно бути досягнуто за рахунок експорту та інвестування.

**Постановка проблеми.** Конфлікт на Сході України призвів до зниження в Маріупольському морському транспортному порту (МТП) традиційного вантажообігу з 18 млн. т до 7 млн. т. Його відновлення здійснюватимуть за рахунок експорту зернових та олійних культур. Для забезпечення об'єму перевезень необхідно здійснити будівництво зернового перевантажувального комплексу, проект якого затверджено 11 січня 2018 р.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За проектом комплекс буде містити силоси для зберігання зерна потужністю 5700 т кожний, двох оперативних силосів місткістю 500 т, пограничної галереї, сировинної лабораторії, а також станцій розвантаження автомобільного та залізничного транспорту. Проект дозволить збільшити обсяг перевезень зернових на 1 млн. т на рік. Одночасно в порту може зберігатися до 57 тис. т зерна та перероблятися понад 17 млн. т вантажів [1].

Цим вимогам повністю відповідає Маріупольський морський порт, який має 18 вантажних причалів загальною довжиною біля 3,7 км з проектними глибинами від 8,0 до 9,75 м і

приймає судна з осадкою до 8,0 м і довжиною до 240 м. Загальна площа відкритих складських площадок складає 270 тис. м<sup>2</sup>, відкритих вантажних складів – 11,8 тис. м<sup>2</sup>. Для будівництва зернового комплексу визначили 3 і 4 причали з проектними глибинами 9,75 м. Проектна потужність терміналу складає 2 млн. т на рік, а ємності одночасного зберігання – 131,1 тис. т [2].

З метою прогнозування перспективи будь-якого проекту та за сприянням розвитку інформаційних технологій у науці поряд із спостереженням, виміром, експериментом і порівнянням, процедура моделювання виступає, як один із загальнонаукових методів і може розглядатися в якості особливого інтегруючого методу. Ефективне і універсальне моделювання дозволяє експериментувати не з самою системою, а з її аналогом – моделлю. Система AnyLogic – новий програмний продукт, який підтримує три методології імітаційного моделювання: системну динаміку, дискретно-подієве та агентне моделювання, а також дозволяє створювати моделі з багатьма підходами [3].

**Мета статті.** Для дослідження реальності проекту та його потужностей може бути запропонована імітаційна модель роботи зернового терміналу Маріупольського МТП. Метою моделювання роботи терміналу є виявлення оптимальної послідовності роботи елементів терміналу, терміну часу на обробку та реалізацію окремої операції.

**Результати досліджень.** Для моделювання роботи нового зернового терміналу була використана система AnyLogic.

Модель, яку ми пропонуємо, імітує основний набір операцій зернового терміналу, послідовність їх виконання та навантаження. Загальний вигляд екрану моделі (рис. 1) складається з декількох розділів, зокрема, об'єктів, основного екрану та властивостей об'єктів.

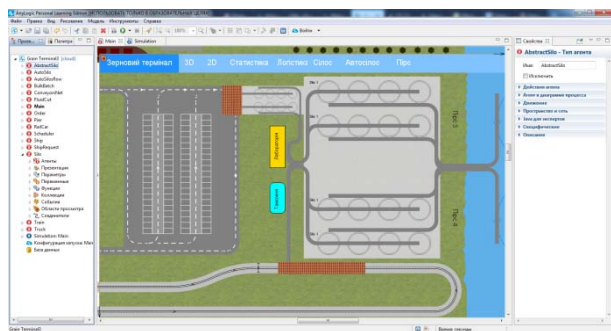


Рис. 1. Моделювання зернового терміналу в системі AnyLogic

При моделюванні були використані наступні операції розвантаження зерна:

- з вантажівок до автосилосу і з автосилосу до основних силосів;
- з потягу до основних силосів;
- з основних силосів до судна.

При моделюванні використовувались обмеження, які необхідні для безперервного використання зернового терміналу.

*Обмеження 1 – вивантаження зерна з вантажівок до автосилосу.*

Автомобіль чекає на вільну відповідну лінійку автоматичних силосів. Після цього автоматичний силос відбирається за такими критеріями:

- він порожній або містить той самий тип зерна, що і розвантажений;
- розвантаження автосилосів доступно тільки після їх заповнення до заданого рівня.

За умови наповнення автосилосу до 75 % або 90 % (параметр, що задається) від його потужності, починається процес вивантаження зерна до основних силосів.

*Обмеження 2 – вивантаження зерна з поїзда.*

Потяг доставляє зерно і процес відвантаження до основних силосів починається негайно.

Кожен потяг і автомобіль доставляє лише один сорт зерна. Процес розвантаження з потягу та автосилосу може відбуватися одночасно.

Основні силоси та автосилоси вважаються вакантними (можуть використовуватися для завантаження або розвантаження) за таких умов:

- він порожній або містить той самий тип зерна, що і тип зерна, раніше вивантажений;
- він не розвантажується або не завантажується (тобто силос не можна одночасно завантажувати та розвантажувати).

*Обмеження 3 – вивантаження зерна з основних силосів на судно.*

Процес заповнення трюмів судна починається за умов:

- судно пришвартоване до одного з доступних причалів;
- судно включає в себе кілька трюмів;
- кожен трюм може містити лише один тип зерна, однак типи зерна в різних трюмах можуть бути різними;

- судна на різних причалах можуть завантажуватися одночасно.

Загальна система моделі складається з 7 розділів та начального екрану з пояснювальною інформацією. Далі наведено зображення 3D і 2D моделі (рис. 2, 3).

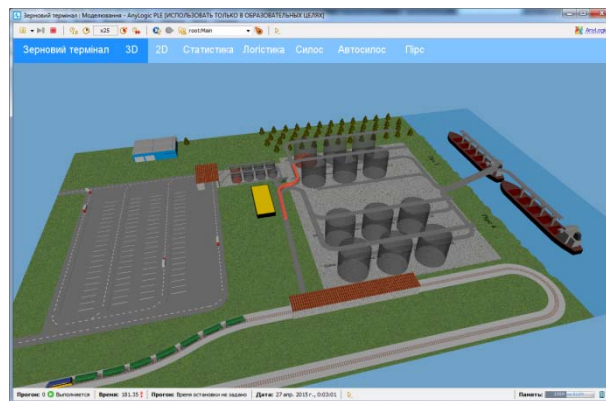


Рис. 2. 3D модель зернового терміналу

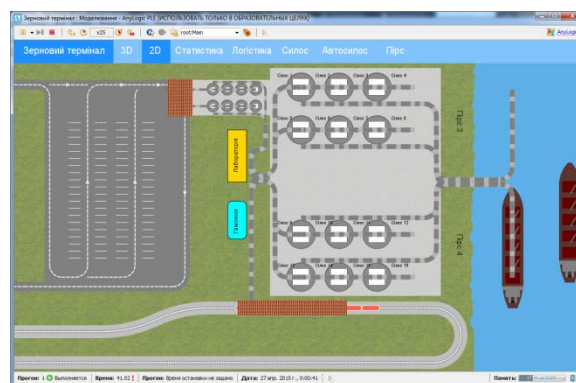


Рис. 3. 2D модель зернового терміналу

Для рішення були використані чисельні методи, а саме:

- метод рішення диференційних рівнянь – метод Ейлера;
- метод вирішення алгебраїчних рівнянь – модифікований метод Ньютона;
- метод рішення змішаних рівнянь – метод Рунге-Кутта (RK45) та метод Ньютона.

Процес моделювання супроводжується масштабом часу, який можна задавати під час моделювання [4, 5]. В верхній частині екрану задано масштаб часу «x25» (рис. 2, 3), тобто час прискорено в 25 разів від реального. Масштаб часу можна змінювати і таким чином прискорювати або сповільнювати моделювання операцій терміналу.

При моделюванні роботи зернового терміналу враховуються статистичні дані за всіма переліченими процесами (рис. 4). Данні формуються у вигляді чисел, за якими створюються діаграми: розвантаження силосів (гістограма); процесів розвантаження (потягів та вантажівок); вивантаження на судна, розташовані на причалах 3 та 4 (кругові діаграми).

При моделюванні використовувалась мова програмування Java. Наприклад, проста функція «round(piers.get(0).loadedAmount(index))» використовується для округлення значення агенту, функція під назвою «rescheduleTrucks» має вигляд:

```
for (AutoSilo autoSilo : autoSilos)
if (autoSilo.isUnloading) return;
for (AutoSilo autoSilo : autoSilos) {
if (autoSilo.isLoading) continue;
if (autoSilo.isEmpty()) continue;
if (autoSilo.amount() < autoSiloThr) continue;
BulkBatch batch = new
BulkBatch(autoSilo.currentBulkType,
autoSilo.amount());
ArrayList<Order> orders = scheduler.schedule(batch,
"auto");
for (Order order : orders)
order.fromSilo = autoSilo;
if (!orders.isEmpty()) {
autoSilo.orders.addAll(orders);
autoSilo.isUnloading = true;
if (autoSilo.id < autoSilos.size() / 2)
autoSilos.get(autoSilos.size() / 2 -
1).unloadExit.connect(autoEnter);
else
autoSilos.get(autoSilos.size() -
1).unloadExit.connect(autoEnter);
autoSilo.unload();
autoValve.open();
return;
} else autoSilo.siloValve.close();
}
```

Розробка Java-аплетів можлива тільки у версії системи AnyLogic pro.

Логістична схема процесів (рис. 5) передбачає розташування, напрямок, кількість та послідовність виконаних операцій. Окрім самої схеми, в розділі «Логістика» за вибраною шкалою часу можна стежити за поточними процесами, які зображені різними кольорами та даними, що відображаються поряд з операцією. Всі дані можна експортувати до Microsoft Excel або іншої бази даних.

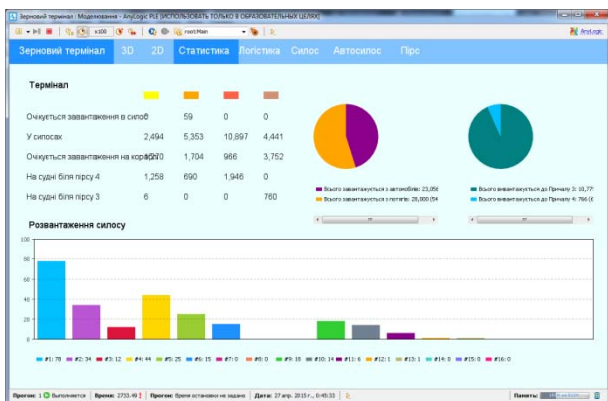


Рис. 4. Статистика моделювання роботи зернового терміналу

Бібліотека «Моделювання Процесів» системи AnyLogic підтримує дискретно-подієвий або "процесний" підхід моделювання. За допомогою об'єктів «Бібліотеки Моделювання Процесів» можливо моделювати системи реального часу, динаміка яких представляється у вигляді послідовності операцій (прибуття, затримка, захоплення ресурсу, поділ, розвантаження) над агентами, що представляють пакети даних, транспортні засоби, потоки та інше. Ці агенти можуть володіти певними атрибутами, що впливають на процес їх обробки (наприклад, тип вантажного транспорту, місткість, швидкість) або накопичують статистику (загальний час очікування, розвантаження, вартість).

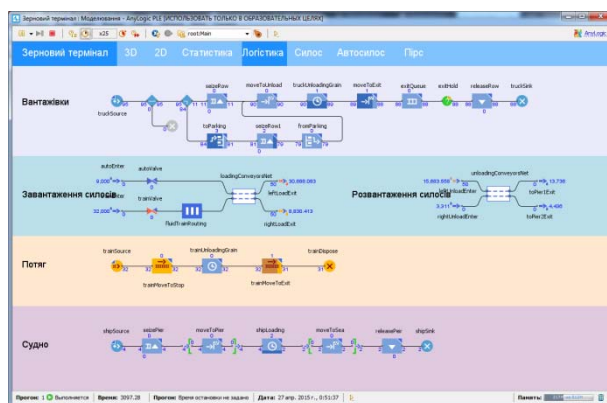


Рис. 5. Анімаційна схема логістики зернового терміналу

**Висновок.** Проаналізовані основні операції зернового терміналу в системі AnyLogic, які мають вигляд потокової діаграми, з метою виявлення оптимальної послідовності роботи елементів терміналу, терміну часу на обробку та реалізацію окремої операції.

Запропоновано використання методу імітаційного моделювання. Моделі є ієрархічними, масштабуються, об'єктно-орієнтовані, що дозволяє моделювати складні системи будь-якого рівня деталізації.

## Література

1. Утвержден проект реконструкции причала № 4 морского порта Мариуполь для будущего зернового терминала [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uspa.gov.ua/ru/press-tsentr/novosti/novosti-ampu/15907-utverzhen-proekt-rekonstruktsii-prichala-4-morskogo-porta-mariupol-dlya-budushchego-zernovogo-terminala>.
2. В Мариупольском МТП начал расти зерновой терминал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ukragroconsult.com/news/v-mariupolskom-mtp-nachal-rasti-zernovoi-terminal>.
3. Anylogic для моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.anylogic.ru>.
4. Муха В.С. Вычислительные методы и компьютерная алгебра: учеб.-метод. пособие / В.С. Муха. – Минск: БГУИР, 2010. – 148 с.

5. Гаркуша Г.Г. Внедрение автоматизированных информационных систем как один из путей развития транспортной логистики // Г.Г. Гаркуша, Г.И. Нечаев, И.В. Сагиров. – Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2012. – № 6 (177). – С. 28 – 32.

#### References

1. The project of berth reconstruction № 4 of Mariupol seaport for the future grain terminal was approved [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.uspa.gov.ua/en/press-tsentr/novosti/novosti-ampu/15907-utverzhdn-proekt-rekonstruktsii-prichala-4-morskogo-porta-mariupol-dlya-budushchego-zernovogo-terminala>.
2. The grain terminal began to grow in the Mariupol MTP [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.ukragroconsult.com/news/v-mariupolskom-mtp-nachal-rasti-zernovoi-terminal>.
2. Anylogic for modeling [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.anylogic.ru>.
3. Mukha V.S. Computational methods and computer algebra: the teaching method. allowance / B.C. Fly. – Minsk: BSUIR, 2010. – 148 p.
4. Garkusha G.G. Introduction of automated information systems as one of the ways of transport logistics development // G.G. Garkusha, G.I. Nechaev, I.V. Sagirov. – Visnik of the V.Dahl EUNU. – 2012. – №. 6 (177). – P. 28 – 32.

#### Гаркуша Г.Г., Сагиров И.В., Жерлицина О.В. Имитационная модель зернового терминала

*В статье предложено использование нового программного продукта – системы AnyLogic – для моделирования работы зернового терминала Мариупольского морского торгового порта. Приведены ограничения, необходимые для непрерывного использования зернового терминала, ключевой фрагмент программы и иллюстрации интерфейса. Общая система*

*модели состоит из 7 разделов и начального экрана с пояснительной информацией.*

**Ключевые слова:** зерновой терминал, имитационная модель, непрерывная работа, ограничения, диаграммы, логистическая схема.

#### Garkusha G.G., Sagirov I.V., Zherlitsyna O.V. Imitating model of grain terminal

*The article proposes to use a new software product – the AnyLogic system – for creating a simulation model for the grain terminal in the Mariupol Sea Commercial Port (SCP), which provides continuous operation. The developed model is considered more realistic. It was developed after the analysis of Mariupol SCP's technological capabilities and project data. The presented material is clear and contains a key part of the program, its interfaces (3D, 2D, charts, logistic scheme), the methods and restrictions used for the continuous use of the grain terminal are given. The general model system consists of 7 sections and an initial screen with explanatory information.*

**Key words:** grain terminal, simulation model, continuous work, constraints, diagrams, logistic scheme.

**Гаркуша Галина Геннадіївна** – канд. техн. наук, проф., завідувач кафедри «Електрообладнання і інформаційні технології» Азовського морського інституту Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: [garkushash@gmail.com](mailto:garkushash@gmail.com).

**Сагиров Ігор Валентинович** – ст. викладач кафедри «Електрообладнання і інформаційні технології» Азовського морського інституту Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: [mantis@ami.edu.ua](mailto:mantis@ami.edu.ua).

**Жерлицина Ольга Вікторівна** – ст. викладач кафедри «Електрообладнання і інформаційні технології» Азовського морського інституту Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: [olga.jerlicina@gmail.com](mailto:olga.jerlicina@gmail.com).

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 09.03.2018.

УДК 629.4-592: 534.836.2

## АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ШУМА ПРИ ДВИЖЕНИИ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЕГО СНИЖЕНИЯ

Герлицы Ю., Горбунов Н.И., Кравченко Е.А., Просвинова О.В., Лак Т.

## ANALYSIS OF THE CAUSES OF NOISE GENERATION DURING THE MOVEMENT OF A RAIL VEHICLE AND METHODS FOR REDUCING IT

Gerlici J., Gorbunov M.I., Kravchenko K.O., Prosvirova O.V., Lack T.

*В статье рассмотрена проблема повышения температуры фрикционных элементов при торможении. Установлено негативное влияние нагрева тормозных колодок на эффективность эксплуатации транспортного средства и безопасность движения. Предложены методы стабилизации температуры в контакте трибоэлементов при торможении. Рассмотрены варианты применения тормозных колодок, элементы которых выполнены из материала с фазовым переходом. Разработана целевая функция по управлению трибопроцессами в контакте тормозных элементов, целью которой является оценка и использование резерва тормозного усилия с достижением максимального тормозного эффекта с минимальным износом и шумом.*

**Ключевые слова:** тормозной диск (колодка), стабилизации температуры, фазовый переход, целевая функция.

**Введение.** Безопасность является ключевым требованием при реализации новых технологий на транспорте. Железнодорожный транспорт является наиболее энергоэффективным и безопасным видом транспорта, тем не менее создаёт значительный шум, особенно грузовые поезда в ночное время, что негативно сказывается на экологическую безопасность окружающей среды. Сегодня повышенный шум входит в «тройку» наиболее вредных экологических факторов. По данным комиссии ЕС по железнодорожному транспорту примерно 10% населения ЕС подвержено вредному воздействию шума от железнодорожного транспорта, которое является угрозой здоровью, а также причиной беспокойства и дискомфорта [1, 2]. Так, при уровнях звука поезда равном 60 дБА процент беспокойства населения составляет около 10%, при 75 дБА – 40%, а при 85 дБА процент беспокойства превышает 70% [3].

Борьба с шумом связана с серьезными затратами. Только на установку акустических экранов вдоль железных дорог в Европе тратится от € 150 до 200 млн ежегодно. Расходы на замену металлических тормозных колодок на композитные для грузовых вагонов могут составить от € 2 до 2,5 млрд [3]. Разработка новых технических предложений по уменьшению шумового воздействия от железнодорожного транспорта требует определения причин и основных источников излучения шума.

**Анализ исследований.** Шум производимый подвижным составом условно можно разделить на три группы, представленные на рис. 1 [1 - 4]. Уровень шума и распределение в процентом соотношении по группам в значительной степени зависит от скорости движения, конструкции подвижного состава и его элементов. Шум оборудования (компрессоры, тяговые электродвигатели и др.) превалирует на скоростях до 50-60 км/ч. Шум качения – процесс соударения в системе «колодка – колесо – рельс» превалирует в диапазоне скоростей 60-300 км/час. Аэродинамический шум, образованный обтеканием воздуха корпуса подвижного состава, пантографа и др. превалирует на скоростях свыше 300 км/ч [2].

Несмотря на то, что безопасность транспортного средства в значительной степени зависит от наличия эффективно работающей тормозной системы, выбор её типа является решающим фактором создания шума в поезде. Это подтверждается перечнем источников шума поезда (рис. 1) и механизмом возбуждения основных источников шума [1-6].

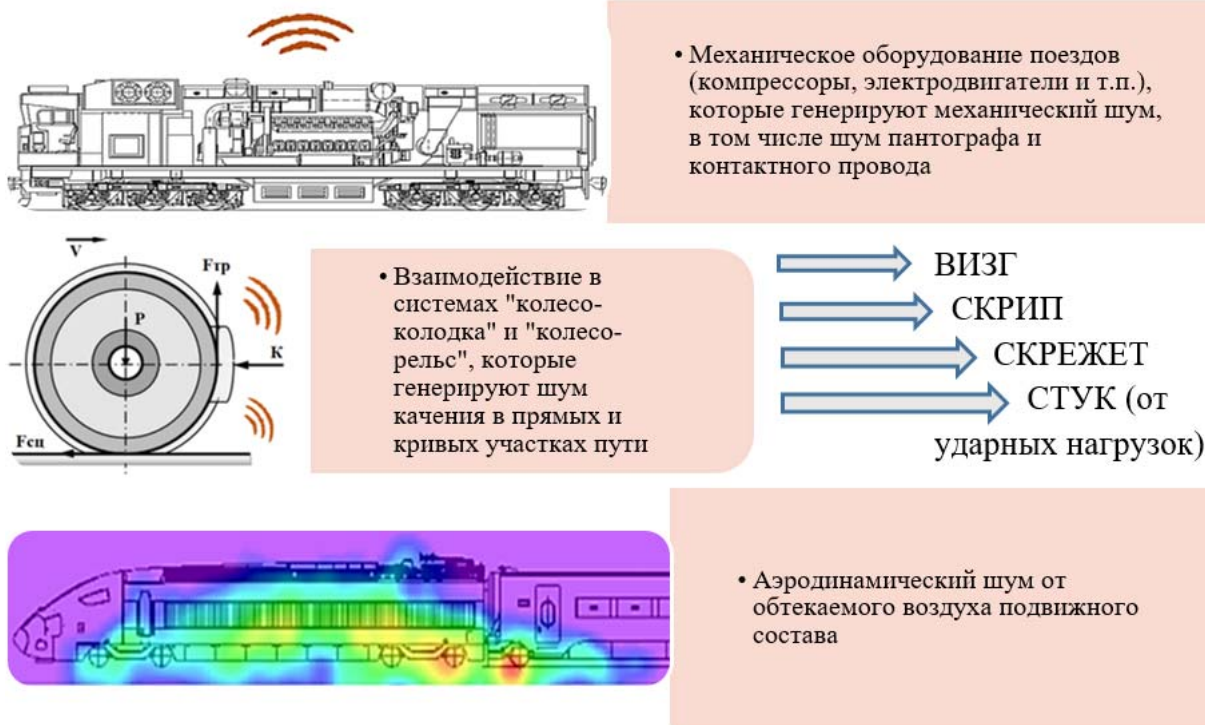


Рис. 1. Группы образования шума от эксплуатации железнодорожного подвижного состава

Процессы, протекающие на фактических пятнах контакта в трибосопряжении «колесо-колодка», приводят к нагреву и изменению свойств поверхности и, как следствие, оказывают влияние на сцепление колеса с рельсом. Колодка и рельс конструктивно между собой не связаны, однако, они взаимодействуют в процессе работы с одним и тем же элементом - колесом, и имеют взаимосвязь через нагрузки и физико-химические свойства материалов.

На поверхностях трения выделяется энергия, которая приводит к разогреву взаимодействующих тел, протеканию структурных превращений при достижении критических температур и изменению физических свойств материалов, а, в конечном итоге, к изменению условий работы пар трения и интенсивности их изнашивания, образованию дефектов и увеличению уровня шума. Кроме того, при трении образуется микросхватывание поверхностей, которое приводит к отрыву микрочастиц и образованию визга и скрипа.

На поверхности колодки тепло генерируется на протяжении всего процесса торможения, в то время как материал по пятну контакта колеса и рельса периодически нагревается и охлаждается с высокими скоростями. Таким образом, работоспособность трибосистемы «колодка-колесо-рельс», исходя из свойств материалов, зависит от их структуры, которая, в свою очередь, изменяется в зависимости от условий нагрева, то есть от количества и вида термических циклов.

Для тормозных колодок подвижного состава желательно, чтобы по мере разогрева отвод тепла от

поверхности трения был более интенсивным. Это может быть достигнуто, если при нагреве как теплопроводность, так и объемная теплоемкость будут увеличиваться.

Для снижения уровня шума от взаимодействия в системе «колодка-колесо-рельс» необходима стабилизация температуры в контакте в зависимости от условий и режимов эксплуатации.

Перспективными решениями по отводу тепла от поверхности трения и стабилизации температуры является:

- принудительная подача воздуха в контакт трибоэлементов;
- принудительная подача воздуха, температура которого регулируется в зависимости от условий и режимов эксплуатации;
- применение колодок с порофоровыми вставками;
- применение колодок с ребрами охлаждения;
- применение тормозных накладок, внешняя поверхность которой, выполнена из теплорассеивающего материала;
- подача в контакт трибоэлементов внешних химических элементов (озон, пенообразователи и др.);
- применение тормозных элементов, в конструкции которых предусмотрены фазовые переходы.

**Анализ исследований.** Создание оптимального температурного режима при торможении возможно достичь применением в конструкции тормозных

элементов дополнительных материалов с фазовым переходом первого рода. Вещество может находиться в нескольких фазах, отличающихся по своим свойствам, составу и строению. Переход вещества из одной фазы в другую — фазовый переход — всегда связан с качественными изменениями свойств вещества (изменения агрегатного состояния вещества или переходы, связанные с изменениями в составе, строении и свойствах вещества). Фазовый переход I рода (тепловой фазовый переход) сопровождается поглощением теплоты и характеризуются постоянством температуры, изменениями энтропии и объема. Подводящая к телу теплота идет не на нагрев тела, а на разрыв межатомных связей.

Предлагается тормозная колодка с повышенной энергоёмкостью, которая содержит фрикционная рабочее тело 1 с отверстиями 2 для размещения вставок из материалов с разной температурой фазового перехода, рабочая поверхность трения 3 тормозной колодки [7].

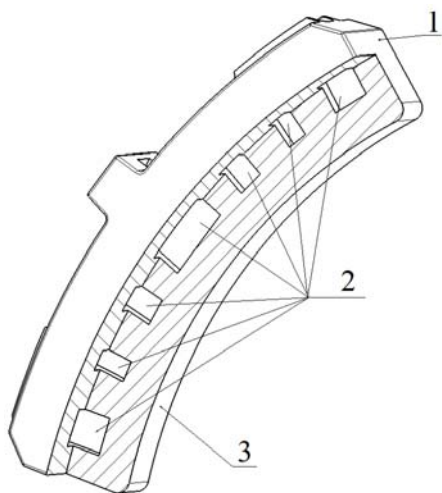


Рис. 2. Тормозная колодка с элементами из материала с фазовым переходом

При торможении железнодорожного подвижного состава колодки прижимаются к колесу или тормозному диску. Температура, возникающая в трибоконтактах идет на разрыв межатомных связей вещества элементов с фазовыми переходами, размещенных в теле колодки. При этом поглощается теплота, а температура тормозной колодки стабилизируется. Энергоёмкость тормозной колодки повышается.

При достижении колодкой температуры  $T_1$ , начинается процесс фазового перехода вещества элемента (переход материала из одного агрегатного состояния в другое), который расположен в теле колодки с наименьшей температурой фазового перехода. Этот процесс сопровождается отбором от колодки и поглощением теплоты  $Q_1$  (рис. 3). В результате температура и коэффициент трения колодки стабилизируется.

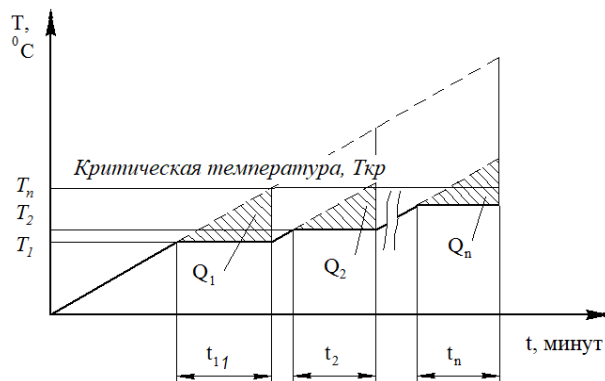


Рис. 3. Изменение температуры тормозной колодки при торможении [8]

При завершении за время  $t_1$  фазового перехода вещества элемента с наименьшей температурой фазового перехода, поверхность колодки начинает снова нагреваться. В этот момент начинается поглощение теплоты  $Q_2$  за время  $t_2$  веществом следующего элемента, температура фазового перехода которого выше, чем температура фазового перехода предыдущего элемента. Процесс повторяется.

Количество элементов с различной температурой фазового перехода и их объем должны изменяться при изготовлении образца тормозной колодки.

Таким образом, при применении элементов с различной температурой фазового перехода критическая температура  $T_{кр}$  тела колодки не достигается, что позволяет стабилизировать температуру и коэффициент трения в контакте, повысить эффективность тормозов, уменьшить процесс износа и уровень шумов качения.

При остановке подвижного состава и охлаждении контакта происходит обратный фазовый переход, за счет охлаждения тела колодки. Вещество элементов колодки охлаждается до температуры обратного фазового перехода и возвращается в первоначальное агрегатное состояние.

Это положительно влияет на фрикционные свойства пары трения - повышает коэффициент сцепления, резко укрепляет и стабилизирует поверхность материалов, тем самым повышая их долговечность и износостойкость. Эффективность торможения позволяет повысить безопасность движения транспортного средства.

Из рисунка 3 видно, что критическая температура  $T_{кр}$ , которая приводит к ухудшению фрикционных параметров колодки, повышенному износу, не достигается при применении элементов с фазовым тепловым переходом, что позволяет стабилизировать температуру в контакте, повысить эффективность торможения, снизить износ и уровень шума качения.

На образование шума в контакте также оказывает влияние микросхватывание поверхностей. Для устранения данного эффекта предлагается при торможении подавать в контакт охлажденный

влажный воздух, объем которого должен быть минимальным с точки зрения фрикционных параметров и максимальным для обеспечения эффекта смазывания. Такое явление подтверждено эксплуатационными исследованиями, которые свидетельствуют, о том, что во время дождя наблюдается снижения шума от торможения. Согласно проведенных исследований [9, 10, 11] влажная поверхность трения снижает трение, однако для обеспечения безопасности является достаточной величиной, при этом такое решение позволяет значительно снизить уровень шума.

Для снижения шума при торможении также предлагается на рабочую поверхность трибосистемы «тормозная колодка - колесо» или «тормозная накладка - тормозной диск» подавать смесь воздуха и жидкости, при этом их соотношение менять в зависимости от условий эксплуатации для обеспечения регламентированного тормозного пути [12]. Температура влажного воздуха регулируется в зависимости от температуры окружающей среды с помощью резервуара для жидкости с терморегулятором. Это позволяет предварительно смазать трущиеся поверхности, тем самым уменьшить температуру в контакте и ее нарастания, уменьшить микроскопления поверхностей трения и устранить возникновения скрежета и визга.

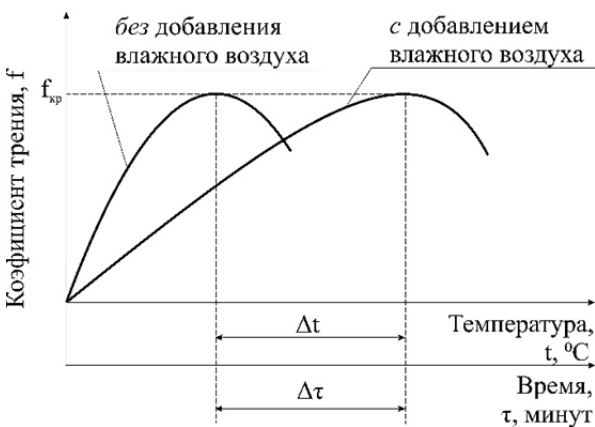


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от температуры и времени торможения

Применение данной системы приводит к уменьшению прироста температуры на  $\Delta t$  и повышению времени достижения критической температуры (критического коэффициента трения  $f_{кр}$ ) на  $\Delta \tau$ , при которой наступает резкое падение коэффициента трения (рис. 4). Такое решение позволит стабилизировать температуру и коэффициент трения, тем самым, уменьшить износ рабочих поверхностей трибоэлементов и повысить безопасность движения.

**Целевая функция для проектирования безопасной и энергично эффективной тормозной системы.** В многоосном экипаже максимальная тормозная сила ограничена силой сцепления лимитирующей, склонной к юзу оси, которая первой переходит в режим избыточного

скольжения в то время, как другие колесные пары не достигают своих максимумов по сцеплению, то есть их тормозные возможности, а вследствие этого и возможности всего экипажа, недоиспользуются. Это обусловлено неравномерным износом колёсных пар, разностью диаметров колёс и статических нагрузок – развески, перераспределения нагрузок от колёсной пары на рельсы при торможении, условий взаимодействия трибоэлементов, разности коэффициентов вертикальной и горизонтальной динамики для каждой колёсной пары и др. [9, 10, 11]. Завышенная тормозная сила некоторых колёсных пар также приводит к юзу, повышению температуры в контакте, снижению безопасности и повышению шума. При минимизации всех неблагоприятных факторов резерв использования тормозной силы рельсовым подвижным составом будет максимальным.

Для оценки резервов системы торможения разработана целевая функция, предполагающая стремления к минимуму разницы между тормозной силой и силой сцепления каждой колёсной пары:

$$C_b = \sum_{i=1}^n (P_i \varphi_{i,max} - B_i f_i) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $P_i$  – вертикальная нагрузка от  $i$ -й колёсной пары на рельсы, [кН];

$\varphi_{i,max}$  – коэффициент сцепления колеса с рельсом, [безразмерная величина];

$B_i$  – сила прижатия тормозной колодки к колесу, [кН];

$f_i$  – коэффициент трения колодки, [безразмерная величина].

Физический смысл целевой функции заключается в том, что в зависимости от вертикальной нагрузки ( $P_i$ ) и физико-механических свойств контакта «колесо-рельс» ( $\varphi_{i,max}$ ) необходимо регулировать силу нажатия тормозных колодок ( $B_i$ ), стабилизировать коэффициент трения в контакте «колесо-колодка» ( $f_i$ ) за счёт регулирования температуры в этом контакте.

**Вывод.** На основании анализа перспективных направлений совершенствования тормозной системы предложены инновационные технические решения и способы, заключающиеся в стабилизации температуры и коэффициента трения пар трения, обеспечивающие как повышение эффективности торможения, так и снижения шума. Создана целевая функция, позволяющая выявить резервы тормозной эффективности экипажа за счёт перераспределения сил нажатия тормозных колодок. Применение в конструкции колодок вставок из материалов с тепловыми фазовыми переходами обеспечивает стабильную температуру (коэффициент трения) в процесс торможения. Предложенный способ реализации резерва тормозной силы подвижного состава позволяют повысить безопасность и снизить уровень шума от одного из источников шума – взаимодействие в системе «колодка - колесо - рельс».

## Литература

1. Blokland G.V. Measures on Rail Traffic Noise in Europe. Input paper for the Interest Group on Traffic Noise / G.V. Blokland, S. Lutzenberger // Abatement, v4. 2014. – 57 p.
2. Куклин Д.А. Проблема снижения внешнего шума поездов в источнике и на пути распространения / Д.А. Куклин // автореф. д.т.н.: 01.04.06. Балтийский государственный технический университет ВОЕНМЕХ им. Д.Ф.Устинова – Санкт-Петербург, 2016. – 52 с.
3. Матвеев П.В. Расчёт и снижение шума качения поездов / П.В. Матвеев // дис. ... к.т.н.: 01.04.06. Балтийский государственный технический университет "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф.Устинова. – Санкт-Петербург, 2015. – 170 с.
4. Youngkey K. Visualizing Noise Sources on KTX High-Speed Trains With LabVIEW / K. Youngkey, Choi Sunghoon // National Instruments. Innovations. Электронный ресурс. Дата 20.03.2018 - <http://www.ni.com/cs-cz.html>.
5. Abu Bakar A.R. Modelling and Simulation of Disc Brake. Contact Analysis and Squeal / A.R. Abu Bakar // Ph. D. dissertation. Liverpool (United Kingdom). 2005 – 201 p.
6. Колесников В.И. Оптимизация динамических характеристик фрикционных материалов и их роль в шумообразовании при трении / В.И. Колесников, В.П. Сергиенко, С.Н. Бухаров, А.П. Сычёв, В.В. Сергиенко // Вестник ЮЖНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН Том 5, № 4. 2009 – С. 3-14.
7. Заява на патент на винахід № а 2017 12216, кл. В61Н1/00, F16D69/02, F16D65/02. Гальмівна колодка / М.І. Горбунов, Ю. Герліці, К.О. Кравченко, В. Хаусер, М.В. Ковтанець, Т. Лак, В.В. Ішук, О.В. Просвірова // заявл. 11.12.2017 – 7 с.
8. Заява на патент на винахід № а 2017 12180, кл. F16D 69/02, F16D 65/02. Спосіб підвищення зносостійкості гальмівних локомотивних колодок / М.І. Горбунов, Ю. Герліці, К.О. Кравченко, М.В. Ковтанець, Т. Лак, О.В. Просвірова - № а 2017 12235, заявл. 11.12.2017 – 7 с.
9. Голубенко О.Л. Зчеплення колеса з рейкою / О.Л. Голубенко. – 2-е изд. доп. и перераб. – Луганськ: Изво ВУГУ, 1999. – 476 с.
10. Горбунов Н.И. Повышение тяговых качеств тепловозов за счет совершенствования упругих связей тележек / Н.И. Горбунов // автореф. дис. ... к.т.н.: 05.22.07. Ворошиловградский машиностроительный институт, Днепропетровск, 1987. – 21 с.
11. Е.А. Кравченко. Обоснование резервов повышения тяговых качеств локомотива и их реализация управлением скольжения в системе колеса с рельсом / Кравченко Е.А. // дис. ... к.т.н.: 05.22.07. Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, Луганск, 2010 – 23 с.
12. Заява на патент на винахід № а 2017 12179, кл. F16D 69/02, F16D 65/02. Система гальмування рейкового рухомого складу / Горбунов М.І., Герліці Ю., Кравченко К.О., Резнічек Р., Ковтанець М.В., Лак Т., Просвірова О.В., заявл. 11.12.2017 – 7 с.

## References

1. Blokland G.V. Measures on Rail Traffic Noise in Europe. Input paper for the Interest Group on Traffic Noise / G.V. Blokland, S. Lutzenberger // Abatement, v4. 2014. – 57 p.
2. Kuklin D.A. The problem of reducing external noise of trains at the source and along the path of expansion: dissertation abstract / D.A. Kuklin // dissertation abstract ... of doctor of technical Sciences: 01.04.06. Baltic state technical University VOENMECH to them. D. F. Ustinov - St. Petersburg, 2016. – 52 p.
3. Matveev P.V. Calculation and reduction of rolling noise of trains / P.V. Matveev // dissertation ... of candidate of technical Sciences: 01.04.06. Baltic state technical University "VOENMECH". D. F. Ustinov - Saint Petersburg, 2015. – 170 p.
4. Youngkey K. Visualizing Noise Sources on KTX High-Speed Trains With LabVIEW / K. Youngkey, Choi Sunghoon // National Instruments. Innovations. Electronic resource. Date 20.03.2018 - <http://www.ni.com/cs-cz.html>.
5. Abu Bakar A.R. Modelling and Simulation of Disc Brake. Contact Analysis and Squeal / A.R. Abu Bakar // Ph. D. dissertation. Liverpool (United Kingdom). 2005 – 201 p.
6. Kolesnikov V.I. Optimization of the dynamic characteristics of friction materials and their role in noise generation under friction / V.I. Kolesnikov, V.P. Sergienko, S.N. Bukharov, A.P. Sychev, V.V. Sergienko // Bulletin of the SOUTHERN SCIENTIFIC CENTER of RAS Vol. 5, No. 4. 2009 – P. 3-14.
7. Application for a patent for an invention № а 2017 12216, kl. V61N1/00, F16D69/02, F16D65/02. Brake pad / M.I. Gorbunov, Ju. Gerlici, K.O. Kravchenko, V. Hauser, M.V. Kovtanec, T. Lak, V.V. Ishhuk, O.V. Prosvirova // from 11.12.2017 – 7 p.
8. Application for a patent for an invention № а 2017 12180, kl. F16D 69/02, F16D 65/02. A method of increasing the wear resistance of brake pads / M.I. Gorbunov, Ju. Gerlici, K.O. Kravchenko, M.V. Kovtanec, T. Lak, O.V. Prosvirova - № а 2017 12235, from 11.12.2017 – 7 p.
9. Golubenko A.L. Adhesion of wheel and rail / A.L. Golubenko // – 2nd edit. – Lugansk: VUGU, 1999. – 476 c.
10. Gorbunov N.I. Improving the traction qualities of the locomotive by improving carts elastic ties / N.I. Gorbunov // dis. ... Ph. D.: 05.22.07 / Voroshilovgrad, 1987. – 21 p.
11. Kravchenko K.A. Justification the reserves for increasing the traction qualities of the locomotive and their implementation control slide in the system of wheel with a rail / Kravchenko K.A. // dis. ... cand. of tech. Sc.: 05.22.07. Lugansk, 2010 – 23 p.
12. Application for a patent for an invention № а 2017 12179, kl. F16D 69/02, F16D 65/02. Система гальмування рейкового рухомого складу / M.I. Gorbunov, Ju. Gerlici, K.O. Kravchenko, R. Reznicek, M.V. Kovtanec, T. Lak, O.V. Prosvirova, from 11.12.2017 – 7 p.

**Герліці Ю., Горбунов М., Кравченко К.О., Просвірова О.В., Лак Т.** Аналіз причин виникнення шуму при русі рейкового транспортного засобу і методи його зниження.

*У статті розглянута проблема підвищення температури фрикційних елементів при гальмуванні. Встановлено негативний вплив нагріву гальмівних колодок на ефективність експлуатації транспортного засобу і безпеку руху. Запропоновано методи стабілізації температури в контакті трибоелементів при гальмуванні. Розглянуто варіанти застосування гальмівних колодок, елементи яких виконані з матеріалу з фазовим переходом. Розроблено цільову функцію з управління трибопроцесами в контакті гальмівних елементів, метою якої є оцінка та використання резерву гальмівного зусилля з досягненням максимального гальмівного ефекту з мінімальним зносом і шумом.*

**Ключові слова:** гальмівний диск (колодка), стабілізації температури, фазовий перехід, цільова функція.

**Gerlici J., Gorbunov M., Kravchenko K., Prosvirova O.V., Lack T.** Analysis of the causes of noise generation during the movement of a rail vehicle and methods for reducing it.

*The article deals with the problem of increasing the temperature of friction elements during braking. The negative effect of heating brake pads on the efficiency of vehicle operation and traffic safety has been established. Methods for stabilizing the temperature in the contact of tribo-elements during braking are proposed. The variants of the use of brake pads, the elements of which are made of a material with a phase transition, are considered. The objective function for controlling tribo processes in the contact of brake elements has been developed, the purpose of which is to estimate and use the braking reserve with the achievement of maximum braking effect with minimal wear and noise.*

**Keywords:** brake disc (shoe), temperature stabilization, phase transition, target function.

**Герліці Ю.** – проф., завідувач кафедри «Транспорт та підйомно-транспортні машини», Жилінський університет.

**Горбунов М.І.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та ПТМ», СХУ ім. В. Даля.

**Кравченко К.О.** – к.т.н., доцент кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та ПТМ», СХУ ім. В. Даля.

**Просвірова О.В.** – аспірантка кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та ПТМ», СХУ ім. В. Даля.

**Лак Т.** – к.т.н., заст. завідувача кафедри «Транспорт та підйомно-транспортні машини», Жилінський університет.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 27.03.2018.

УДК 629.4.077:621.1.016.7: 546.26

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ГАЛЬМОВОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОРОЗСПУХОЇ СПРОМОЖНОСТІ ФРИКЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ

Горбунов М.І., Просвірова О.В., Кравченко К.О.

### EXPERIMENTAL RESEARCH FOR IMPROVED BRAKE EQUIPMENT USE TO ENHANCE ENERGY EFFICIENCY OF THE BRAKE SYSTEM FRICTION ELEMENTS

Gorbunov M., Prosvirova O., Kravchenko K.

*Мета дослідження - оцінка впливу охолодження фрикційних поверхонь на ефективність роботи гальмівної системи шляхом експериментального визначення коефіцієнта тертя і температури взаємодіючих поверхонь при різних методах і режимах охолодження. Експериментальним дослідженням встановлено, що математична модель теплофізичних характеристик дискового гальма, яка враховує систему адаптивного охолодження, забезпечує задовільну відповідність результатів розрахунків з експериментальними даними, розбіжність не перевищує 15%. Аналіз отриманих експериментальних даних дозволяє зробити висновок про позитивний вплив адаптивного охолодження фрикційних поверхонь гальма на ефективність гальмування. Так, коефіцієнт тертя при використанні даної системи на 15-30% більше, в залежності від продуктивності та температури охолоджуючого повітря, ніж без її використання. Середньоінтегральна температура поверхонь, що знаходяться під фрикційної взаємодії, при цьому нижче в середньому на 20-30% в порівнянні з випадком, коли не використовується адаптивне охолодження.*

**Ключові слова:** залізничний транспорт, гальмування, фрикційна взаємодія, дискове гальмо, енергоефективність.

**Вступ.** Ефективність гальмівних засобів є однією з найважливіших умов, які визначають можливість підвищення ваги та швидкості руху поїздів, пропускну і провізної спроможності залізних доріг. Від властивостей і стану гальмівного обладнання рухомого складу в значній мірі залежить безпека руху.

У зв'язку з постійним підвищенням швидкостей руху поїздів пред'являються високі вимоги до гальмівних засобів. Застосування відомої конструкції колодкового гальма, яка передбачає взаємодію гальмівної колодки з поверхнею катання

коліс, обмежене границями їх допустимого нагріву. Використання дискових гальм набуває все більшого поширення, адже потрібна гальмівна потужність не досягається за допомогою колодкових гальм. Використання колодкових гальм на високих швидкостях також є небажаним через суттєве збільшення зносу коліс.

Для підвищення ефективності гальмування рейкового рухомого складу необхідно створити гальмівними пристроями достатню гальмівну потужність і забезпечити стійке зчеплення коліс із рейками. Аналіз проблем існуючого гальмівного обладнання зумовив вибір перспективного напрямку дослідження з підвищення ефективності гальмування – керування температурою гальмівних фрикційних поверхонь.

На основі проведеного комплексного аналізу експериментальних та теоретичних досліджень [1-6], визначено, що однією з найважливіших проблем гальмівних пристроїв є підтримання поверхневих температур їх пар тертя в певних межах. Перевищення допустимих температур фрикційних поверхонь призводить до втрати ними знософрикційних властивостей, спостерігається дестабілізація експлуатаційних параметрів (динамічного коефіцієнта тертя, гальмівного моменту, механічних і теплових деформацій, зносу і т.д.) гальмівних пристроїв. Зважаючи на це, доцільно для забезпечення вимог щодо стабілізації температури фрикційної пари гальм.

**Мета статті** – оцінка впливу охолодження фрикційних поверхонь на ефективність роботи гальмівної системи шляхом експериментального визначення коефіцієнта тертя і температури взаємодіючих поверхонь при різних методах і режимах охолодження.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Експериментальні дослідження процесу гальмування проводилися за допомогою лабораторного натурального тормозного стенда, розробленому кафедрою підійомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля [7, 8]. Стенд призначений для випробування різних конструкцій гальмових пристроїв і контролю їхніх вихідних параметрів.

Стенд (рис. 1-4) дозволяє акумулювати кінетичну енергію за допомогою оберткових дисків, фіксувати частоту обертання, число включень, тривалість роботи привода та реєструвати такі вихідні параметри гальма і привода: гальмовий момент, зусилля в тязі, час розмикання гальма й розгону привода, час спрацьовування і гальмування, температуру взаємодіючих поверхонь, кут повороту гальмових стійок.

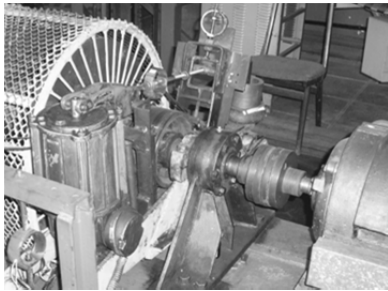


Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної установки

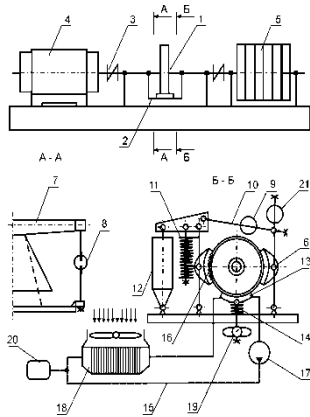


Рис. 2. Принципова схема експериментального стенду

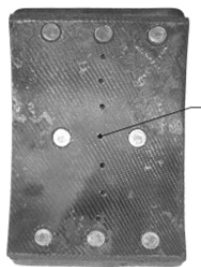


Рис. 3. Розміщення термопар на робочій поверхні гальмової колодки



Рис. 4. Вимірювальна апаратура. Пірометр, анемометр

Усі значення експериментальних величин, отриманих у паралельних дослідах, перевірені на відсутність грубих помилок за допомогою критерію Стьюдента [8, 9]. Результати експериментів представлені на рис. 5, 6.

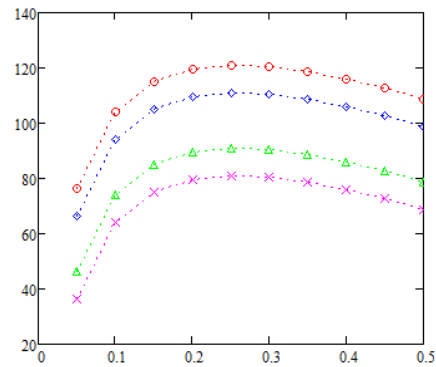


Рис. 5. Середня температура фрикційних поверхонь в процесі гальмування; зусилля притиску однієї гальмової колодки складає 1500 Н

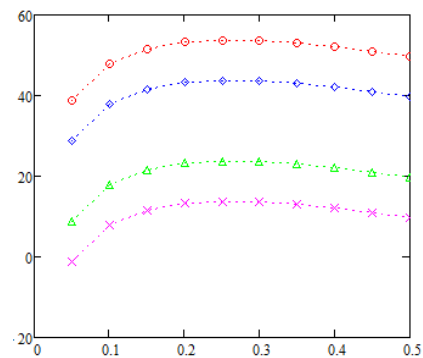


Рис. 6. Середня температура фрикційних поверхонь в процесі гальмування; зусилля притиску однієї гальмової колодки складає 500 Н

**Висновки.** Експериментальним дослідженням встановлено, що математична модель теплофізичних характеристик дискового гальма, яка враховує систему адаптивного охолодження, забезпечує задовільну відповідність результатів розрахунків з експериментальними даними, розбіжність не перевищує 15%. Аналіз отриманих експериментальних даних дозволяє зробити висновок про позитивний вплив адаптивного охолодження фрикційних поверхонь гальма на

ефективність гальмування. Так, коефіцієнт тертя при використанні даної системи на 15-30% більше, в залежності від продуктивності та температури охолоджуючого повітря, ніж без її використання. Середньоінтегральна температура поверхонь, що знаходяться під фрикційної взаємодії, при цьому нижче в середньому на 20-30% в порівнянні з випадком, коли не використовується адаптивне охолодження.

### Література

1. Горбунов М.І. Аналіз технічних рішень по підвищенню енергорозсіючої спроможності елементів гальмових систем / М.І. Горбунов, К.О. Кравченко, О.В. Просвірова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: в 2 - х ч. Ч.1. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013 – № 18(207) – С. 57-61.
2. Топал А.С. Моделі та методи автоматизованої підтримки прийняття рішень щодо технологічної підготовки складального виробництва в літакобудуванні / А.С. Топал // Автореф. дис... канд. техн.: 05.13.06; Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського „ХАІ”. Харків, 2006.
3. Горбунов М. Заявка на винахід № а201701575 від 20.02.2017, Дисккове гальмо / Горбунов М., Герлічі, Я., Лак Т., Хаусер, В., Лоулова М., Харусинец Я., Кравченко К., Ноженко О., Просвірова О., Кравченко К, 2017.
4. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования / Д.И. Батищев // – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.
5. Пат. 91595 Україна МПК (2014.01): F16D 69/00. Спосіб взаємодії гальмівної колодки із колесом залізничного транспортного засобу / Горбунов М.І., Кравченко К.О., Ноженко В.С., Просвірова О.В.; заявник і власник СХУ ім. В.Даля. – опубл. 10.07.2014, бюл. № 13/2014.
6. Иноземцев В.Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава. Вопросы и ответы. – М.: Транспорт, 1986. – 283 с.
7. Старченко В.Н., Шевченко С.И. Измерительная система для диагностики и испытания тормозных устройств, транспортных машин. // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2006. – №7. – С. 193 – 196.
8. Бойко Г.А., Будиков Л.Я. Стенд для диагностирования тормозов кранов. В сб. Подъемно – транспортное оборудование. – М.: ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, No 6–88–39, 1988. – 4 с.
9. Наукові основи підвищення ефективності гальмування поліпшенням умов взаємодії коліс з гальмівними колодками і рейками: Дис. ... доктора техн. наук: 05.22.07 / В.М. Старченко; Східноукр. нац. ун-т ім. В.Даля. – Луганськ, 2008. – 354 с.

### References

1. Gorbunov N.I., Kravchenko K.A., Prosvirova O.V. Analiz tekhnichnykh rishen' po pidvyschennyu enerhorozsiyuyuchoyi spromozhnosti elementiv halmovykh system [Analysis of technical solutions to improve energoresursu ability of braking systems] / Vestnik of East-Ukrainian national University named after Volodymyr Dahl: in 2 p. p. 1. No. 18(207). Lugansk, VDEUNU, 2013. P. 57-61.

2. Topal A.S. Modeli ta metodi avtomatizovanoi pidtrimki priynjattja rishen' shhodo tehnologichnoi pidgotovki skladal'nogo virobniictva v litakobuduvanni / A.S. Topal // Avtoref. dis... kand. tehn.: 05.13.06; Nacional'nij aerokosmichnij universitet im. M.E. Zhukovs'kogo „HAI”. Harkiv, 2006.
3. Gorbunov, M., Gerlici, J., Lack, T., Hauser, V., Loulova, M., Harusinec, J., Kravchenko, K., Nozgenko, O., Prosvirova, O., Kravchenko, K. Application for invention № a 2017 01575 from 20.02.2017, Disc brakes (in ukr)..
4. Batishev D.I. Metody optimal'nogo proektirovanija / D.I. Batishev // – М.: Радио и svjaz', 1984. – 248 s.
5. Gorbunov N.I., Kravchenko K.A., Nozhenko V.S., Prosvirova O.V. Sposib vzayemodiyi halmivnoyi kolodky iz kolesom zaliznychnoho transportnoho zasobu [The method of interaction of the brake pads with the wheel of the rail vehicle] Patent UA, no. 91595, 2014.
6. Inozemtsev V.G. Brakes of railway rolling stock. Questions and answers. - Moscow: Transport, 1986. - 283 p.
7. Starchenko V.N., Shevchenko S.I. Measuring system for the diagnosis and testing of brake devices, transport vehicles. // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. - 2006. - №7. - P. 193 - 196.
8. Boyko GA, Budikov L.Ya. Stand for diagnosing the brakes of cranes. In the collection. Lifting and transport equipment. - Moscow: TSNITEITYAZHMASH, No 6-88-39, 1988. - 4 p.
9. Наукові основи підвищення ефективності гальмування поліпшенням умов взаємодії коліс з гальмівними колодками і рей: Dis. ... doctors of techn. Sciences: 05.22.07 / V.M. Starchenko; Sci. nat. un-t it. V.Dal. - Lugansk, 2008. - 354 p.

**Горбунов Н.И., Просвірова О.В., Кравченко Е.А. Экспериментальное обоснование целесообразности использования усовершенствованного тормозного оборудования для повышения энерго рассеивающей способности фрикционных элементов тормозной системы.**

*Цель исследования – оценка влияния охлаждения фрикционных поверхностей на эффективность работы тормозной системы путем экспериментального определения коэффициента трения и температуры взаимодействующих поверхностей при разных методах и режимах охлаждения. Экспериментальным исследованием установлено, что математическая модель теплофизических характеристик дискового тормоза, которая учитывает систему адаптивного охлаждения, обеспечивает удовлетворительное соответствие результатов расчетов экспериментальным данным, расхождение не превышает 15%. Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о положительном влиянии адаптивного охлаждения фрикционных поверхностей тормоза на эффективность торможения. Так, коэффициент трения при использовании данной системы на 15-30% больше, в зависимости от производительности и температуры охлаждающего воздуха, чем без ее использования. Среднеинтегральная температура поверхностей, находящихся во фрикционном взаимодействии, при этом ниже в среднем на 20-30% по сравнению со случаем, когда не используется адаптивное охлаждение.*

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, торможение, фрикционное взаимодействие, дисковый тормоз, энергоэффективность.

**Gorbunov M., Prosvirova O., Kravchenko K.**  
**Experimental research for improved brake equipment use to enhance energy efficiency of the brake system friction elements.**

*The purpose of the study is to evaluate the effect of cooling frictional surfaces on the efficiency of the braking system by experimentally determining the coefficient of friction and the temperature of the interacting surfaces under different methods and regimes of cooling. Experimental research established that the mathematical model of the disc brake thermophysical characteristics, which takes into account the adaptive cooling system, ensures a satisfactory match of the results of calculations to experimental data; the discrepancy does not exceed 15%. Analysis of the experimental data obtained allows concluding that adaptive cooling of the brake friction surfaces has a positive effect on the braking efficiency. Thus, the coefficient of friction when using this system is 15-30% higher, depending on the performance and temperature of the cooling air, than without its use. The average integral temperature of surfaces in*

*frictional interaction is lower by average of 20-30% compared to the case when adaptive cooling is not used.*

*Key words: rail transport, braking, friction interaction, disc brake, energy efficiency.*

**Горбунов М.І.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, СНУ ім. В. Даля, м. Сєверодонецьк, Україна.

**Просвірова О.В.** – старший викладач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, СНУ ім. В. Даля, м. Сєверодонецьк, Україна.

**Кравченко К.О.** – к.т.н., доц., доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, СНУ ім. В. Даля, м. Сєверодонецьк, Україна.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 18.04.2018.

УДК 621.313:8

**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРИВОДУ ДОПОМІЖНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОВІЗІВ СЕРІЙ ВЛ-80<sup>Т,К</sup>, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В НЕСИНУСОЇДАЛЬНОМУ ТА НЕСИМЕТРИЧНОМУ РЕЖИМАХ**

Гулак С.О., Єрмоленко Е.К.

**DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR THE INVESTIGATION OF THE OPERATION OF SUPPLEMENTARY MACHINES OF ELECTROVASES OF SERIES OF VL-80<sup>T,K</sup>, WORKING IN NON-INSOID AND NOSIOMETRIC MODES**

Goolak S., Yermolenko E.

*В статті розглянуто питання щодо побудови математичної моделі системи приводу допоміжних машин електровізів серій ВЛ-80<sup>Т,К</sup>, в якій мотор – вентилятори, мотор – компресори та мотор – насоси є асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором і отримують живлення від розщеплювача фаз, що є асинхронним електричним двигуном з несиметричними обмотками статора, який живиться від тягового трансформатора напругою несинусоїдальної форми. Досліджено вплив несинусоїдальної напруги живлення системи допоміжного приводу та несиметрії трифазної системи напруги живлення асинхронних двигунів на величину вищих гармонійних складових струмів, що протікають в ланцюгах допоміжного приводу.*

**Ключові слова:** коефіцієнт потужності, несиметрія, несинусоїдальна напруга, узагальнена машина.

**Вступ.** З метою задоволення вимог Національної комісії, що здійснює державне регулювання в області енергетики (НКРЕ КП), що пред'являються до споживачів електричної енергії на Укрзалізниці слід розробити ряд технічних і організаційних заходів щодо підвищення коефіцієнту потужності електрорухомого складу.

**Постановка проблеми.** Згідно до вимог НКРЕ КП  $\cos \varphi$  споживачів повинен бути не менше за 0,9, тобто,  $\cos \geq 0,9$ . Аналіз споживання електроенергії на тягу поїздів на Південно – Західній залізниці за 2017 р. показав, що сумарний коефіцієнт потужності електрорухомого складу був 0,773 ( $\cos = 0,773$ ). Крім того, номінальний коефіцієнт потужності електровізів серій ВЛ-80<sup>Т,К</sup> 0,82, який є меншим за нормативно встановлений НКРЕ КП. Така ситуація вимагає від Укрзалізниці прийняття ряду організаційних та технічних заходів, направлених на збільшення коефіцієнту потужності електрорухомого складу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанню дослідження роботи систем допоміжних машин присвячені роботи таких вчених, як А.М. Рутштейн, Р.І. Алікін, А.А. Суровіков, О.А. Некрасов, В.Я. Ісаєв, М.М. Горін, А.Ю. Конашинський, М.А. Ротанов, В.П. Янов, О.П. Рапопорт, Л.М. Сорін, Г.М. Шестоцьоров, В.Є. Чернохлебов, Л.А. Астраханцев та ін. Сьогодні багато вчених за кордоном таких, як P. Donolo, G. Bossio, Y. Zhang, H. Che, E. Levi, Wooi ping Hew, J. R. Gómez Sarduy, C. Quispe, M. Gazafredi, M. Pineda-Sanchez, G. De Carne, які працюють в напрямку дослідження роботи режимів несиметрії та несинусоїдальної в асинхронних двигунах загального призначення [1-6]. Але і сьогодні, при аналізі роботи системи допоміжного приводу електровізів змінного струму виникає багато питань.

**Мета статті.** Для дослідження роботи системи приводу допоміжних машин електровізів змінного струму серій ВЛ-80<sup>Т,К</sup>, що живиться несинусоїдальною напругою і має несиметричну систему трифазних напруг на обмотках статора розщеплювача слід розробити математичну модель даного приводу і реалізувати її в одному із програмних середовищ.

**Результати досліджень.** Система приводу допоміжних машин електровізів серій ВЛ-80<sup>Т,К</sup> для однієї секції складається з чотирьох мотор – вентиляторів, одного мотор – компресорів і одного мотор – насоса, які є асинхронними електричними двигунами з короткозамкненим ротором. Система допоміжного приводу живиться від допоміжної обмотки тягового трансформатора. Напруга, що поступає від допоміжної обмотки тягового трансформатора поступає на розщеплювач фаз, який при включенні працює як асинхронний двофазний двигун, а при досягненні частоти обертання валу

номінального значення перемикається і починає працювати як генератор трифазної напруги, що живить мотор – вентилятори, мотор – компресор та мотор – насос. В ряді робіт, присвячених дослідженню роботи приводу допоміжних машин, зазначалось, що напруга на вторинній обмотці тягового трансформатора має несинусоїдальну. Статорні обмотки розщиплювача фаз мають різні кількості витків для кожної фази. Все це свідчить, що для аналізу вищих гармонійних складових струмів, що протікають в ланцюгах системи приводу допоміжних машин слід розробити математичну модель системи, яка буде працювати при несинусоїдальній напрузі живлення та при несиметричній системі трифазних напруг.

При аналізі роботи асинхронного двигуна (АД), порівнянні результатів розрахункових і реальних кривих струмів і напруг фаз найбільш зручним є запис рівнянь моделі узагальненої асинхронної машини в трифазних загальмованих координатах [8,9]. Така модель придатна без додаткових перетворень рівнянь для розгляду несиметричних за живленням або параметрами АД режимів його роботи. Результати моделювання по координатам  $\alpha, \beta, \gamma$  відповідають реальним процесам в фазах  $A, B, C$ , які при короткозамкненому роторі можуть бути заміряні тільки експериментально.

Введемо позначення:  $u$  – напруга;  $i$  – струм;  $t$  – час;  $r$  – активний опір;  $\psi$  – потокощеплення;  $\omega_r$  – механічна частота обертання ротору;  $p$  – число пар полюсів; нижні індекси  $\alpha, \beta, \gamma$  означають належність до відповідної фази; нижній індекс  $s$  – належність до статора; індекс  $r$  – належність до ротору;  $L$  – повна індуктивність фази;  $M$  – взаємна індуктивність фаз статора та ротора;  $J$  – момент інерції мас, що обертаються на валу ротора;  $M_C$  – статичний момент на валу ротора.

Рівняння електромагнітних процесів асинхронного двигуна:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{s\alpha} = r_{s\alpha} \cdot i_{s\alpha} + \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt}; \\ u_{s\beta} = r_{s\beta} \cdot i_{s\beta} + \frac{d\psi_{s\beta}}{dt}; \\ u_{s\gamma} = r_{s\gamma} \cdot i_{s\gamma} + \frac{d\psi_{s\gamma}}{dt}; \\ -u_{r\alpha} = r_{r\alpha} \cdot i_{r\alpha} + \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} + \frac{(\psi_{r\beta} - \psi_{r\gamma}) \cdot p \cdot \omega_r}{\sqrt{3}}; \\ -u_{r\beta} = r_{r\beta} \cdot i_{r\beta} + \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} + \frac{(\psi_{r\gamma} - \psi_{r\alpha}) \cdot p \cdot \omega_r}{\sqrt{3}}; \\ -u_{r\gamma} = r_{r\gamma} \cdot i_{r\gamma} + \frac{d\psi_{r\gamma}}{dt} + \frac{(\psi_{r\alpha} - \psi_{r\beta}) \cdot p \cdot \omega_r}{\sqrt{3}} \end{array} \right. \quad (1)$$

Потокощеплення:

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi_{s\alpha} = L_{s\alpha} \cdot i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{s\beta} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{s\gamma} + \\ + M \cdot \left( i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\beta} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\gamma} \right); \\ \psi_{s\beta} = L_{s\beta} \cdot i_{s\beta} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{s\gamma} + \\ + M \cdot \left( i_{r\beta} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\gamma} \right); \\ \psi_{s\gamma} = L_{s\gamma} \cdot i_{s\gamma} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{s\beta} + \\ + M \cdot \left( i_{r\gamma} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\beta} \right); \\ \psi_{r\alpha} = L_{r\alpha} \cdot i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{r\beta} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{r\gamma} + \\ + M \cdot \left( i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\beta} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\gamma} \right); \\ \psi_{r\beta} = L_{r\beta} \cdot i_{r\beta} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{r\gamma} + \\ + M \cdot \left( i_{s\beta} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\gamma} \right); \\ \psi_{r\gamma} = L_{r\gamma} \cdot i_{r\gamma} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot M \cdot i_{r\beta} + \\ + M \cdot \left( i_{s\gamma} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\beta} \right) \end{array} \right. \quad (2)$$

Рівняння електромагнітного моменту асинхронного двигуна:

$$M_{EM} = \frac{3}{2} \cdot p \cdot [(i_{s\alpha} \cdot i_{r\gamma} + i_{s\beta} \cdot i_{r\alpha} + i_{s\gamma} \cdot i_{r\beta}) - (i_{s\alpha} \cdot i_{r\beta} + i_{s\beta} \cdot i_{r\gamma} + i_{s\gamma} \cdot i_{r\alpha})] \quad (3)$$

Рівняння руху для валу двигуна при одномасовій механічній частині:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = J \cdot (M_{EM} - M_C) \quad (4)$$

На електровозах серій ВЛ-80<sup>Т,К</sup> в якості мотор – вентилятора і мотор – компресора використовується асинхронний двигун АЭ-92-4. Його паспортні дані:  $P_1 = 75, \text{кВт}$ ,  $n_{ном} = 1425, \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ ,  $P_2 = 40, \text{кВт}$ ,  $I_H = 90, \text{А}$ ,  $\cos \varphi = 0.91$ ,  $r_{s\alpha} = r_{s\beta} = r_{s\gamma} = 0,055, \text{Ом}$ ,  $r_{r\alpha} = r_{r\beta} = r_{r\gamma} = 0,015, \text{Ом}$ ,  $L_{s\alpha} = L_{s\beta} = L_{s\gamma} = 14,3, \text{мГн}$ ,  $L_{r\alpha} = L_{r\beta} = L_{r\gamma} = 14,1, \text{мГн}$ ,  $L_\mu = 0,02, \text{Гн}$  - повна індуктивність фази обмотки статора від основного магнітного потоку, що враховує наявність струмів в інших фазах

(індуктивність від основного магнітного потоку, яка створена самою обмоткою  $M$ , і індуктивність від частини основного потоку, що створена двома іншими обмотками статора  $\frac{M}{2}$ ).

$$M = \frac{2}{3} \cdot L_{\mu} = \frac{2}{3} \cdot 0.02 = 0.0133, \text{ мГн} \quad - \text{ взаємна}$$

індуктивність фази обмоток ротора і статора асинхронного двигуна при співпадінні їх осей або індуктивність обмотки статора від основного магнітного потоку, розрахована при відсутності струмів в інших фазах статора і обмотках ротора (тобто, від частини основного магнітного потоку, створеного самою фазою статора).

Роботу мотор – насосу враховувати не доцільно, так як його потужність значно менша за потужність мотор – вентилятора та мотор – компресора і його вплив на виникнення вищих гармонійних складових струмів незначний.

Так як розщиплювач фаз починає живити допоміжні машини в установленому режимі, будувати розробляти для нього модель на основі диференціальних рівнянь, що описують його роботу, є недоцільним. Пропонується в моделі системи допоміжного приводу електровозу замінити розщиплювач фаз джерелами напруг, що будуть відповідати його фазним напругам в режимі генератора. Для цього слід побудувати векторні діаграми напруг статорних обмоток розщиплювач фаз, що працює в режимі генератора з навантаженням і по ним визначити фазні напруги статора.

В якості розщиплювач фаз на електровозах серій ВЛ-80<sup>Т.К</sup> використовується асинхронний двигун НБ-455А. Його параметри: потужність трифазного навантаження - 75, кВ·А; коефіцієнт потужності -  $\cos \varphi = 0.755$ ; номінальна напруга однофазної мережі - 380, В; частота - 50, Гц; магнітна система – активна сталь асинхронного дво полюсного двигуна єдиної серії АЭ 82 – 2; число витків обмоток статора -  $w_1 = 24$   $w_3 = 48$   $w_5 = 48$ ; реактивний опір обмоток фаз статора -  $x_1 = 0,076, \text{ Ом}$ ,  $x_3 = 0,218, \text{ Ом}$ ,

$x_3 = 0,258, \text{ Ом}$ ; активний опір обмоток фаз статора -  $r_1 = 0,025, \text{ Ом}$ ,  $r_3 = 0,05, \text{ Ом}$ ,  $r_3 = 0,067, \text{ Ом}$ ; індуктивний опір обмотки ротора, приведений до першої фази обмотки двигуна -  $x'_2 = 0,024, \text{ Ом}$ ; активний опір обмотки ротора, приведений до першої фази обмотки двигуна -  $r'_2 = 0,013, \text{ Ом}$ ; кількість зубців статора -  $Z_1 = 36$ ; кількість зубців ротора  $Z_2 = 24$ ; число пар полюсів -  $p = 1$ ; число пазів на полюс і фазу -  $q_1 = 4$ ,  $q_3 = 8$ , втрати в сталі машини -  $\Delta P_{СТ} = 1260, \text{ Вт}$ , механічні втрати -  $\Delta P_{МХ} = 2620, \text{ Вт}$ , Втрати енергії в клітці ротора від зворотного поля -  $\Delta P_{02} = 1681, \text{ Вт}$  [7].

Обмотка двигуна включена в однофазну мережу і створює пульсуюче магнітне поле, яке можна розкласти на два обертальні: пряме, що йде в сторону обертання ротора, та зворотне – в зворотну сторону. Останнє при обертанні ротора гаситься його струмами майже подвійної частоти, а пряме поле наводить в обмотках трьох фаз ЕРС і створює на виводах 1,3,5 джерело трифазної напруги (рис. 2).

Не повністю скомпенсоване зворотне поле наводить в обмотках статора ЕРС, які спотворюють трикутник напруги на затискачах розщиплювача фаз, що враховується в розрахунках.

Для визначення кутів між осями фаз будують «зірку» ЕРС прямої послідовності з врахуванням взаємного з'єднання окремих провідників обмотки в полігон ЕРС. Графічний метод полягає в наступному. Довільним радіусом проводять півколо, що зображує полюсний поділок машини (рис. 2). Потім від центру проводять пряму лінію під кутом, що відповідає кутовому зміщенню  $q_1$  пазів першої фази в розточці статора, тобто:

$$\delta = \frac{2 \cdot \pi \cdot p}{Z_1} \cdot q_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1}{36} \cdot 4 = 40^\circ \quad (5)$$

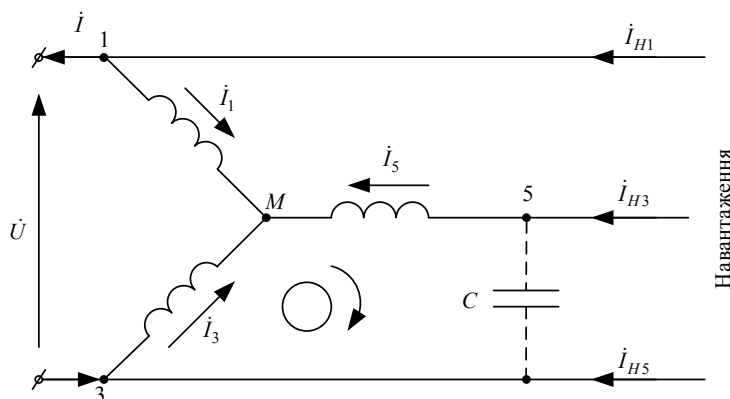


Рис. 1. Створення трифазної напруги на виводах розщиплювача фаз

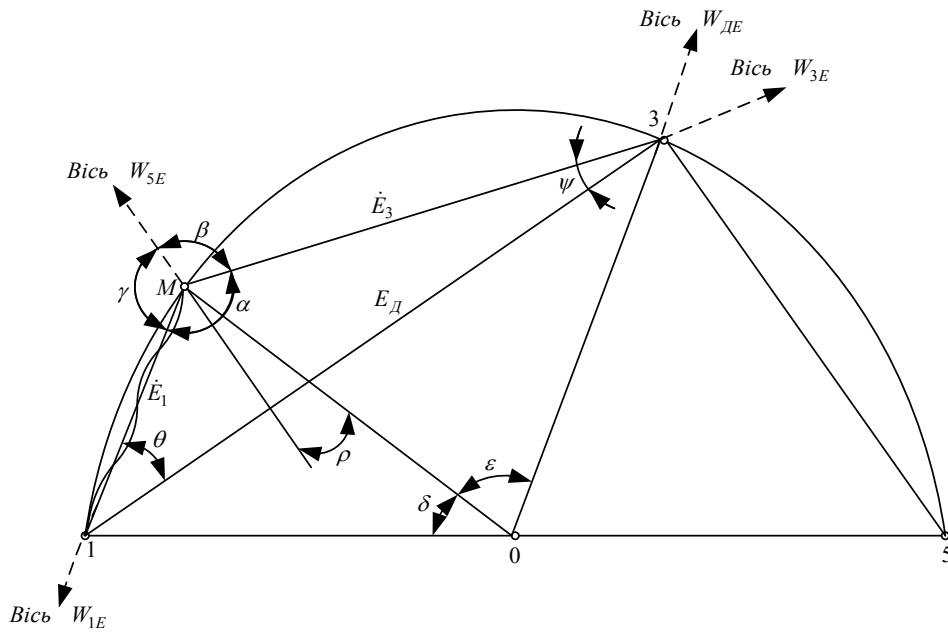


Рис. 2. Графічний метод для визначення кутів між осями фаз

і для другої фази:

$$\epsilon = \frac{2 \cdot \pi \cdot p}{Z_1} \cdot q_3 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1}{36} \cdot 8 = 80^\circ \quad (6)$$

З'єднуючи точки 1–М–3 і 1–3, отримуємо трикутник, в якому сторони 1–М, М–3 і 1–3 в деякому масштабі зображують ЕРС відповідно обмотки фаз і всієї обмотки двигуна. Оскільки генераторна фаза підключено до обмотки двигуна в точці М, відрізок 3–5 переміщують в точку М і з трикутника 1–М–3 визначають шукані кути між осями фаз  $\alpha$ ,  $\beta$  і  $\gamma$ , враховуючи, що при однаковому числі ефективних провідників, які приходяться на один паз в фазах 1 і 3,  $\rho = \frac{\pi}{2}$ ,

$\theta = \frac{\epsilon}{2} = \frac{80^\circ}{2} = 40^\circ$ ,  $\psi = \frac{\delta}{2} = \frac{40^\circ}{2} = 20^\circ$  (вписаний в коло кут складає половину центрального, що опирається на ту ж дугу). На стороні 1–М умовно показаний полігон ЕРС першої фази чотириполюсної машини.

Тоді, згідно з рисунком 3:

$$\alpha = \pi - (\theta + \psi) = 120^\circ \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{\pi}{2} + \theta = 130^\circ \quad (8)$$

$$\beta = 2 \cdot \pi - (\gamma + \alpha) = 110^\circ \quad (9)$$

Для точок 1 та М обмотки справедливі співвідношення:

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_3 + \dot{I}_5 = 0 \quad (10)$$

$$\dot{I}_5 = \dot{I}_{5H} + \dot{I}_C \quad (11)$$

де  $\dot{I}_{5H}$  - струм навантаження генераторної фази. Так як навантаженням генераторної фази є чотири мотор - вентилятори і один мотор – компресор, модуль струму навантаження буде рівний сумі номінальних струмів цих двигунів. Коефіцієнт потужності цих двигунів  $\cos \varphi = 0.91$ . Отже фаза струму навантаження:

$$\varphi_H = \arccos(0.91) = 24,5^\circ \quad (12)$$

В тому випадку, коли до виводів 3–5 розщеплювача фаз підключена ємність значенням  $C = 1000, \text{мкФ}$ , ємнісний струм буде рівним:

$$\dot{I}_C = U \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot e^{j30^\circ} \quad (13)$$

Фаза цього вектору визначається з умови, що вектор струму  $\dot{I}_C$  перпендикулярний вектору напруги  $\dot{U}_{35}$ , а відповідно, складає з вектором прикладеної напруги  $U$  кут  $30^\circ$  (при симетричному «трикутнику» напруг).

Ємність, що включається на виводи розщеплювача фаз, залежить від вибраних параметрів машини. Для попереднього розрахунку її значення можна прийняти 500–1000, мкФ з наступним уточненням.

Напишемо рівняння сил намагнічування прямої послідовності фази двигуна:

$$\dot{F}_D = \dot{F}_\mu + \dot{F}_a + \dot{F}_H = 0.9 \cdot w_{DE} \cdot \dot{I}_\mu + 0.9 \cdot w_{DE} \cdot \dot{I}_a - 0.9 \cdot w_{5E} \cdot \dot{I}_5 \cdot e^{-j\rho} \quad (14)$$

де  $\dot{F}_\mu$  - сила намагнічування прямої послідовності;

$\dot{F}_a$  - сила намагнічування, що створюється активним струмом, який споживається з мережі;

$\dot{F}_H$  - сила намагнічування фази двигуна на протікання струму в генераторній фазі.

Знак мінус перед останньою складовою рівнянням (14) вказує на те, що сила намагнічування обмотки двигуна компенсує силу намагнічування генераторної фази, а множник  $e^{-j\rho}$  враховує кут зсуву між осями генераторної обмотки і фіктивної обмотки двигуна. Покладають, що фіктивна фаза двигуна з фіксованим струмом здійснює таку ж магнітну дію, як і реальні фази зі струмами, що протікають по ним.

З іншого боку  $\dot{F}_D$  створюється струмами  $\dot{I}$  та  $\dot{I}_3$ , тобто:

$$\dot{F}_D = \dot{F}_1 + \dot{F}_3 = 0.9 \cdot w_{1E} \cdot \dot{I}_1 \cdot e^{-j(\pi-\theta)} + 0.9 \cdot w_{3E} \cdot \dot{I}_3 \cdot e^{-j\psi} \quad (15)$$

Коефіцієнти  $e^{-j(\pi-\theta)}$  при  $\dot{I}_1$  та  $e^{-j\psi}$  при  $\dot{I}_3$  враховують кут зсуву між дійсними осями обмоток першої і другої фази і віссю обмотки фіктивної фази двигуна.

З рівнянь (14) та (15) слідує:

$$w_{DE} \cdot (\dot{I}_\mu + \dot{I}_a) - w_{5E} \cdot \dot{I}_5 \cdot e^{-j\rho} = -w_{1E} \cdot \dot{I}_1 \cdot e^{-j\theta} + w_{3E} \cdot \dot{I}_3 \cdot e^{-j\psi} \quad (16)$$

Враховуючи, що  $w_{1E} \cdot e^{-j\theta} + w_{3E} \cdot e^{-j\psi} = w_{DE}$  і розв'язуючи рівняння (10) і (16), отримуємо:

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_\mu + \dot{I}_a + \dot{I}_5 \cdot \left( -e^{-j\theta} \cdot \frac{w_{1E}}{w_{DE}} - e^{-j\rho} \cdot \frac{w_{5E}}{w_{DE}} \right) \quad (17)$$

де  $w_{1E} = w_1 \cdot k_{w1}$ ;  $w_{3E} = w_3 \cdot k_{w3}$ ;  $w_{5E} = w_5 \cdot k_{w5}$

В формулах (14) і (17) активний струм:

$$I_a = \frac{\Delta P_{CT} + \Delta P_{MX} + \frac{\Delta P_{02}}{2}}{U} \quad (18)$$

Струм намагнічування відстає від напруги живлення на  $90^\circ$ . Тоді:

$$\dot{I}_\mu = I_\mu \cdot e^{j90^\circ} = 46.2 \cdot e^{j90^\circ}, A \quad (19)$$

Для втрат від зворотного поля беруть половинне значення, так як покладають, що

половина потужності, яка покриває втрати  $\Delta P_{02}$ , передається зі статора на ротор полем прямої послідовності, а друга половина – полем зворотної послідовності, що враховують нижче. Струм  $\dot{I}_5$  з коефіцієнтом при цій величині визначається електромагнітною потужністю, що передається з обмотки двигуна на генераторну.

З рівняння (10) знаходимо струм  $\dot{I}_1$ . Векторна діаграма струмів зображена на рис. 3.

Далі визначають ЕРС обмотки фази двигуна. З початку координат під кутом  $\rho$  до вектору  $\dot{E}_D$  намічають напрям ЕРС генераторної фази, величина якої:

$$E_5 = E_D \cdot \frac{w_{5E}}{w_{DE}} \quad (20)$$

Напруга, що споживається з мережі:

$$\dot{U} = \Delta \dot{u}_3 + \dot{E}_D - \dot{\Delta} u_1 \quad (21)$$

де

$$\Delta \dot{u}_1 = j \dot{I}_1 \cdot x_1 + \dot{I}_1 \cdot r_1 + j \dot{I}_{01} \cdot x'_2 + \dot{I}_{01} \cdot \frac{r'_2}{2} \quad (22)$$

$$\Delta \dot{u}_3 = j \dot{I}_3 \cdot x_3 + \dot{I}_3 \cdot r_3 + j \dot{I}_{01} \cdot x'_2 \cdot e^{-j\alpha} \cdot \frac{w_{3E}}{w_{1E}} + \dot{I}_{01} \cdot \frac{r'_2}{2} \cdot e^{j\alpha} \cdot \frac{w_{3E}}{w_{1E}} \quad (23)$$

З виразу (21) знаходимо ЕРС обмотки двигуна:

$$\dot{E}_D = \dot{U} - \Delta \dot{u}_3 + \dot{\Delta} u_1 \quad (24)$$

Тоді ЕРС генераторної фази:

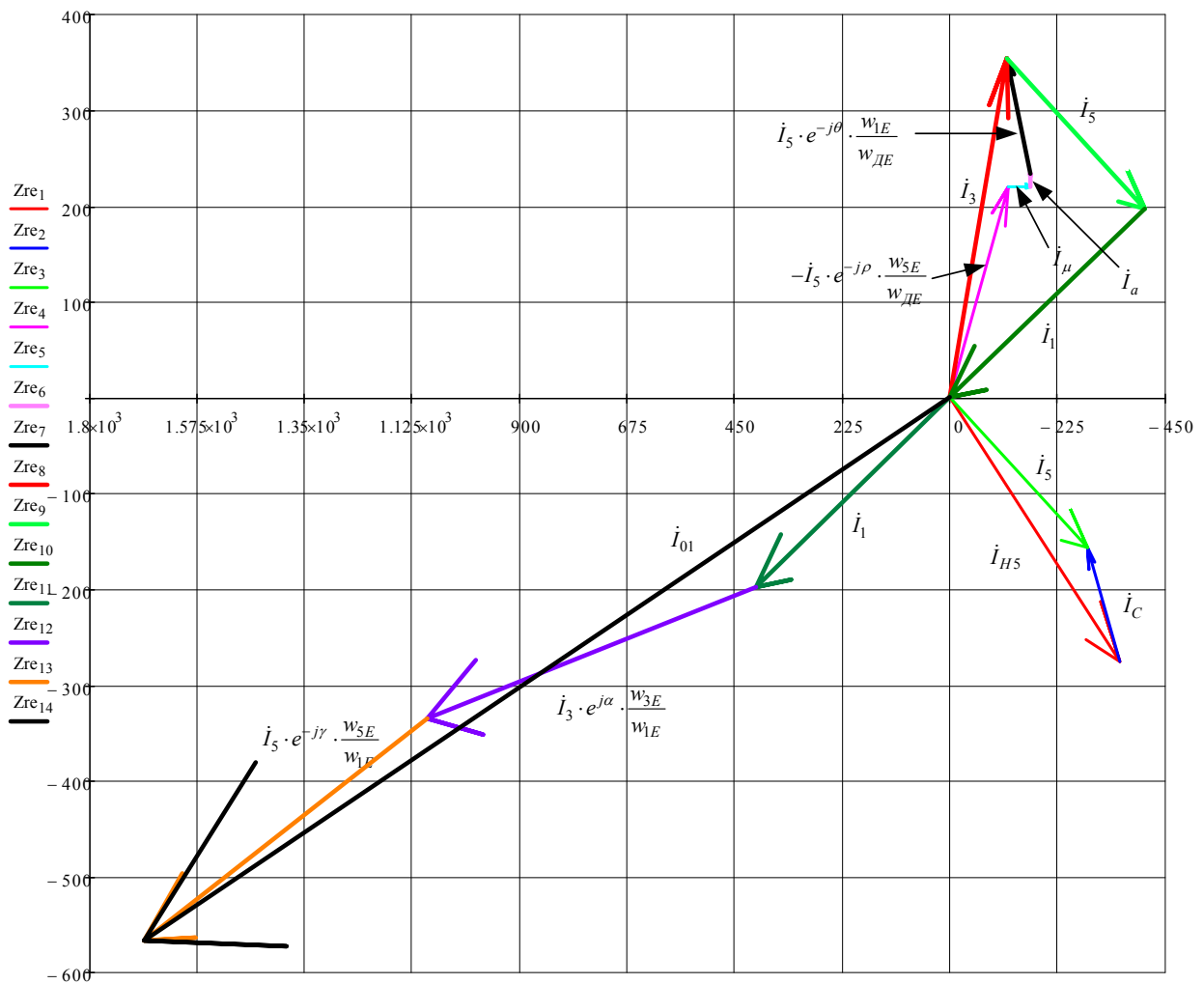
$$\dot{E}_5 = \dot{E}_D \cdot e^{j\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{w_{5E}}{w_{DE}} \quad (25)$$

Напруга генераторної фази:

$$\dot{U}_5 = \dot{E}_5 - \Delta \dot{u}_5 \quad (26)$$

Падіння напруги в генераторній фазі:

$$\Delta \dot{u}_5 = \dot{I}_{01} \cdot \frac{r'_2}{2} \cdot e^{j\gamma} \cdot \frac{w_{5E}}{w_{1E}} + j \dot{I}_{01} \cdot x'_2 \cdot e^{j\gamma} \cdot \frac{w_{5E}}{w_{1E}} + \dot{I}_5 \cdot r_5 + j \dot{I}_5 \cdot x_5 \quad (27)$$



Zim<sub>1</sub>, Zim<sub>2</sub>, Zim<sub>3</sub>, Zim<sub>4</sub>, Zim<sub>5</sub>, Zim<sub>6</sub>, Zim<sub>7</sub>, Zim<sub>8</sub>, Zim<sub>9</sub>, Zim<sub>10</sub>, Zim<sub>11</sub>, Zim<sub>12</sub>, Zim<sub>13</sub>, Zim<sub>14</sub>  
 Рис. 3. Векторна діаграма статорних струмів розщиплювача фаз

З рисунку 2 знаходимо ЕРС в обмотці першої та третьої фази двигуна:

$$\dot{E}_1 = \frac{\sin \psi}{\sin \alpha} \cdot \dot{E}_D \cdot e^{j\theta} \quad (28)$$

$$\dot{E}_3 = \frac{\sin \theta}{\sin \alpha} \cdot \dot{E}_D \cdot e^{j(\pi-\psi)} \quad (29)$$

Знаходимо лінійні напруги:

$$U_{15} = -\dot{E}_1 + \Delta \dot{u}_1 + \dot{U}_5 \quad (30)$$

$$U_{53} = \dot{E}_3 - \Delta \dot{u}_3 - \dot{U}_5 \quad (31)$$

Векторні діаграми падінь напруг в обмотках фаз зображені на рис. 4.

Векторні діаграми фазних ЕРС зображені на рис. 5.

Для врахування несиметричних режимів система несиметричних ЕРС розкладається на три складові: нульову, пряму та зворотну послідовності. Нульова послідовність визначається як [10]:

$$\dot{E}_{0A} = \dot{E}_{0B} = \dot{E}_{0C} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{E}_{sA} + \dot{E}_{sB} + \dot{E}_{sC}) \quad (32)$$

Пряма послідовність:

$$\dot{E}_{1A} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{E}_{sA} + a \cdot \dot{E}_{sB} + a^2 \cdot \dot{E}_{sC}); \quad (33)$$

$$\dot{E}_{1B} = a^2 \cdot \dot{E}_{1A}; \quad \dot{E}_{1C} = a \cdot \dot{E}_{1A}$$

Зворотна послідовність:

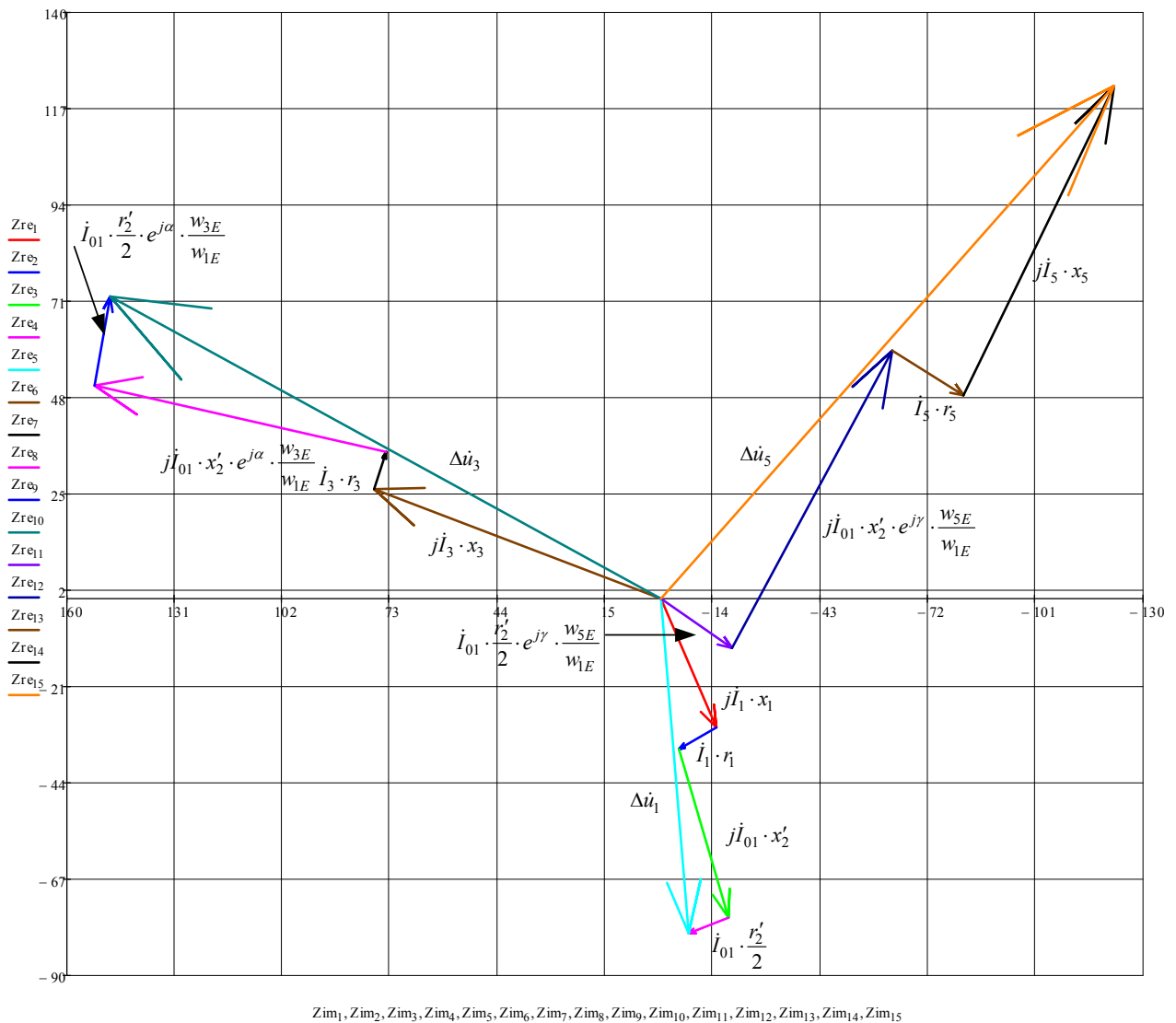
$$\dot{E}_{2A} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{E}_{sA} + a^2 \cdot \dot{E}_{sB} + a \cdot \dot{E}_{sC}); \quad (34)$$

$$\dot{E}_{2B} = a \cdot \dot{E}_{2A}; \quad \dot{E}_{2C} = a^2 \cdot \dot{E}_{2A}$$

де -  $a = e^{-j120^\circ}$ ,  $\dot{E}_{sA} = \dot{E}_1$ ,  $\dot{E}_{sB} = \dot{E}_3$ ,  $\dot{E}_{sC} = \dot{U}_5$

Кожна послідовність напруг живить свій блок моделей, описаних вище.

Результуючий момент буде сумою моментів кожної послідовності.



Зим<sub>1</sub>, Зим<sub>2</sub>, Зим<sub>3</sub>, Зим<sub>4</sub>, Зим<sub>5</sub>, Зим<sub>6</sub>, Зим<sub>7</sub>, Зим<sub>8</sub>, Зим<sub>9</sub>, Зим<sub>10</sub>, Зим<sub>11</sub>, Зим<sub>12</sub>, Зим<sub>13</sub>, Зим<sub>14</sub>, Зим<sub>15</sub>

Рис. 4. Векторні діаграми падінь напруг в обмотках фаз

Для побудови математичної моделі в рівняннях (1) – (4) виразимо статорні та роторні струми через відповідні потокощеплення. По рівнянням (32) – (34) для системи трифазних напруг (рис. 5) знаходимо пряму, зворотну і нульову послідовності. Так як напруга нульової послідовності за амплітудою значно менша за амплітуди напруг прямої і зворотної послідовності [9], при побудові математичної моделі нею можна знехтувати. В додатку Simulink програмного середовища MATLAB будуватиметься блок обчислення прямої і зворотної послідовності системи трифазних напруг (рис. 6). На основні перетворених рівнянь (1) – (4) в цьому ж програмному середовищі будуватиметься дві моделі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, на одну з яких подається система трифазних напруг прямої послідовності, на іншу – зворотної послідовності. Моменти з двох моделей додаються і для обчислення швидкості валу двигуна використовується сумарний момент.

На індикацію виводяться сумарний момент, моменти при живленні двигуна системами трифазних напруг прямої і зворотної послідовності, частота обертання валу двигуна і статорний струм фази *A*. Статорний струм фази *A* необхідний для подальших досліджень, так як згідно з рис. 1 струм, що споживається від обмотки тягового трансформатора, можна виразити або через статорний струм фази *A*, або через статорний струм фази *B*. Модель системи приводу допоміжних машин, що живиться від несиметричної системи трифазних напруг зображена на рис. 6.

Для перевірки математичної моделі на адекватність подаємо на неї симетричну систему трифазних напруг і статичний момент опору, що відповідає номінальній частоті обертання валу двигуна та номінальній електричній потужності ротора. Для двигуна АЭ-92-4, що використовується на електровозах серій ВЛ – 80<sup>Т,К</sup>, номінальна частота обертання валу двигуна складає

$n_{ном} = 1425, \frac{об}{хв}$ , номінальна електрична потужність ротора -  $P_2 = 40, кВт$ . Номінальна кутова швидкість обертання валу двигуна:

$$\omega_H = \frac{n_H}{9,55} = \frac{1425}{9,55} = 149,2, \frac{рад}{с} \quad (35)$$

Номінальний статичний момент:

$$M_C = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{40000}{149,2} = 350, Н \cdot м \quad (36)$$

По діаграмі пускових характеристик двигуна АЭ-92-4 (рис. 7) з графіку для швидкості обертання валу двигуна у встановленому режимі з находимо, що швидкість обертання валу двигуна -  $n = 1430, \frac{об}{хв}$ .

Це свідчить про адекватність моделі.

Математична модель асинхронного двигуна, що живиться від несиметричної системи напруг зображена на рис. 8.

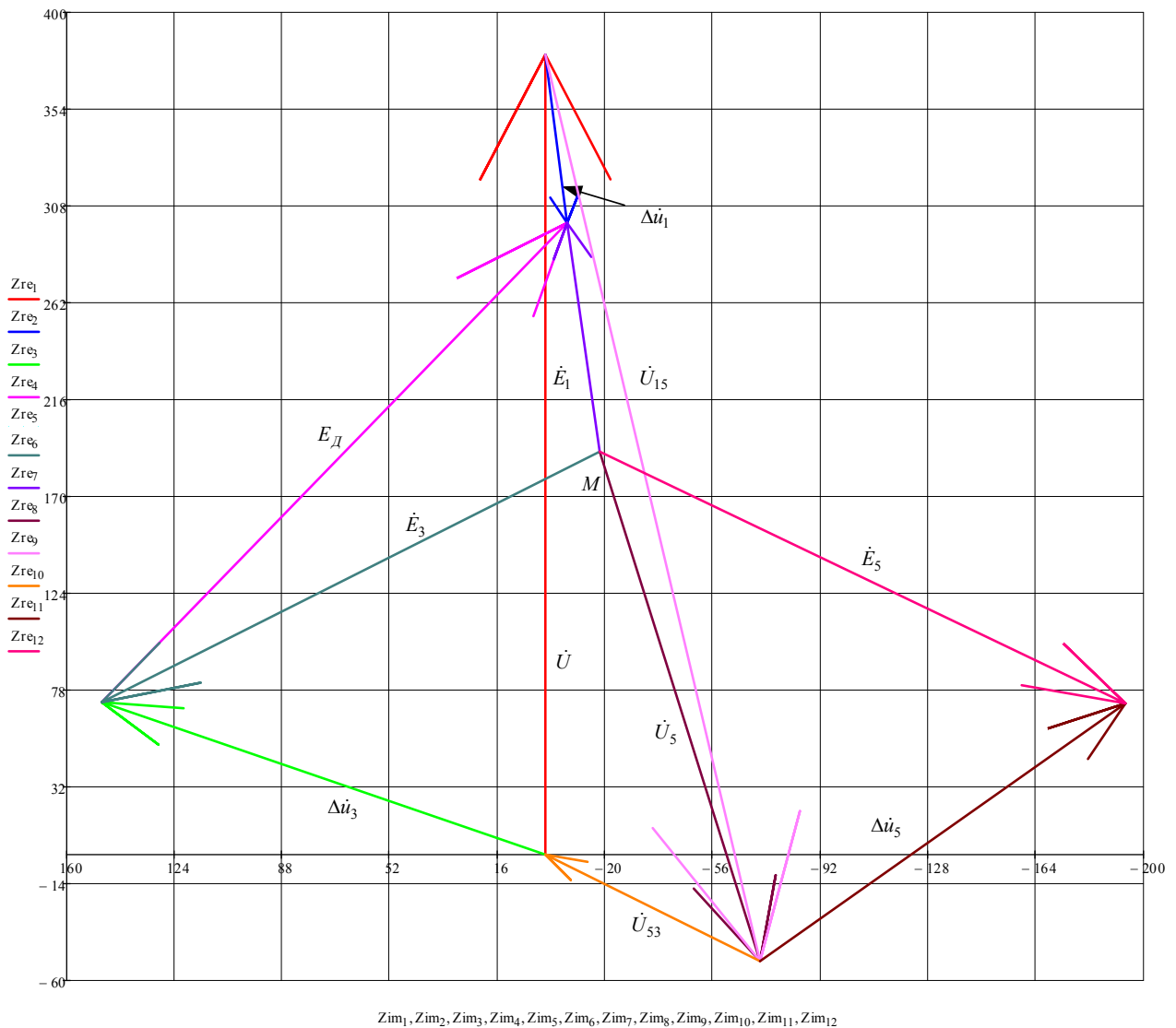


Рис. 5. Векторні діаграми фазних ЕРС

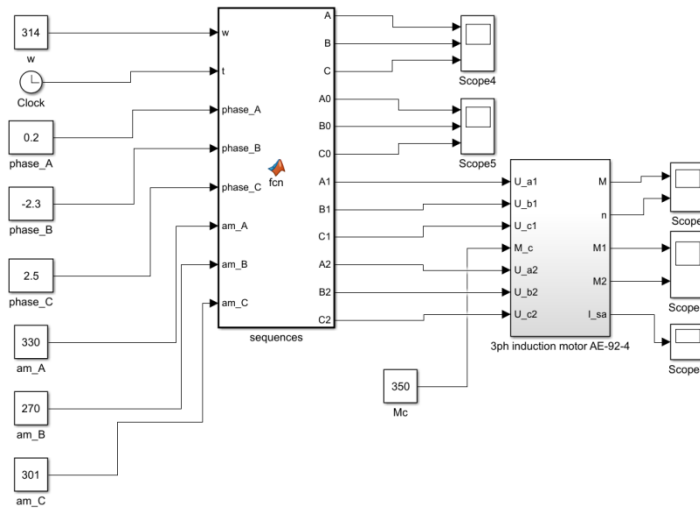


Рис. 6. Математична модель системи допоміжних машин електрозв'язу ВЛ – 80<sup>Т,К</sup>, що живиться від системи несиметричних трифазних напруг

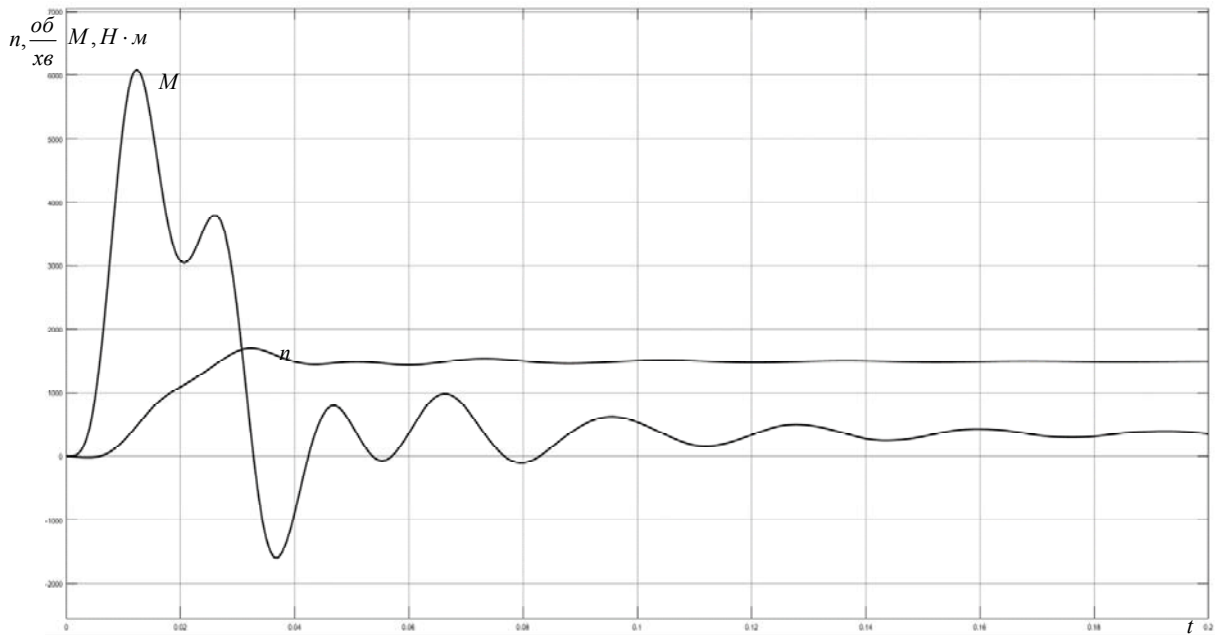


Рис. 7. Пускові характеристики двигуна АЭ-92-4 при симетрії напруг живлення

Для аналізу впливу несиметрії системи трифазних напруг живлення на роботу асинхронного двигуна і системи допоміжних машин в цілому в моделі (рис. 6) задаємося фазними напругами, розрахованими за виразами (26), (28) і (29) та показаними на рис. 5. Часові діаграми системи трифазних несиметричних напруг зображені на рис. 9. Пускові характеристики асинхронного двигуна при несиметричній системі трифазних напруг живлення зображені на рис. 10. Діаграми моментів від дії прямої і зворотної

послідовності напруг живлення зображені на рис. 11.

Аналізуючи рис. 7 та 10 можна зробити висновок, що при живленні асинхронного двигуна від системи несиметричних трифазних напруг зменшується частота обертання валу двигуна (з  $n=1430, \frac{\text{об}}{\text{хв}}$  до  $n=1400, \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ ) та збільшується час перехідного процесу (з  $t=0.04, \text{с}$  до  $t=0.08, \text{с}$ ) в порівнянні з режимом, коли асинхронний двигун живиться від системи симетричних трифазних напруг.

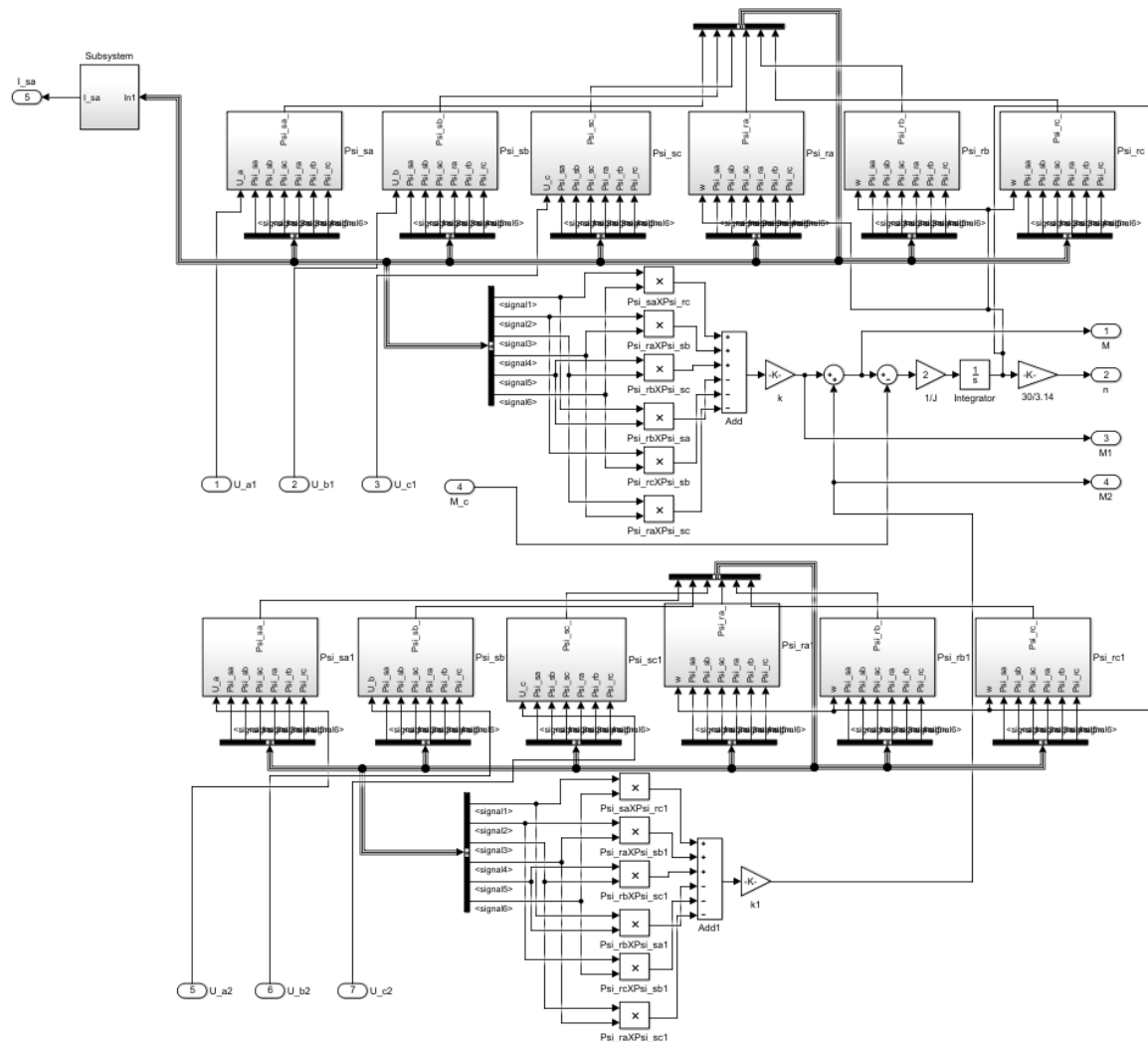


Рис. 8. Математична модель асинхронного двигуна, що живиться від системи трифазних несиметричних напруг

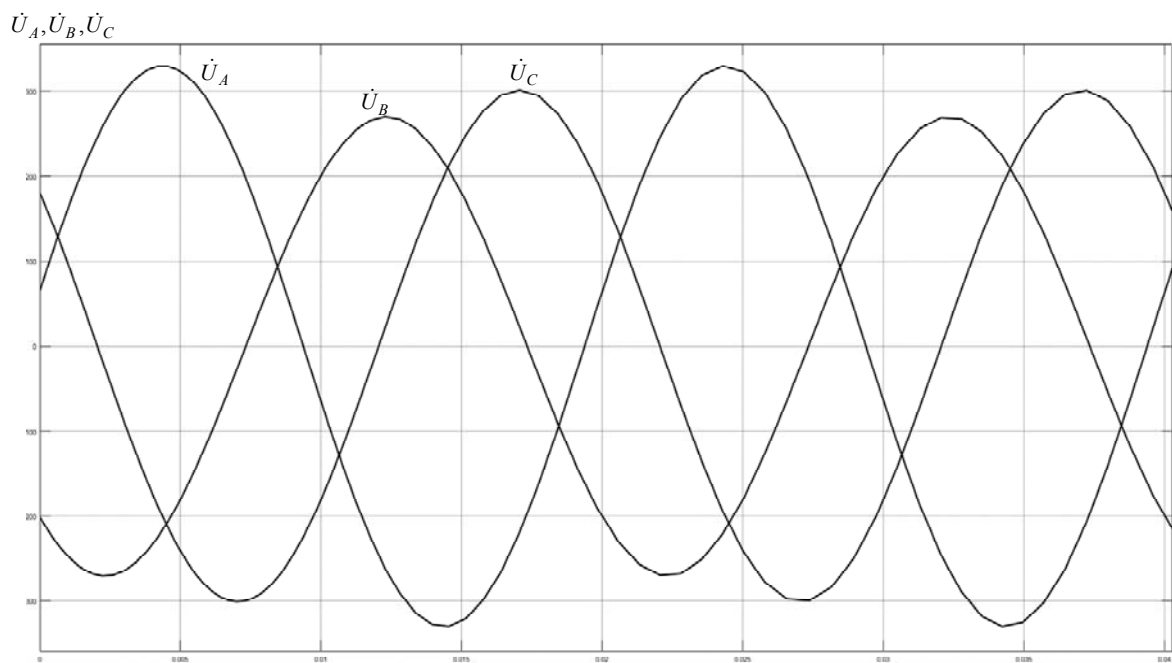


Рис. 9. Система несиметричних трифазних напруг живлення асинхронного двигуна

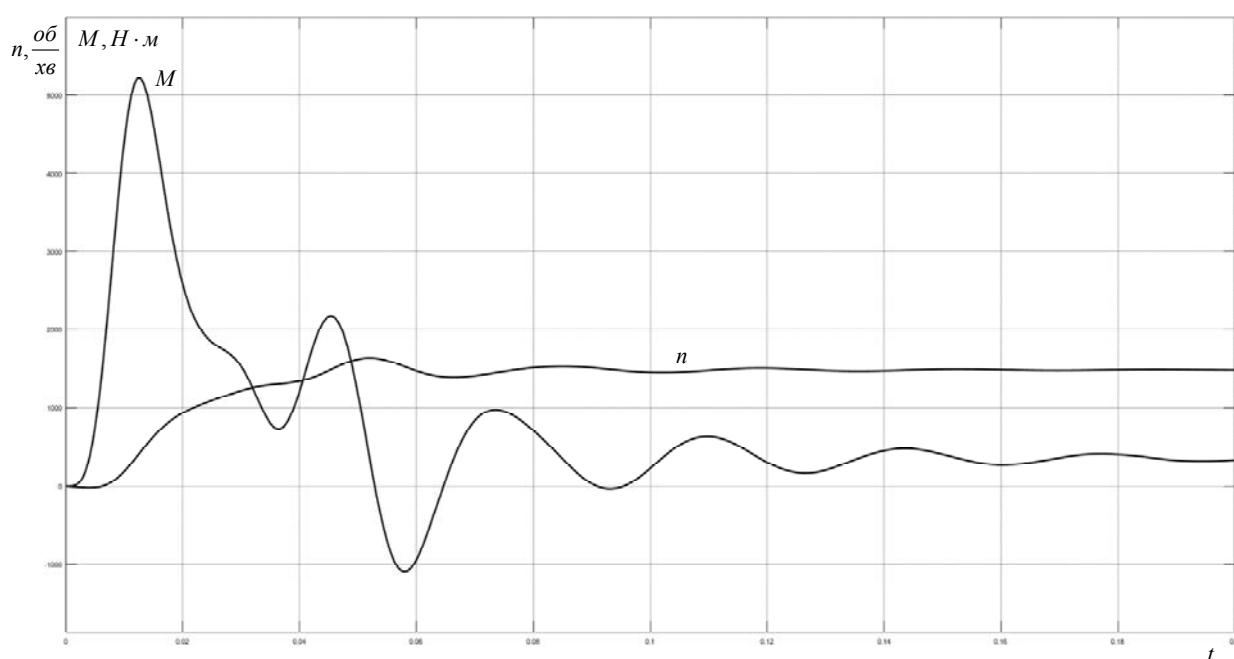


Рис. 10. Пускові характеристики двигуна АЭ-92-4 при симетрії напруг живлення

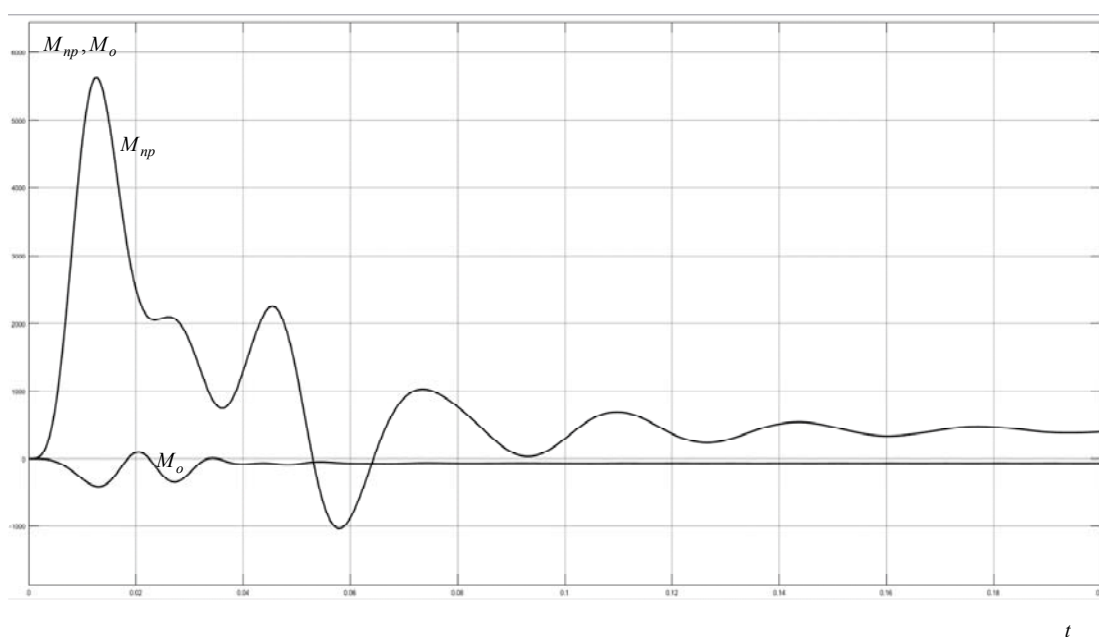


Рис. 11. Моменти при живленні двигуна від прямої і зворотної послідовності системи несиметричних трифазних напруг

**Висновок.** Запропонована модель приводу допоміжних машин дозволить дослідити електромеханічні процеси в приводі. Зокрема визначити вищі гармонійні складові струмів і напруг в ланцюгах приводу та розробити заходи по зменшенню цих складових.

В роботі [11] авторами розроблена математична модель системи «Тягова підстанція - контактна мережа - тяговий привод електровозу ВЛ – 80<sup>Т,К</sup>». Розроблена модель при умові адаптації її до вторинної обмотки тягового трансформатора може бути застосована для подальших досліджень

електромеханічних процесів в тяговому приводі та приводі допоміжних машин електровозів серій ВЛ – 80<sup>Т,К</sup>, зокрема визначити коефіцієнт потужності електровоза в цілому та запропонувати заходи по підвищенню коефіцієнта потужності електровозу.

#### Л і т е р а т у р а

1. P. Donolo et al. Voltage unbalance and harmonic distortion effects on induction motor power, torque and vibrations/Donolo P. et al.//Electric Power Systems Research 140. – 2016. – p. 866–873.

2. Y. Zhang et al. Model predictive direct power control of PWM rectifiers under unbalanced network conditions. / Zhang Y. et al.// IEEE Transactions on industrial electronics, vol. 62, № 7. – 2015. p. 4011-4022.
3. H. S. Che, E. Levi et al. Current control methods for an asymmetrical six-phase induction motor drive/ Che H. S., Levi E. et al.//IEEE Transactions on power electronics, vol. 29, № 1. -2014. – p. 407-417.
4. V. Sousa et al. Procedure for determining induction motor efficiency working under distorted grid voltages procedure for determining induction motor efficiency working under distorted grid voltages/ Sousa V. et al.//IEEE Transactions on energy conversion. – 2014. - p. 1-11.
5. S. M. Mousavi GAZAFRUDI et al. Power quality issues in railway electrification: a comprehensive perspective/Mousavi GAZAFRUDI S. M. et al.//IEEE Transactions on industrial electronics, vol. 62, № 5. – 2015. - p. 3081-3090.
6. A. Sapena-Bano, Manuel Pineda-Sanchez, Rubén Puche-Panadero, J. Martinez-Roman, Z/ Kanovic, Low-Cost Diagnosis of Rotor Asymmetries in Induction Machines Working at a Very Low Slip Using the Reduced Envelope of the Stator Current/ Sapena-Bano, A.; Manuel Pineda-Sanchez; Rubén Puche-Panadero; Martinez-Roman, J.; Kanovic, Z//. IEEE Transactions on energy conversion. 30(4). – 2015. – p. 1409-1419.
7. Проектирование тяговых электрических машин. Под ред. М.Д. Находкина. Учебное пособие для вузов ж-д транспорта. - М.: «Транспорт», 1976. – 624 с.
8. М. Пусоветов, К. Солтус, И. Сениавский Компьютерное моделирование асинхронных двигателей и трансформаторов. – LAP LAMBERT. Academic Publishing, 2013 – 199 с.
9. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин; Учеб. для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2001. — 327 с: ил.
10. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Учебник для электротехнических, энергетических, приборостроительных специальностей вузов. – М.: Высш. шк., 1978. – 528 с.
11. Гулак С.О., Ермоленко Е.К. Модель системы «Тяговая підстанція – контактна мережа – тяговий привід електровоза серії ВЛ-80<sup>Т,К</sup>». Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 28. - К.: ДЕТУТ, 2016. – с. 99-109.
5. S. M. Mousavi GAZAFRUDI et al. Power quality issues in railway electrification: a comprehensive perspective/Mousavi GAZAFRUDI S. M. et al.//IEEE Transactions on industrial electronics, vol. 62, № 5. – 2015. - p. 3081-3090.
- A. Sapena-Bano, Manuel Pineda-Sanchez, Rubén Puche-Panadero, J. Martinez-Roman, Z/ Kanovic, Low-Cost Diagnosis of Rotor Asymmetries in Induction Machines Working at a Very Low Slip Using the Reduced Envelope of the Stator Current/ Sapena-Bano, A.; Manuel Pineda-Sanchez; Rubén Puche-Panadero; Martinez-Roman, J.; Kanovic, Z//. IEEE Transactions on energy conversion. 30(4). – 2015. – p. 1409-1419.
7. Проектирование тяговых электрических машин. Под ред. М.Д. Находкина. Учебное пособие для вузов ж-д транспорта. М.: «Транспорт», 1976. – 624 с.
8. М. Пусоветов, К. Солтус, И. Сениавский Компьютерное моделирование асинхронных двигателей и трансформаторов. – LAP LAMBERT. Academic Publishing, 2013 – 199 с.
9. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин; Учеб. для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2001. — 327 с: ил.
10. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Учебник для электротехнических, энергетических, приборостроительных специальностей вузов. – М.: Высш. шк., 1978. – 528 с.
11. Goolak S.O., Ermolenko E.K. Model' sistemi «Tягова pidstancija – kontaktna merezha – tјagovij privid elektrovoza serii VL-80<sup>T,K</sup>». Zbirnik naukovih prac' Derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universitetu transportu Ministerstva osviti i nauki Ukraini: Serija «Transportni sistemi i tehnologii». – Vip. 28. K.: DETUT, 2016. – s. 99-109.

#### References

1. P. Donolo et al. Voltage unbalance and harmonic distortion effects on induction motor power, torque and vibrations/Donolo P. et al.//Electric Power Systems Research 140. – 2016. – p. 866–873.
2. Y. Zhang et al. Model predictive direct power control of PWM rectifiers under unbalanced network conditions. / Zhang Y. et al.// IEEE Transactions on industrial electronics, vol. 62, № 7. – 2015. p. 4011-4022.
3. H. S. Che, E. Levi et al. Current control methods for an asymmetrical six-phase induction motor drive/ Che H. S., Levi E. et al.//IEEE Transactions on power electronics, vol. 29, № 1. -2014. – p. 407-417.
4. V. Sousa et al. Procedure for determining induction motor efficiency working under distorted grid voltages procedure for determining induction motor efficiency working under distorted grid voltages/ Sousa V. et al.//IEEE Transactions on energy conversion. – 2014. - p. 1-11.

**Гулак С.А., Ермоленко Э.К. Разработка математических моделей для исследования привода вспомогательных машин электровозов серии ВЛ-80<sup>Т,К</sup>, работающих в несинусоидальном и несимметричном режимах.**

*В статье рассмотрены вопросы построения математической модели системы привода вспомогательных машин электровозов серий ВЛ-80<sup>Т,К</sup>, в которой мотор - вентиляторы, мотор - компрессоры и мотор - насосы - асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и получающие питание от расцепителя фаз, который является асинхронным электрическим двигателем с несимметричными обмотками статора и питающийся от тягового трансформатора напряжением несинусоидальной формы. Исследовано влияние несинусоидального напряжения питания системы вспомогательного привода и несимметрии трехфазной системы напряжения питания асинхронных двигателей на величину высших гармонических составляющих токов, протекающих в цепях вспомогательного привода.*

**Ключевые слова:** коэффициент мощности, несимметрия, никак синусоидальное напряжение, обобщенная машина.

**Goolak S.O., Yermolenko E.K. Development of mathematical models for the study of the drive of auxiliary machines of electric locomotives of the VL-80<sup>T, K</sup> series operating in non-sinusoidal and asymmetric modes.**

*The article deals with the construction of a mathematical model of the drive system for auxiliary machines*

---

*of electric locomotives of series VL-80<sup>T, K</sup>, in which motor-fans, motor-compressors and motor-pumps are asynchronous motors with a short-circuited rotor and receive power from a phase splitter that is an asynchronous electric motor with asymmetrical windings of the stator and powered from the traction transformer by a voltage of non-sinusoidal shape. The influence of the non-sinusoidal supply voltage of the auxiliary drive system and the asymmetry of the three-phase supply voltage system of asynchronous motors on the magnitude of the higher harmonic components of the currents flowing in the auxiliary drive circuits is investigated.*

**Keywords:** *power factor, asymmetry, no sine wave, generalized machine.*

**Гулак С.О.** – старший викладач кафедри «тяговий рухомий склад залізниць» Державного університету інфраструктури та технологій, e-mail: goolak@ Rambler.ru.

**Єрмоленко Е.К.** - аспірант кафедри «тяговий рухомий склад залізниць» Державного університету інфраструктури та технологій, e-mail: EduardYermolenkoWork@gmail.com.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 15.03.2018.

УДК 621.002

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВНУТРІШНЬОЗАВОДСЬКИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ ПІДПРИЄМСТВ МАШИНОБУДІВНОГО ПРОФІЛЮ

Заверкін А.В., Кузьменко С.В., Чередниченко С.П.,

## OPTIMIZATION OF TRANSPORT SERVICE OF INTRA FACTORY FREIGHT TRAFFICS OF THE ENTERPRISES OF A MACHINE-BUILDING PROFILE

Zaverkin A., Kuzmenko S., Cherednychenko S.

*Розглянуто роль транспорту на міжцехових перевезеннях промислових підприємств, а саме - машинобудівних заводів. Проведено аналіз впливу різних видів транспорту на технологічний процес. Дано рекомендації перспективного розвитку транспортних комплексів промислових підприємств.*

**Ключові слова:** промислове підприємство, міжцехові перевезення, міжцеховий вантажопотік, технологічний процес виробництва, залізничний транспорт, автомобільний транспорт, спеціальні види транспорту, транспортно-вантажні роботи.

**Вступ.** Велика, і часто змінювана номенклатура виробів, що виготовляються на заводах індивідуального машинобудування призводить до ряду істотних особливостей їх транспортного обслуговування. Перш за все - це значна нерівномірність перевезень за окремим грузопотоком, роздорбленість транспортної партії, великі коливання за часом виконання одного рейсу.

На розглянутих заводах можна виділити дві групи заявок на здійснення міжцехових перевезень:

- планові заявки;
- термінові заявки.

Відмінною особливістю планових заявок є досить повна інформація про майбутній обсяг робіт. Організація перевезень здійснюється за принципом із складу на склад. Зсув термінів виконання таких заявок, протягом зміни, як правило не приводить до витрат від простоїв основного виробництва. Однак, вплив різних виробничих факторів, що виникають в процесі виробництва, призводить до необхідності реалізації частини заявок в обмежений час. Такі термінові заявки на перевезення, як правило, виникають протягом поточної робочої зміни.

Своєчасна обробка термінових заявок негативно позначається на показниках використання рухомого складу, але дозволяє досягти потрібної для

виробництва оперативності перевезень. Недооцінка цього чинника призводить зазвичай до виникнення великих витрат, пов'язаних з простоями основного виробництва.

**Результати досліджень.** Аналіз статистичних даних показує, що питома вага строкових рейсів в загальному обсязі непостійна для різних вантажопотоків. Для вантажопотоків цех-цех вона найбільша і досягає 60% при середній величині 30%, для вантажопотоків склад-цех вона незначна і знаходиться в межах 3-5%. Періоди зміни термінові заявки розподілені рівномірно, але з різною інтенсивністю. В першу половину зміни виконується 60% термінових заявок, в другу половину - 40%.

Дослідження нерівномірності вантажопотоків різної потужності дозволили встановити залежності між середньодобовим обсягом транспортної роботи, вираженим в рейсах, і показниками мінливості цього обсягу у вигляді:

$$\begin{aligned}\sigma &= 2,0 \cdot G^{0,5}; \\ V &= 2,0 \cdot G^{-0,5}; \\ K_n &= 8,3 \cdot G^{-0,34},\end{aligned}$$

де  $\sigma$  - середньоквадратичне відхилення добового обсягу перевезень;

$G$  - математичне очікування змінного обсягу перевезень;

$V$  - коефіцієнт варіації;

$K_n$  - коефіцієнт нерівномірності перевезень.

Таким чином, зі збільшенням обсягу перевезень, відносні показники нерівномірності ( $V$ ,  $K_n$ ) зменшуються, а середньоквадратичне відхилення за абсолютною величиною - росте.

Дослідження законів розподілу добових обсягів транспортних робіт на міжцехових вантажопотоках показало, що в загальному випадку коливання перевезень описуються Гамма-розподілом, для великих обсягів транспортної роботи (36 рейсів за зміну і більше) це розподіл надійно характеризується нормальним законом.

В силу коливання величини транспортної партії, нестійкості маршрутів і мінливості часу виконання вантажно-розвантажувальних операцій, час виконання одного рейсу змінюється в значних межах. При цьому зміна часу виконання одного рейсу також добре описується Гамма-розподілом. Зв'язок між параметрами розбіжності в часі і величиною часу рейсу виражається з достатнім ступенем вірогідності коефіцієнтом варіації ( $V_\tau$ ), який дорівнює  $V_\tau = 0,635$ .

Зміни в технології та організації виконання підйомно-транспортних робіт впливають на середню величину рейсу, але закон розподілу, що описує цей рейс - зберігається.

Істотний вплив на економічну ефективність внутрішньозаводських транспортних процесів надає організація роботи транспорту.

В даний час застосовуються такі її форми:

- децентралізована, з постійним закріпленням засобів за підрозділами;
- робота по постійно діючому маршруту;
- робота з оперативного маршруту, що розробляється на кожну зміну;
- робота по системі «викликів», з диспетчеризацією кожного рейсу;
- лімітована система роботи.

Найбільш поширеною є децентралізована система. До переваг її слід віднести пристосованість до змін маршрутів слідування вантажів, велику оперативність у виконанні термінових рейсів. Однак ця форма є найбільш неекономічною.

На заводах масового і серійного виробництва застосовується робота транспорту за постійно діючими маршрутами і жорстким графіками роботи. Для постійних обсягів транспортної роботи ця форма організації виявляється найекономічнішою. В умовах коливання обсягів перевезень і наявності «термінових» заявок можуть з'явитися випадки порожніх рейсів, викликаних розбіжністю моментів відправлення вантажу і часу заїзду транспорту.

На заводах серійного виробництва останнім часом широко використовується робота транспорту за оперативними маршрутами. Ця форма краще, ніж постійні маршрути пристосована до коливань обсягу перевезень, проте на її ефективність негативно позначається наявність термінових рейсів.

Широке поширення на підприємствах, в останній час, отримала організація роботи транспорту по системі викликів. В цьому випадку диспетчеризується кожен рейс транспортного засобу. При наявності коштів оперативного зв'язку між диспетчерами, водіями і замовниками ця форма є найпродуктивнішою.

Досить широко останнім часом поширюється лімітована форма роботи транспорту. Дана форма має всі переваги децентралізованої системи, і в ряді випадків, зводиться до закріплення транспортного засобу на час виконання транспортної роботи за підрозділом.

Розглянемо умови ефективного застосування різних форм організації роботи транспорту. Так, організація постійно діючих маршрутів доцільна, якщо витримується умова

$$\frac{a}{\epsilon} < 1 - P_0 - \alpha \cdot P_1. \quad (1)$$

Організація  $q$  кількості рейсів по постійно діючим графіком вигідно при дотриманні умови:

$$\sum_{i=q+1}^n P_i - \alpha \cdot P_{q+1} \cdot (q+1) < \frac{a}{\epsilon} < \sum_{i=q}^n P_i - \alpha \cdot P_q \cdot q. \quad (2)$$

Організація оперативних маршрутів вигідна за умови:

$$\frac{\delta}{\epsilon} < 1 - \alpha. \quad (3)$$

Постійне закріплення транспорту виявляється доцільним за умови:

$$N > \frac{T_{np} \cdot \psi}{\epsilon - \delta}. \quad (4)$$

У формулах (1-4) прийняті наступні позначення:

$a, \delta, \epsilon, \delta$  - вартість виконання одного рейсу по постійно діючому маршруту, виклику, оперативному маршруту і при закріпленні транспорту за підрозділом;

$P_i$  - ймовірність виникнення  $i$ -ї кількості рейсів;

$\alpha$  - питома вага строкових рейсів в загальному обсязі перевезень по грузопотоку;

$N$  - сумарна кількість рейсів, що виконується для потреб підрозділу;

$T_{np}$  - сумарний час простоїв транспорту через відсутність роботи;

$\psi$  - вартість години простою транспортного засобу.

Ймовірність виникнення заданої кількості рейсів можна визначити за формулою:

$$P_{(x)} = \frac{0,25^{0,25 \cdot G}}{\Gamma(0,25 \cdot G)} \cdot e^{-0,25 \cdot x} \cdot x^{0,25 \cdot G - 1}, \quad (5)$$

де  $G$  - середній обсяг по грузопотоку в рейсах за зміну;

$x$  - задана кількість рейсів;

$\Gamma$  - Гамма-функція.

Аналіз залежностей (1-5) показує, що умови ефективного застосування різних форм організації залежать від обсягу транспортних робіт по грузопотоку або підрозділу і питомої ваги строкових рейсів в загальному обсязі перевезень.

Встановлено області доцільного застосування різних форм організації роботи транспорту. Наприклад, для електровізків різного типу застосування постійно діючих маршрутів виявляється доцільним при обсязі перевезень по окремому грузопотоку не менше 4-6 рейсів за зміну. Оперативні маршрути виявляються вигідними лише в умовах відносно стабільних перевезень, коли питома вага строкових рейсів не перевищує 10-30%. Передача транспорту на термін виявляється доцільною, якщо для потреб підрозділу виконується послідовно більше одного рейсу в будь-якому напрямку. Лімітована система виявляється вигідною в умовах нестійкості вантажопотоків, малого обсягу перевезень за окремим грузопотоком та значній кількості термінових заявок. Постійне закріплення транспорту за підрозділом виявляється доцільним, якщо для його потреб протягом зміни виконується 20-30 рейсів і завантаження транспортних засобів на окремих вантажопотоки незначне.

Визначення необхідної кількості транспортних засобів, що працюють в умовах нерівномірності перевезень, в даний час проводиться з урахуванням коефіцієнта нерівномірності вантажопотоку. Для умов роботи транспорту на заводах індивідуального виробництва характерні дуже великі коефіцієнти нерівномірності, і використання їх в якості поправочних коефіцієнтів може призвести до суттєвих помилок.

Систему міжцехових перевезень можна віднести до багатоканальної однофазної системи масового обслуговування замкнутого типу з необмеженим часом очікування і пріоритетним обслуговуванням частини заявок. Особливості системи полягає в практично одночасному надходженні планових заявок і великих коливаннях змінних обсягів транспортної роботи при практичній рівності кількості заявок. Характеристики даної системи визначено методом імітаційного моделювання, для чого була розроблена модель міжцехових перевезень машинобудівного заводу. Обробка результатів моделювання дозволила встановити залежність між найважливішими характеристиками і параметрами системи, що вивчається.

На підставі цих залежностей отримана формула по визначенню необхідної чисельності транспортних засобів  $N_i$  з використанням поправочного коефіцієнта  $K_n$ , що враховує нерівномірність перевізного процесу:

$$N_i = \frac{G_i}{W_i} \cdot K_n, \quad (6)$$

де  $W_i$  - змінна продуктивність транспортного засобу.

За своєю структурою наведена формула не відрізняється від використовуваних в даний час, але вони різні по суті.

У формулі (6) застосований поправочний коефіцієнт  $K_n$  замість коефіцієнта нерівномірності  $K_n$ . Поправочний коефіцієнт  $K_n$  (рис.1) залежить від середньозмінного обсягу робіт  $G$  і часу простою строкової заявки в очікуванні початку обслуговування  $t_{оч}$ .

Величину поправочного коефіцієнту можна визначити за формулою:

$$K_n = \frac{11,3}{l_n \cdot t_{оч} + 0,7G^{0,5}}. \quad (7)$$

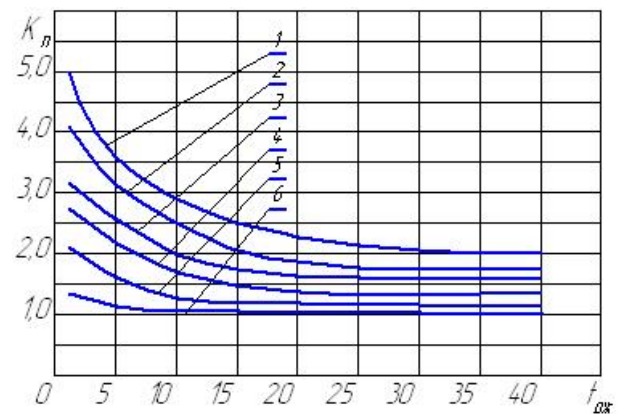


Рис. 1. Залежність поправочного коефіцієнта  $K_n$  від часу простою строкової заявки в очікуванні обслуговування  $t_{оч}$  для різних обсягів робіт  $G$   
 1 –  $G=6,0$ ; 2 –  $G=12,0$ ; 3 –  $G=20,0$ ; 4 –  $G=30,0$ ;  
 5 –  $G=60,0$ ; 6 –  $G=120,0$

Для стабільних вантажопотоків, наприклад вантажопотоків склад-цех, де термінові рейси практично відсутні, величину поправочного коефіцієнту можна визначити за формулою:

$$K_n^{kp} = 2,66 \cdot G^{-0,16}. \quad (8)$$

На рис.2 наведені значення  $K_n^{kp}$  в залежності від обсягу транспортної роботи. Тут же для порівняння показано зміна коефіцієнта нерівномірності.

При виборі оптимальної кількості транспортних засобів важливо правильно визначити допустимий час простою строкової заявки в очікуванні початку обслуговування  $t_{оч}$ . Витрати виробництва, пов'язані з несвоєчасністю транспортного обслуговування виникають тільки після певного проміжку часу  $\tau_\alpha$ , після надходження заявки на виконання перевезень,

що пояснюється наявністю резервних запасів продукції на робочих місцях.

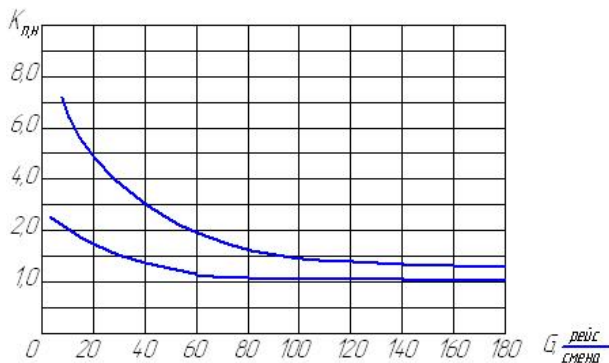


Рис. 2. Залежність поправочного коефіцієнту  $K_n$  і коефіцієнту нерівномірності перевезень  $K_n$  від обсягу транспортної роботи  $G$

Аналіз показує, що оптимальна величина  $t_{оч}$  збігається з  $\tau_\alpha$ . При децентралізованій системі перевезень  $\tau_\alpha$  в середньому дорівнює часу циклу використовуваних для перевезень транспортних засобів.

В даний час при перевезенні дрібних і тарноштучних вантажів на заводах індивідуального машинобудування в основному використовуються електровізки, для яких середня величина циклу дорівнює  $\tau_\alpha = 30$  хв, якщо для перевезення застосовуються автомашини -  $\tau_\alpha = 40$  хв. Ці значення і можна прийняти при призначенні допустимого часу простою строкової заявки. В даному випадку це означає, що вибираючи кращу форму централізованого транспортного обслуговування, необхідно забезпечити не гіршу оперативність виконання перевезень, ніж при децентралізованій системі.

При виборі раціональної технології виконання вантажно-розвантажувальних робіт для заданого виду транспорту як критерій оптимізації можна використовувати наведені витрати, необхідні для здійснення перевезень

$$\begin{aligned} Z_j &= C_j + E_n \cdot K_j; \\ Z_j &= Z_{ji} + Z_{ji}^H + Z_{ji}^P + Z_{ji}^K + Z_{ji}^C + Z_{ji}^T + Z_{ji}^D, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $Z_j$  - сумарні наведені витрати по вантажопотоку;

$C_j$  - сумарні поточні витрати по вантажопотоку;

$E_n$  - нормативний коефіцієнт ефективності;

$K_j$  - сумарні капітальні вкладення, необхідні для здійснення перевезень по вантажопотоку;

$Z_{ji}$  - наведені витрати по експлуатації  $i$ -го виду транспорту;

$Z_{ji}^H; Z_{ji}^P$  - відповідно, приведені витрати на виконання навантажувальних і розвантажувальних робіт на вантажопотоці  $j$ ;

$Z_{ji}^K$  - витрати на комплектування вантажу;

$Z_{ji}^C$  - витрати на супровід і експедицію вантажу;

$Z_{ji}^T$  - витрати на укрупнення вантажних одиниць (тару, піддони, контейнери);

$Z_{ji}^D$  - витрати на спорудження й експлуатацію доріг і транспортних комунікацій.

При визначенні складових формули (9) доцільно розділити витрати на дві групи:

- залежні від обсягу робіт;

- залежні від часу експлуатації.

Наприклад, витрати по експлуатації транспортного засобу і на вантажопотоці  $j$  можна визначити за формулою:

$$\begin{aligned} Z_{ji} &= C_{ij}^A + C_{ij}^3 + C_{ij}^{рем} + C_{ij}^{ш} + C_{ij}^{мон} + E_n \cdot K_{ij} = u^L L + u^T T_i; \\ u^L L &= C_{ij}^A + C_{ij}^{рем} + C_{ij}^{ш} + C_{ij}^{мон}; \\ u^T T_i &= C_{ij}^3 + E_n \cdot K_{ij}, \end{aligned} \quad (10)$$

де  $C_{ij}^A$  - витрати на амортизацію транспортних засобів;

$C_{ij}^3$  - витрати по заробітній платі (основна, додаткова);

$C_{ij}^{рем}$  - витрати на ремонт та утримання транспортних засобів;

$C_{ij}^{ш}$  - витрати на шини;

$C_{ij}^{мон}$  - витрати на паливо і енергію;

$u^L$  - сумарні питомі витрати, що залежать від пробігу транспортних засобів;

$u^T$  - сумарні питомі витрати, що залежать від часу експлуатації транспортного засобу на грузопотоке;

$L$  - сумарний пробіг транспортного засобу по вантажопотоку за рік;

$T_i$  - сумарний час залучення транспортного засобу для роботи на вантажопотоці.

Варіант транспортного обслуговування міжцехових вантажопотоків можна вважати оптимальним, якщо використовуваний склад транспортного устаткування, організація роботи транспорту і технологія виконання вантажно-розвантажувальних робіт забезпечують оперативне обслуговування основного виробництва і, в той же час, сумарні витрати на утримання обладнання і транспортних засобів є мінімальними в порівнянні з іншим варіантом.

Цільова функція в цьому випадку визначається вираженням:

$$\sum_{j=1}^m z_j + \sum_{i=1}^n z_i^{nocm} + \sum_{i=1}^n z_i^{np} = \sum_{i=1}^n z_i \rightarrow \min; \quad (11)$$

де  $z_i^{nocm}$  - постійна частина витрат для кожного виду транспорту, що включає зміст гаражно-ремонтної бази і технічні засоби управління перевезеннями;

$z_i^{np}$  - витрати по простоїв транспортного устаткування, викликаним або необхідністю резервування транспортних засобів для погашення нерівномірності перевезень, або неможливістю завантаження транспортного засобу.

Обмежують умовами є:

1. Умова виконання обсягу робіт по кожному вантажопотоку

$$\sum_{i=1}^n G_{ji} = G_j;$$

де  $G_{ji}$  - обсяг робіт, що виконується і-им видом транспорту по j-ому вантажопотоку;

$G_j$  - сумарний обсяг робіт по вантажопотоку.

2. Умови своєчасності виконання перевезень

$$t_{oc} = \tau;$$

дана умова дорівнює рівнянню

$$N_{ji} = N_{ji}^P \cdot K_{nj};$$

де  $N_{ji}$  - кількість транспортних засобів, необхідна для своєчасного виконання перевезень в умовах нестійкості перевізного процесу;

$N_{ji}^P$  - кількість транспортних засобів, певне за умови рівномірного завантаження транспорту;

$K_{nj}$  - поправочний коефіцієнт, що враховує нерівномірність перевізного процесу, визначається по залежностям (7) і (8).

**Висновки.** На машинобудівних заводах індивідуального виробництва є великі резерви при виконанні підйомно-транспортних робіт на міжцехових вантажопотоках. Найбільший ефект від раціоналізації підйомно-транспортних робіт можна отримати, вирішуючи комплексно питання вибору прогресивних засобів транспорту, технології виконання вантажно-розвантажувальних робіт і організації роботи транспортних засобів на окремих вантажопотоках.

#### Література

1. Мандрица В.М., Краев В.Н. Прогнозирование перевозок грузов на автомобильном транспорте. М.:Транспорт, 1981 – 152с.

2. Организация, планирование и управление в автотранспортных предприятиях / Под ред. М.П.Улицкого. - М.: Транспорт, 1994.-328с.
3. Бережной В.И., Бережная Е.В. Методы и модели управления материальными потоками микрологистической системы автопредприятия.- Ставрополь: Интеллект-сервис, 1996.-155с.

#### References

1. Mandritsa V.M., Kraev V.N. Prognozirovaniye perevozok gruzov na avtomobilnom transporte. M.:Transport, 1981 – 152s.
2. Organizatsiya, planirovaniye i upravleniye v avtotransportnyih predpriyatiyah / Pod red. M.P.Ulitskogo. - M.: Transport, 1994.-328s.
3. Berezhnoy V.I., Berezhnaya E.V. Metody i modeli upravleniya materialnyimi potokami mikrologi-sticheskoj sistemyi avtopredpriyatiya.-Stavropol: Intellekt-servis, 1996.-155s

**Заверкин А.В., Кузьменко С.В., Чердниченко С.П. Оптимизация транспортного обслуживания внутривоздских грузопотоков предприятий машиностроительного профиля**

*Рассмотрена роль транспорта на межцеховых перевозках, в частности - на машиностроительных предприятиях. Проведен анализ влияния разнообразных видов транспорта на технологический процесс. Даны рекомендации для перспективного развития транспортных комплексов промышленных предприятий.*

**Ключевые слова:** промышленное предприятие, межцеховые перевозки, технологический процесс производства, железнодорожный транспорт, автомобильный транспорт, специальные виды транспорта, транспортно-погрузочные работы.

**Zaverkin A., Kuzmenko S., Cherednychenko S. Optimization of transport service of intra factory freight traffics of the enterprises of a machine-building profile**

*The role of transport is considered on transportations of industrial enterprises, namely – machine-building plants. The analysis of influence of different types of transport is conducted on a technological process. The prospects of development of transport complexes of industrial enterprises are recommended.*

**Keywords:** industrial enterprise, mezhcekhovye transportations, mezhcekhovoy traffic of goods, technological process of production, railway transport, motor transport, special types of transport, transport-freight works.

**Заверкин А.В.** – к.т.н., доцент кафедры «ЗАТ і ПТМ», СХУ ім. В. Даля, м. Сєверодонецьк, Україна.

**Кузьменко С.В.** – к.т.н., доцент директор навчально-наукового інституту транспорту і логістики СХУ ім. В.Даля, м. Сєверодонецьк, Україна.

**Чердниченко С.П.** – к.т.н., доцент кафедри «ЗАТ і ПТМ», СХУ ім. В. Даля, м. Сєверодонецьк, Україна.

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 15.04.2018.

УДК 621.002

## РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ДИСПЕТЧЕРА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАСПОРТУ НА ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Заверкін А.В., Марченко Д.М., Кузьменко С.В., Чередниченко С.П.

## DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED WORKPLACE OF THE DISPATCHER RAILWAY TRASPOT AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

Zaverkin A., Marchenko D., Kuzmenko S., Cherednychenko S.

*Розглянуто роль транспорту на міжцехових перевезеннях. Проведено аналіз вантажопотоків залізничного транспорту на промислових підприємств. Надані рекомендації щодо організації маневрової роботи. Запропоновано варіанти вирішення завдань диспетчеризації. Розроблено питання автоматизації робочого місця диспетчера.*

**Ключові слова:** промислове підприємство, міжцехових перевезення, технологічний процес виробництва, залізничний транспорт, маневрова робота, залізнична станція, диспетчеризація, вантажопотік.

**Вступ.** Залізничний транспорт - це основна складова єдиного транспортного комплексу України. Його частина, в загальному обсязі вантажоперевезень, становить 88%, з них 80% це вантажі, перевезення яких здійснюються між промисловими підприємствами. Велика частина транспортних витрат цих підприємств йде на оплату оренди за користування зовнішньомережевих вагонами. Тому важливим завданням є скорочення часу обороту орендованих вагонів, який дозволить зменшити витрати і підвищити рентабельність виробництва.

Для вирішення цього завдання необхідно поліпшити управління експлуатаційними роботами на промисловому транспорті підприємств. Класичні методи інтенсивного управління були запропоновані порівняно давно і вже майже вичерпали себе, в результаті визначальною в них ролі людини. Наступним кроком є автоматизація управлінських шляхом впровадження в роботу різних автоматизованих комплексів і систем підтримки прийняття рішень. На сьогоднішній день вже існують системи відображення оперативної інформації в реальному часі ( «КАСКАД» Дніпровської фірми «Антрон»), системи автоматичної ідентифікації рухомого складу (радіочастотна «САИРС»), системи автоматичного

обліку операцій проведених з вагоном ( «КСЕОД »). Всі вони, в тій чи іншій мірі, вирішують досить вузьке коло завдань.

Більш обширною системою такого класу повинна стати система автоматизації оперативного планування обробки вагонотоків що розробляється. На підприємстві найважливіші завдання оперативного планування, регулювання та оціночно-контролюючі функції виконує диспетчер. Тому, система, яка розробляється, буде системою автоматизованого робочого місця диспетчера, який дозволить підвищити ефективність його роботи.

**Результати досліджень.** Створення систем диспетчерського управління поїзної роботою, насамперед, спрямоване на вичерпне і спрощене отримання необхідної оперативної інформації з метою підвищення ефективності роботи диспетчерського апарату. У цьому полягає суть концентрації диспетчерського управління в єдиному центрі. Ще в 80-х роках ХХ століття були створені системи, які надавали диспетчеру інформацію в реальному часі, виводячи її на екрани моніторів. Це було досить великим досягненням, тому що дозволяло скоротити годинне відставання диспетчерів від реальних подій. Але вже і тоді було очевидно, що, крім інформації в реальному часі, диспетчеру важливо ще отримувати допомогу в плануванні майбутньої роботи і прийняття рішень.

Реалізувати цю вимогу можна лише здійснивши перехід диспетчерських центрів управління від інформаційно-довідкового режиму роботи до прогностичного (на основі моделювання перевізного процесу) і керуючому режиму роботи.

Потрібно зауважити, що створення диспетчерських систем управління транспортом дуже працездатний процес, тому на сьогоднішній день отримали розвиток лише деякі аналітичні завдання, такі як: визначення місця знаходження поїздів, локомотивів, вагонів та ін., Але немає ніякого значимого прогресу в створенні систем

планування і прийняття рішень. Дуже важливо визначити основні блоки такої системи і їх функції.

До складу системи автоматизованих робочих місць, як правило, входить не тільки спеціалізоване програмне забезпечення, але і програмне забезпечення загального призначення, зовнішні фізичні пристрої, тощо. Подальша робота була націлена саме на створення такого спеціалізованого програмного забезпечення, яке далі будемо називати АРМ СПО.

На основі аналізу викладеного матеріалу та вивчення предметної галузі в цілому була запропонована наступна первинна укрупнена схема диспетчерського управління залізничним транспортом (АРМ СПО), яка представлена на рис. 1.

Системи такого роду не складаються лише з програмного комплексу. Невід'ємною складовою є також різноманітні датчики і контролери, які призначені для автоматизації щодо простих дій виконуваних людиною.

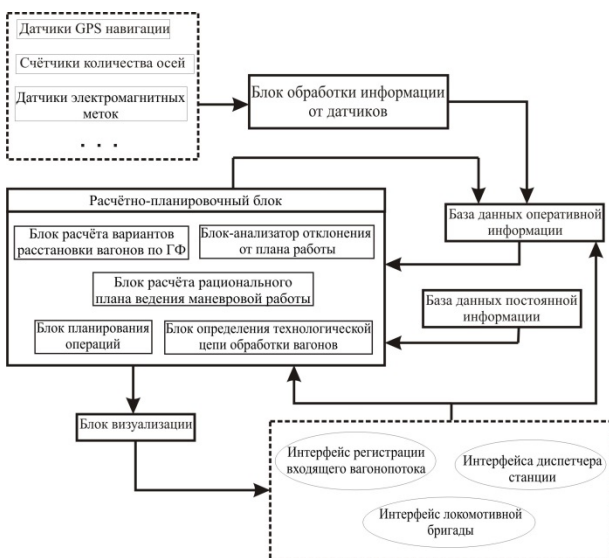


Рис. 1. Структурна схема АРМ СПО диспетчера залізничного транспорту

Інформація з датчиків передається на деякий блок обробки цієї інформації, де відбувається аналіз вхідної інформації, формування блоків необхідних для функціонування системи. Як правило, потім вихідна інформація реєструється в деякій базі даних. Базы даних є важливою частиною таких систем. Їх можна розділити на два типи: бази даних оперативно-нормативної і постійної інформації.

Головною частиною таких систем є розрахунково-плануючий блок. Він складається з багатьох модулів пов'язаних між собою. На даний момент цей блок складається з блоку розрахунку варіантів розстановки вагонів по ГФ, блоку розрахунку раціонального плану ведення маневрової роботи, блоку-аналізатору відхилення від плану роботи, системи обліку залізничних операцій і блоку планування операцій. Інформація

від розрахунково-плануючого блоку буде передаватися в базу даних оперативної інформації та на блок візуалізації. Блок візуалізації призначений для отображення поточної інформації для різних користувачів, таких як диспетчера станції, локомотивної бригади, та ін.

В системі присутні різноманітні інтерфейси користувачів. Найбільш об'ємним і функціональним є інтерфейс диспетчера залізничної станції. В його обов'язки входять поточне планування роботи, диспетчерська регуляція і оціночно-контролюючі операції. Розробляється система повинна максимально допомогти диспетчеру в його роботі. Серед інших інтересів слід виділити інтерфейс реєстрації вхідного вагонопотоку і інтерфейс локомотивної бригади.

Потрібно зауважити, що розроблена схема не є остаточною і планується її наступне розширення і деталізація, тому що відразу спроектувати систему такого рівня складності практично неможливо.

На цей час вирішені наступні завдання:

- створено БД оперативної інформації, яка необхідна для реєстрації та обліку транспортних операцій, визначення місцезнаходження вагонів, зайнятості вантажних фронтів і ін.;
- розроблено БД постійної інформації, необхідна для зберігання структури залізничних шляхів, їх характеристики, нормального положення стрілочних переводів, маршрутів руху та ін.;
- створено методику і розроблено програмне забезпечення (далі ПЗ) побудови оптимального плану ведення маневрової роботи, на певній маневровій зоні;
- створено ПО обліку залізничних операцій на підприємстві.

Далі детально розглянемо всі розроблені елементи.

При аналізі структури АРМ СПО було виявлено, що серед інших елементів системи важливе місце займають саме бази даних. Вони використовуються для збереження великої кількості інформації, необхідної для функціонування підприємства.

З одного боку, до такої інформації можна віднести дані обліку приймально-здавальних операцій (кількості перевезеного вантажу, типу вантажу, часу поставки і відправлення вантажу, тощо), дані, які описують внутрішню діяльність підприємства (перелік запланованих операцій, зайнятість вагонів в цих операціях, типів використовуваних вагонів, типів вантажу, тощо). І з іншого боку - необхідно також централізовано зберігати інформацію про структуру колійного розвитку, характеристиці шляхів, нормальне положення стрілочних переводів та ін. Необхідна інформація була розділена між двома базами даних. Одна з них призначена для зберігання відносно постійної, а друга - для оперативної інформації. Для створення баз даних використовувалася СУБД Firebird.

Для роботи функціональних блоків системи АРМ СПО (наприклад, блоку розрахунку плану ведення маневрової роботи) необхідною є інформація про структуру колійного розвитку підприємства, характеристиці шляхів, нормальному положенні залізничних стрілок, маршрутів руху, тощо. Спроекована окрема база даних, призначена для зберігання цієї інформації. Ці дані зазвичай заносяться в базу один раз, тому що зміна характеристик об'єктів, які вона описує, супроводжується великими фінансовими витратами, і проводиться досить рідко. ER-діаграма спроекованої бази даних зображена на рис. 2.

База даних оперативної інформації, перш за все, призначена для ведення контролю та обліку різноманітних транспортних операцій. Разом з цим вирішується питання обліку зайнятості вагонів на підприємстві, визначення місцезнаходження вагонів. При розробці врахована можливість закріплення кожної зареєстрованої операції за конкретним оператором. Необхідно передивитися можливість авторизації кожного робочого перед початком роботи з системою.



Рис. 2. ER-діаграма бази даних постійної інформації

Всі вимоги до оперативної бази даних були враховані під час її проєктування, ER-діаграма цієї бази зображена на рис. 3.

Важливою складовою перевізного процесу на залізничному транспорті є маневрова робота. За час обороту вантажний вагон піддається декільком переробкам на сортувальних, вантажних і дільничних станціях. Локомотивна бригада може ефективно розсортувати склад з 5-8 груп формування, але часто необхідно працювати з десятками груп в складі, вагони в якому перемішані як колода карт. Існуючі аналітичні методики дають лише приблизну оцінку часу необхідну на проведення роботи, але не дають план її ведення, внаслідок чого локомотивна бригада в складних випадках не вкладається у відведений термін, перевищуючи його в кілька разів. Тому на основі

вивчення та аналізу, що вживаються на практиці методик сортування вагонів була розроблена власна методика побудови оптимального плану ведення маневрової роботи.

У більшості випадків на промислових підприємствах при сортувальній роботі використовується методика витягування і осадження, яка виконується в одній з маневрових зон. Через обмежену кількість таких маневрових зон при веденні маневрової роботи можливі дві ситуації: кількість виділених під маневрову роботу шляхів більше або рівно кількості формованих груп, і коли кількість виділених шляхів менше кількості формованих груп.

Повний перебір варіантів неприйнятний в умовах оперативного планування і нормування оперативної роботи. Число перебираємих варіантів неймовірно швидко зростає з зростанням груп формування і доступних шляхів, а, отже, збільшується час пошуку оптимального варіанту. Тому було прийнято рішення про розробку алгоритмічних методів рішення.

У процесі роботи були створені три незалежних алгоритму пошуку плану ведення маневрової роботи методом витягування і осадження. По-перше, було проаналізовано і допрацьований метод комбінаторної сортування Е.М. Тишкина, за яким складено алгоритм і математична модель [4]. З'ясувалося, що цей метод має ряд жорстких обмежень, і не може бути застосований у всіх випадках. Тому, методом логічного тестування і аналізу, були розроблені ще 2 алгоритма ведення маневрової роботи. Кожен з алгоритмів призначений для одного з наступних типів завдань: коли груп формування більше ніж шляхів в маневровій зоні і, коли груп менше ніж шляхів. Сумісне застосування цих алгоритмів дозволяє покрити всі безліч завдань маневрової роботи.

Створена методика була реалізована в блоці побудови плану ведення маневрової роботи загальної системи АРМа.

При перевезенні вантажу необхідно чітко вести контроль і облік всіх операцій: кількості перевезеного вантажу, типу вантажу, часу поставки вантажу і ін. Важливим є облік зайнятості вагонів на підприємстві, тому що за кожну годину використання вагонів з підприємства знімають орендну плату. При відправленні вантажу також необхідно знати на яку станцію і скільки вантажу відправлено. Диспетчеру потрібно знати типи вантажів які перевозить підприємство, назва станцій-клієнтів, постійно тримати в пам'яті де і які вагони знаходяться, які операції виконують, і коли ці операції завершаться. Також йому необхідно знати яким типом вагонів і з яким вантажем можна призначати ту або іншу операцію. На диспетчері лежить дуже велика відповідальність і не кожен може працювати при такому навантаженні.

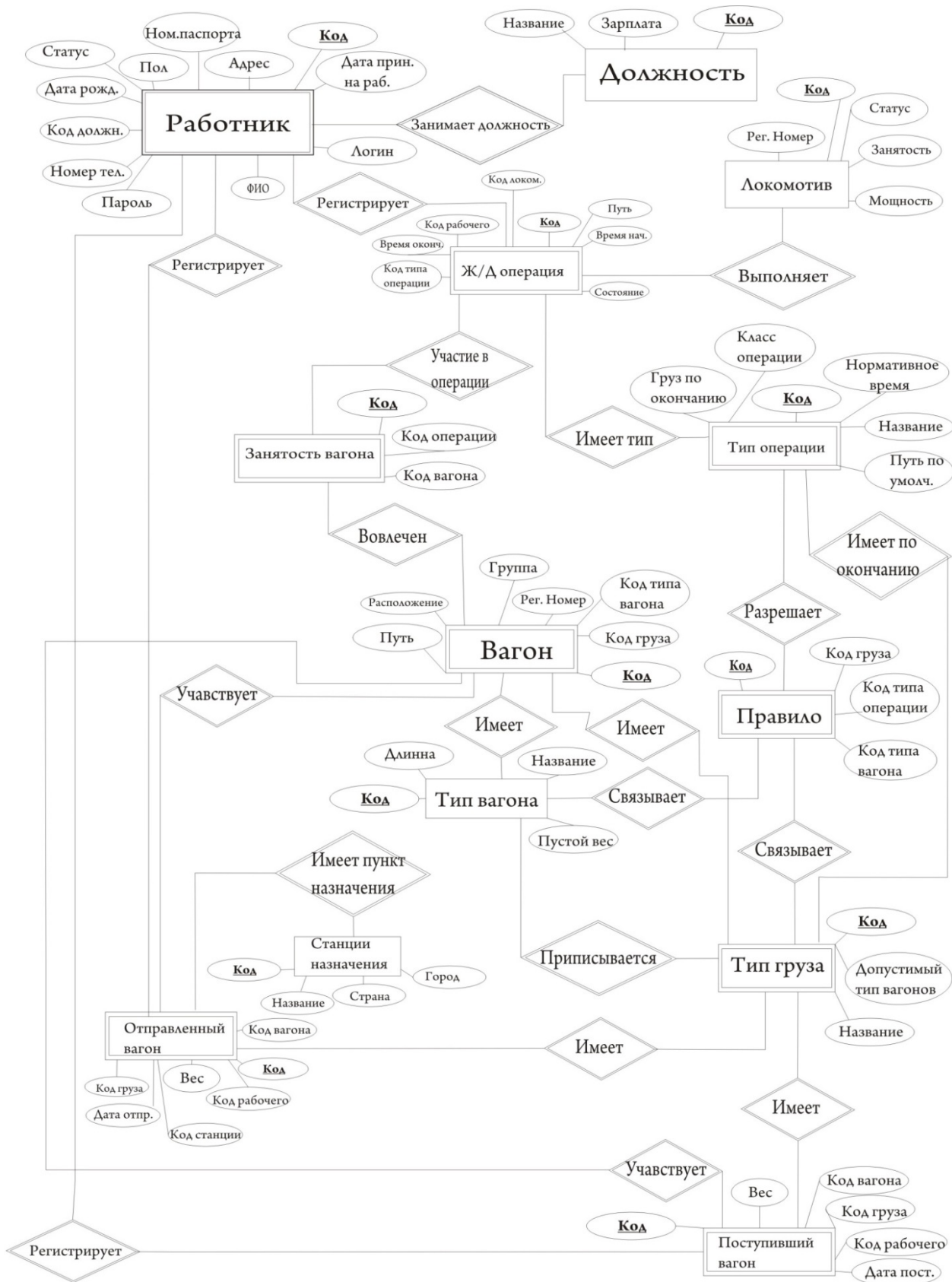


Рис. 3. ER-діаграма оперативної бази даних

Тому заради зменшення навантаження на диспетчера, а як наслідок заради зменшення помилок в роботі, ще одним блоком загальної системи АРМа розроблена інформаційна система обліку залізничних операцій на підприємстві, яка складається з БД і програми-клієнта для роботи з нею. З урахуванням використання цієї системи в реальних умовах вона повинна бути гнучкою і максимально зручною. З огляду на ці фактори в системі були передбачені можливості, які необхідні для ефективної роботи з об'єктами та суб'єктами залізничного підприємства, швидкого доступу і редагування параметрів залізничних операцій. В системі передбачена одночасна робота декількох диспетчерів.

У системі реалізований висновок інформації про діяльність у вигляді звітів на паперові носії інформації, яка допоможе прискорити роботу підприємства, отже, зробити її ефективною. Така система повинна полегшити роботу диспетчерів, перевести її на новий рівень, полегшити збір і зберігання даних, дозволяючи в зручній формі отримувати доступ до потрібної інформації. Клієнтська програма має зрозумілий користувачеві інтерфейс з елементами контролю коректності вхідних даних.

Для створення ПО використовувалася візуальне середовище програмування Borland C++ Builder 6.0.

Приклад головного вікна розробленої системи наведено на рис 4.

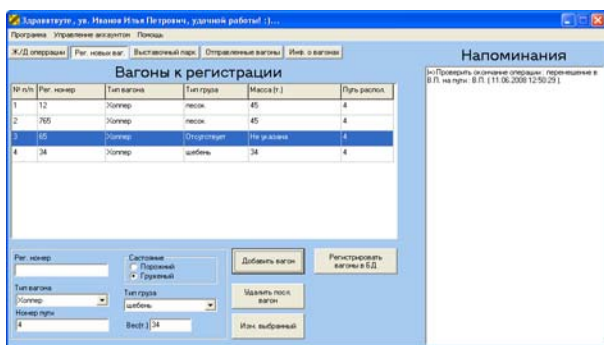


Рис. 4. Головне вікно системи обліку залізничних операцій

**Висновки.** Під час виконання даної роботи була проаналізована предметна область, проведена робота по формалізації діяльності залізничного транспорту на підприємстві, запропонована функціональна структурна схема системи диспетчерського управління. Створена власна методика побудови плану ведення маневрової роботи (ППВМР) методом витягування і осадження, а також інформаційна система обліку залізничних операцій на підприємстві в якій були враховані всі потреби користувачів, розроблені структури даних, які відповідають необхідним вимогам. В результаті ми отримали максимально наближену до реальності модель, яка може використовуватися на реальному підприємстві.

За розробленою методикою ППВМР, в рамках створення спеціального програмного забезпечення системи автоматизованого робочого місця диспетчера, був розроблений окремий блок побудови плану ведення маневрової роботи. Крім системи автоматизованого робочого місця диспетчера, цей блок може окремо використовуватися при створенні програм освітнього характеру для кафедр залізничного транспорту.

Використання цього блоку надає можливість користувачеві, наприклад диспетчеру або локомотивної бригади, отримати план раціональної тактики ведення маневрової роботи.

Блок побудови плану ведення маневрової роботи, ПО обліку залізничних операцій на підприємстві і БД є лише окремими частинами глобальної системи АРМа диспетчера.

#### Література

1. Акулиничев В.М. и др. Математические методы в эксплуатации железных дорог: Учебное пособие для вузов ж.д. трансп. –М.: Транспорт, 1981–223 с.
2. Гончаров Н.Е., Казанцев В.П. Маневровая работа на железнодорожном транспорте М.: Транспорт. 1978. - 183 с.
3. Овчаренко А.А, Короп Г.В. оптимизация маневровой работы на пром. транспорте// Прогрессивные технологии в науке, образовании и экономике: сборник студенческих научных работ.-2008.-с. 85-91.
4. Тишкин Е.М. Метод комбинаторной сортировки вагонов – основа интенсивной технологии местной работы //Вестник ВНИИЖТ. - 1987. - № 2

#### References

1. Akulinichev V.M. i dr. Matematicheskie metody v ekspluatatsii zheleznyih dorog: Uchebnoe posobie dlya vuzov zh.d. transp. –M.: Transport, 1981–223 s.
2. Goncharov N.E., Kazantsev V.P. Manevrovaya rabota na zheleznodorozhnom transporte M.: Transport. 1978. - 183 s.
3. Ovcharenko A.A, Korop G.V. optimizatsiya manevrovoy raboty na prom. transporte// Progressivnyie tehnologii v nauke, obrazovanii i ekonomike: sbornik studencheskih nauchnyih rabot.-2008.-s. 85-91.
4. Tishkin E.M. Metod kombinatnoy sortirovki vagonov – osnova in-tensivnoy tehnologii mestnoy raboty //Vestnik VNIIZhT. - 1987. - # 2

**Заверкин А.В., Марченко Д.Н., Кузьменко С.В., Чердынченко С.П. Разработка автоматизированного рабочего места диспетчера железнодорожного транспорта на промышленном предприятии.**

*Рассмотрена роль транспорта на межцеховых перевозках. Проведен анализ грузопотоков железнодорожного транспорта на промышленных предприятиях. Даны рекомендации по организации маневровой работы. Предложены варианты решения задач диспетчеризации. Разработаны вопросы автоматизации рабочего места диспетчера.*

**Ключевые слова:** промышленное предприятие, межцеховые перевозки, технологический процесс

*производства, железнодорожный транспорт, маневровая работа, железнодорожная станция, диспетчеризация, грузопоток.*

**Zaverkin A., Marchenko D., Kuzmenko S., Cherednychenko S. Development of the automated workplace of the dispatcher railway transport at the industrial enterprise.**

*The role of transport in interdepartmental transport is considered. The analysis of cargo traffic of a railway transport on industrial enterprise is carried out. Recommendations on the organization of shunting work are given. Options for solving dispatching tasks are proposed. The questions of automation of the workplace of the dispatcher are developed.*

**Keywords:** *industrial enterprise, inter-shop transportation, technological production process, railway transport, shunting work, railroad station, dispatching, cargo flow.*

**Заверкин А.В.** – к.т.н., доцент кафедри «ЗАТ і ПТМ», СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк, Україна.

**Марченко Д.М.** – д.т.н., проф., перший проректор СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк, Україна.

**Кузьменко С.В.** – к.т.н., доцент, директор навчально-наукового інституту транспорту і логістики, м. Северодонецьк, Україна.

**Чередниченко С.П.** – к.т.н., доцент кафедри «ЗАТ і ПТМ», СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк, Україна.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 15.04.2018.

УДК 621.43

## ПУТИ ДОСТИЖЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ

Заренбин В.Г., Колесникова Т.Н., Сакно О.П., Мойся Д.Л.

## MEANS OF ACHIEVEMENT THE ECONOMY OF FUEL OF CARS

Zarenbin V., Kolesnikova T., Sakno O., Moysya D.

*В статье рассмотрены вопросы влияния автомобильного транспорта (АТ) на окружающую среду. Проанализированы перспективные направления создания экологически чистого автомобиля (гибридный автомобиль, электромобиль) и пути совершенствования поршневых ДВС. Представлена конструкция и принцип работы бесшатунного двигателя с кривошипно-кулисным механизмом (ККМ), где шток осуществляет исключительно прямолинейное движение, в связи с чем боковые нагрузки на поршень отсутствуют. Результат - реализация модульного отключения цилиндров и повышение топливной экономичности на 40%.*

**Ключевые слова:** автомобиль, двигатель, кривошипно-кулисным механизмом, экологичность, топливная экономичность.

**Постановка задачи.** На сегодняшний день влияние автомобильного транспорта (АТ) на окружающую среду – одна из самых актуальных проблем современности. Необходимо изучить воздействия АТ и разработать меры, направленные на устранение негативных последствий.

Влияние АТ на окружающую среду выражается, в основном, в выбросах в атмосферу вредных веществ, образующиеся в процессе эксплуатации.

В качестве токсичных веществ, содержащихся в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и поступающих в атмосферу, являются: оксид углерода, углеводородные соединения, оксид азота, сажа, диоксиды серы и углерода и т.д. [1].

Вредные вещества, образующиеся в процессе эксплуатации АТ, приводят к негативным последствиям, таким как парниковый эффект, изменение экосистемы, образование кислотных дождей.

**Цель статьи.** Для уменьшения вредного воздействия токсичных веществ на окружающую среду необходимо разрабатывать мероприятия для решения проблемы.

**Основной текст.** Основной путь решения проблемы, связанный с эксплуатацией АТ, состоит в

следующем: сократить выбросы выхлопных газов, негативно влияющих на окружающую среду. Для сокращения выбросов токсичных веществ с отработавшими газами необходимо разработать принципиально новые типы автомобильного транспорта, использовать альтернативные источники энергии, усовершенствовать поршневые ДВС.

К новым типам АТ можно отнести электромобили, гибриды, аккумуляторные электромобили, автомобили на водороде и растительном топливе, автомобили на солнечных батареях, автомобили с пневмодвигателем.

Но каждый тип нового автомобиля имеет свои преимущества и недостатки.

Экологичный транспорт гибридного типа значительно снижает выбросы вредных веществ в атмосферу. Общее потребление топлива падает до 50% (для автомобилей, которые большей частью движутся в городском цикле). Но при дальних поездках по трассе преимущества гибридов незначительны.

Электромобили, которые питаются только от аккумулятора, признаются множествами экспертов как самое удобное и рациональное решение [2, 3]. Сегодня серийно выпускается широкий ряд моделей автомобилей [4]. Такие экологические виды транспорта решают сразу несколько проблем:

- отсутствие загрязнения от сгорания углеводородных компонентов топлива;
- отсутствие сгоревших компонентов смазочных материалов;
- отсутствие теплового загрязнения окружающей среды;
- уменьшение шумности.

В то же время электромобили обладают следующими недостатками:

- высокая токсичность элементов электрохимической батареи в случае её повреждения;
- высокая стоимость аккумуляторной батареи;

- влияние условий окружающей среды (температуры) на ёмкость батарей;
- большая масса автомобиля по причине массивности батарей;
- слабо развитая инфраструктура зарядных станций;
- небольшой пробег от одного заряда аккумулятора;
- на несколько порядков большее время «заправки», чем у автомобилей с ДВС.

Развитие автомобилей на солнечных батареях замедлено: движение автомобиля может происходить только днем; аккумуляторы, способные обеспечить тягу вечером и ночью, утяжеляют инженерное решение, удорожают автомобиль, снижают общую динамику [5].

Перспективным направлением создания экологически чистого автомобиля это – возможность использования водорода в качестве топлива для ДВС в составе гибридных двигателей или автомобилей на топливных элементах, в котором вообще нет ДВС. В качестве источника энергии в нем будет использоваться водород, который безопасен и экологичен: единственным выбросом в атмосферу будет водяной пар [6].

Если рассматривать гибридный автомобиль, работающий на водороде, в котором водород при горении в среде чистого кислорода не выделяет никаких загрязняющих веществ, то этот автомобиль перспективен с точки зрения экологичности. Но в горючей форме водород при комнатной температуре и нормальном давлении представляет собой газ. Это вызывает трудности при его хранении, переноске и перевозке. Особенно сложная проблема – это конструирование безопасных баллонов или других резервуаров для автомобилей на водородном топливе [7, 8].

У автомобилей, работающих на топливных элементах главным преимуществом является то, что химическая энергия в них напрямую превращается в электрическую [9]. Причем это происходит без движущих элементов, а это значит – без потерь на трение и без шума, а также без выделения вредных веществ в атмосферу. Поэтому применение топливных элементов в автомобилях является очень перспективной технологией с точки зрения защиты окружающей среды и эффективного производства электроэнергии, хотя на сегодняшний день и сопряжено с определенными трудностями. К таким трудностям относятся следующие: высокая стоимость производства, в первую очередь из-за наличия деталей из платины. Кроме этого, увеличивают стоимость таких автомобилей баки для водорода, которые должны выдерживать высокое давление, а также вся система, в которой происходит химическая реакция, часто при высоких температурах. Трудности реализации сети заправочных станций для заправки автомобилей водородом.

Исходя из проведенного анализа перспективных экологически чистых автомобилей, можно сделать вывод, что электромобили имеют минусы – главные, это значительная цена, примерно вдвое превышающая стоимость автомобилей с ДВС аналогичного класса и слабо развитая инфраструктура. Двигатели на топливных элементах являются единственной приемлемой экологической энергией с огромным будущим. Однако самым большим препятствием для производителей автомобилей на водородном топливе является стоимость существующих технологий из-за наличия в составе топливных элементов платины в качестве катализатора. Если используются другие топливные элементы (например, на метане или пропане), то максимальный пробег автомобилей на топливных элементах и автомобилей на ископаемом топливе будет сравним. Максимальный пробег автомобиля на водородных топливных элементах меньше, чем пробег автомобиля на углеводородном топливе.

Подобные недостатки отсутствуют в поршневых ДВС. Электромобили – это будущее. Совершенствование поршневых ДВС может идти различными путями такими, как применение необычных способов организации рабочего процесса (форкамерно-факельное зажигание, расслоение заряда в камере сгорания, способы Миллера и Аткинсона и др.), применение на частичных режимах переменной степени сжатия и отключения части цилиндров. Параллельно идет поиск принципиально новых нетрадиционных конструкций, например, двигатели с переменной степенью сжатия – SAAB SVC (Швеция) [9], МСЭ-5 (Франция) [10]; двигатели с регулируемым ходом поршня – Scalzo [11], бесшатунного двигателя С. Баландина [12], с кривошипно-кулисным механизмом (ККМ) [13] и др. Каждый из этих двигателей имеет свои преимущества и недостатки. Однако более перспективным для применения на автомобиле можно считать бесшатунный двигатель с ККМ благодаря его существенным преимуществам по сравнению с классическим ДВС, а именно – лучшая топливная экономичность, идеальная уравновешенность при любом числе цилиндров, чрезвычайно тихий ход и низкий уровень шума и вибрации.

Сегодня многими ведущими фирмами Германии, США, Австралии, России и Украины разрабатывается такой двигатель. В Украине в Автомобильно-дорожном институте под руководством проф. Мищенко Н.И. разработаны и испытаны целый ряд экспериментальных одноцилиндровых бесшатунных двигателей с ККМ рабочим объемом 0,075 л.

В бесшатунном двигателе (рис.) механизм преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение вала включает два коленчатых вала: силовой 6 и вспомогательный 8.

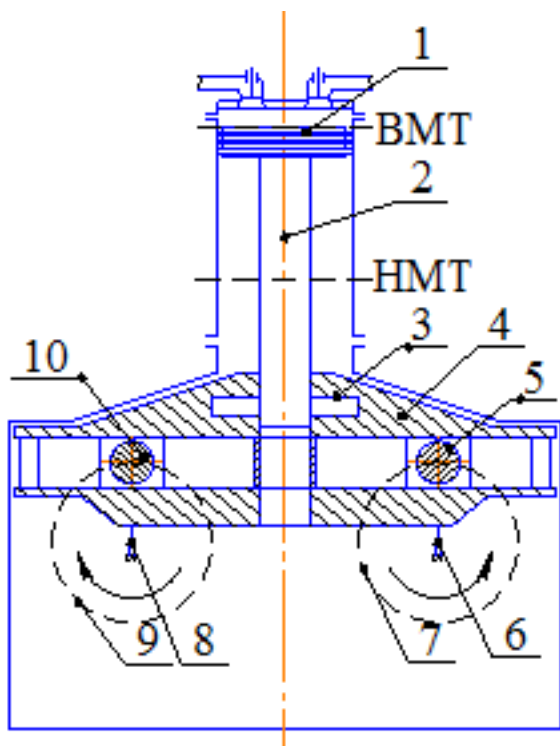


Рис. Бесшатунный двигатель с ККМ

Валы соединены между собой с помощью двух цилиндрических шестерен 7 и 9, которые находятся в зацеплении. На кривошипных шейках коленчатых валов посажены ползуны 5 и 10, которые двигаются по направляющим кулисы 4, которая с помощью штока 2 соединена с поршнем 1. Между штоком и кулисой установлен механизм отключения цилиндров 3.

Отличительной особенностью схемы двигателей с ККМ являются малые потери на трение во всем диапазоне нагрузок и частоты вращения, полная динамическая уравновешенность и равномерность хода. Эти достоинства связаны с тем, что в бесшатунном двигателе шток осуществляет исключительно прямолинейное движение, в связи с чем боковые нагрузки на поршень отсутствуют.

В бесшатунном двигателе рабочий процесс осуществляется как в обычном четырехтактном бензиновом ДВС.

Анализ бесшатунного двигателя с ККМ показывает, что в этом двигателе, кроме возможности повышения эффективного КПД из-за малых механических потерь, конструктивно проще реализуется модульное отключение цилиндров.

Идея реализации отключения цилиндров путем остановки поршня, в бесшатунном двигателе принадлежит проф. Мищенко Н.И., который разработал механизм остановки поршня на бесшатунном двигателе с ККМ. Механизм остановки поршня (МОП) удовлетворяет следующим требованиям:

- отключение любого цилиндра по заданному алгоритму отключения;

- используется работа цикла двигателя и кинетическая энергия силового механизма, то есть не требуется отдельного источника энергии для своей работы;

- простота конструкции, не увеличиваются габариты и не усложняется конструкция двигателя;

- обладает быстродействием срабатывания, чтобы отключить (включить) цилиндр на протяжении не более чем одного рабочего такта (впуска, расширения и т.д.) при частоте вращения коленчатого вала до  $4000 \text{ мин}^{-1}$ ;

- высокая надежность и относительно небольшая стоимость.

Исследования показали повышение топливной экономичности на 40% [14].

Изложенное выше указывает на необходимость и возможность исследований экономической эффективности бесшатунного двигателя с точки зрения его применения на автомобильном транспорте.

**Выводы.** Особое внимание заслуживает внедрение технологий топливных элементов. Водород является единственной приемлемой экологической энергией.

В настоящее время достаточную топливную экономичность можно достигнуть усовершенствованием бесшатунного поршневого ДВС с ККМ путем остановки поршней и применением переменной степени сжатия на частичных режимах. Технологически такой двигатель легче реализовать в металле (80% деталей на изготовления такого двигателя подходят от классического ДВС).

### Л и т е р а т у р а

1. Голохваст К.С. Выбросы автотранспорта и экология человека (обзор литературы) / Голохваст К.С., Чернышев В. В., Угай С. М. // Экология человека, 2016. – № 1. – С. 9–14.
2. Мацкерле Ю. Современный экономичный автомобиль / Ю. Мацкерле; пер. с чешск. В.Б. Иванова; под ред. А.Р. Бенедиктова. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
3. Строганов В.И. Повышение эксплуатационных характеристик электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой: дис. ... д-ра техн. наук / Строганов В. И. – М., 2015. – 356 с.
4. Материалы сайта: <http://avtoaziya.ru/component/tags/tag/ehlektromobili.html>
5. Кравченко А.П. Солнечные элементы питания на автомобильном транспорте. Современное состояние и перспективы использования / Кравченко А.П., Дуда Д.В., Верительник Е.А. // Автомобильный транспорт. – Харьков, ХНАДУ, 2009. – № 25. – С. 34–40.
6. Материалы сайта: [news.eizvestia.com](http://news.eizvestia.com)
7. Раменский А.Ю. Применение водорода в качестве моторного топлива для автомобильных двигателей внутреннего сгорания / А.Ю. Раменский, П.Б. Шелищ, С.И. Нефедкин // Альтернативная энергетика и экология, 2006. – № 11 (43). – С. 63–70.
8. Галеев А.Г. Проблемы обеспечения безопасности стендовых испытаний двигательных и

- энергетических установок на водородном топливе / Галеев А.Г. // Альтернативная энергетика и экология, 2006. – № 11 (43). – С. 23-27.
9. «Saab Reveals Unique Engine Concept That Offers High Performance and Low Fuel Consumption» Internet. 4 May 2001. Available <http://www.saabnet.com/tsn/press/000318.html>
  10. Пат. № 2786530 Франция. Dispositif de transmission mecanique pour moteur a cylindree variable; Rabhi Vianney. – Оpubl. 19.01.2001. – Бюл. № 01/03.
  11. Пат. № 7174863 B2 США, Mechanizm for internal combustion piston engines / Jozeph Scalzo., Оpubl. 13.02.2007.
  12. Баландин С.С. Бесшатунные двигатели внутреннего сгорания / Баландин С.С. – М.: Машиностроение, 1972. – 176 с.
  13. Bak David J. Compact engine eliminates connecting rods, wrist pins / Bak David J. // Des. News, 1985. – 41, № 19. – P. 212–220.
  14. Мищенко Н.И. Автомобильные двигатели с отключением цилиндров: конструкции, анализ / Н.И. Мищенко, Т.Н. Колесникова, В.Л. Супрун, А.Г. Подлесный // Вісник СевНТУ. – Севастополь: СевНТУ, 2011. – Вип. 122/2011. – С. 12-22.

#### References

1. Holohvast K.S. Motor vehicle emissions and human ecology (literature review) / Golohvast KS, Chernyshev VV, Ugay SM // Human Ecology, 2016. – No. 1. – P. 9–14.
2. Matskerle Y. Modern economy car / Y. Matskerle; trans. with Czech. V.B. Ivanova; Ed. A.R. Benedictova. – M.: Mechanical Engineering, 1987. – 320 p.
3. Stroganov V.I. Increasing the operational characteristics of electric vehicles and cars with a combined power plant: dis. ... dr. techn. sciences / Stroganov V.I. – M., 2015. – 356 p.
4. The materials of the site: <http://avtoaziya.ru/component/tags/tag/ehlektromobili.html>
5. Kravchenko A.P. Solar cells for auto transport. Current state and prospects of use / Kravchenko A.P, Duda D.V., Veritelnik E.A. // Automobile transport. – Kharkov, KhNADU, 2009. – No. 25. – P. 34-40.
6. The materials of the site: [news.eizvestia.com](http://news.eizvestia.com)
7. Ramensky A.Y. Application of hydrogen as a motor fuel for automotive internal combustion engines / A.Y. Ramensky, P.B. Shelisch, S.I. Nefedkin // Alternative Energy and Ecology, 2006. – No. 11 (43). – P. 63-70.
8. Galeev A.G. Problems of ensuring the safety of bench tests of propulsion and power plants on hydrogen fuel / Galeev A.G. // Alternative energy and ecology, 2006. – No. 11 (43). – P. 23–27.
9. "Saab Reveals Unique Engine Concept That Offers High Performance and Low Fuel Consumption." Internet. 4 May 2001. Available <http://www.saabnet.com/tsn/press/000318.html>
10. Pat. No. 2786530 France. Dispositif de transmission mecanique pour moteur a cylindree variable; Rabhi Vianney. – Оpubl. 19.01.2001. – Bul. No. 01/03.
11. Pat. No. 7174863 B2 USA, Mechanizm for internal combustion piston engines / Jozeph Scalzo, Оpubl. 13.02.2007.
12. Balandin S.S. Besshatunnye internal combustion engines / Balandin S.S. – Moscow: Mechanical Engineering, 1972. – 176 p.

13. Bak David J. Compact engine eliminates connecting rods, wrist pins / Bak David J. // Des. News, 1985. – 41, No. 19. – P. 212–220.
14. Mischenko N.I. Automobile engines with disconnection of cylinders: constructions, analysis / N.I. Mishchenko, T.N. Kolesnikova, V.L. Suprun, A.G. Podlesny // News of SevNTU. – Sevastopol: SevNTU, 2011. – Vip. 122/2011. – P. 12–22.

#### **Заренбін В.Г., Колеснікова Т.М., Сакно О.П., Мойся Д.Л. Шляхи досягнення паливної економічності автомобілів**

*У статті розглянуті питання впливу автомобільного транспорту (АТ) на навколишнє середовище. Проаналізовані перспективні напрями створення екологічно чистого автомобіля (гібридний автомобіль, електромобіль) і шляхи вдосконалення поршневого ДВЗ. Представлена конструкція і принцип роботи безшатунного двигуна з кривошипно-кулісним механізмом (ККМ), де шток здійснює виключно прямолінійний рух, в зв'язку, з чим бічні навантаження на поршень відсутні. Результат - реалізація модульного відключення циліндрів і підвищення паливної економічності на 40%.*

**Ключові слова:** автомобіль, двигун, кривошипно-кулісним механізмом, екологічність, паливна економічність.

#### **Zarenbin V., Kolesnikova T., Sakno O., Moysya D. Means of achievement the economy of fuel of cars**

*The article considers the problem of influence of motor transport on the environment. Perspective directions of creation ecological car (hybrid car, electro-mobile) and means of improvement piston engine are analyzed. The shortcoming is the high cost of technology and run of a car on hydrogen fuel cells is less than the run of a car on a hydrocarbon fuel.*

*The design and principle of operation of the conrod-free engine with a crank-and-slot mechanism. The piston rod effects linear motion. Side loads on the piston are absent.*

*The results are the implementation of a modular cylinder deactivation and an increase of economy of fuel by 40 percent. It is ideal balance for any number of cylinders, extremely quiet running and low noise and vibration.*

**Keywords:** car, engine, crank-and-slot mechanism, ecological, economy of fuel

**Заренбін В.Г.** – д.т.н., професор, декан механічного факультету, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», e-mail: [zvg@mail.pgasa.dp.ua](mailto:zvg@mail.pgasa.dp.ua)  
**Колеснікова Т.М.** – к.т.н., доцент кафедри експлуатації та ремонту машин, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», e-mail: [tnk1403@ukr.net](mailto:tnk1403@ukr.net)

**Сакно О.П.** – к.т.н., доцент кафедри експлуатації та ремонту машин, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», e-mail: [sakno-olga@ukr.net](mailto:sakno-olga@ukr.net)

**Мойся Д.Л.** – к.т.н., аспірант кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, e-mail: [mihalich\\_ua@mail.ru](mailto:mihalich_ua@mail.ru)

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 13.03.2018.

УДК: 629.4.015

## СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКА ГІДРОАМОРТИЗАТОРА ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЙОГО РОБОТИ

Іщенко В.М., Щербина Ю.В.

### BENCH TESTS OF A PROTOTYPE OF HYDRO DAMPER FOR PASSENGER WAGONS OF AN IMPROVED DESIGN AND AN ASSESSMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF ITS OPERATION

Ischenko V., Scherbina Y.

*В статті представлені результати стендових випробувань дослідного зразка гідравлічного амортизатора пасажирського вагона удосконаленої конструкції типу НЦ-1100, який застосовується на візках типів КВЗ-ЦНІИ.*

*На підставі проведеного аналізу перевірки працездатності гідравлічного гасителя коливань зміненої конструкції в умовах депо встановлено, що параметр в'язкого опору знаходиться в межах нормативних значень і відповідає вимогам після проведення капітального ремонту.*

*Запропоновані підходи, щодо визначення енергії поглинання коливань гідравлічним амортизатором методом лінійної інтерполяції.*

**Ключові слова:** гідравлічний амортизатор, працездатність, ефективність роботи, енергія поглинання коливань, технічний стан.

**Вступ.** Пристрої демпфірування ресорного підвішування пасажирських вагонів мають доволі низьку надійність. Для гідравлічних гасителів коливань типу НЦ-1100 характерно зниження щільності гідросистеми, втрата робочої рідини, нестабільність характеристик в роботі, викликана, зокрема, зносами та пошкодженнями деталей апарату, внаслідок дії багатьох факторів. До значимих факторів відносяться: 1) застосування неякісних конструкційних матеріалів при виготовленні і ремонті гідравлічних амортизаторів, що в значній мірі впливає на ресурс роботи; 2) неякісна зборка окремих вузлів гідравлічного амортизатора, яка призводить до геометричних перекосів та (або) появи нещільності прилягання робочих частин елементів гідравлічної системи; 3) просторові динамічні навантаження, що передаються від кузова вагона на елементи екіпажної частини пасажирського вагона в процесі експлуатації, які безпосередньо сприймаються

гідравлічними амортизаторами є різними за величинами і напрямками дії та внаслідок конструктивної недосконалості гідравлічного гасителя коливань НЦ-1100 приводять до повної або часткової втрати працездатності, за рахунок виникнення блокувань переміщень відповідальних частин та появи зносів.

**Постановка проблеми.** Зміни технічного стану гідравлічних гасителів коливань відіграють важливу роль у роботі всієї механічної системи, що суттєво впливає динамічні показники пасажирського вагона в процесі експлуатації. Одним із найбільш істотних факторів, від яких залежить надійне функціонування системи демпфірування, є, власне, конструкція гідравлічного амортизатора. Аналіз роботи існуючої конструкції гідравлічного гасителя коливань типу НЦ-1100 свідчить про суттєві недоліки конструктивного виконання його окремих частин та елементів. Відомо, що при відхиленнях робочих параметрів гасителів суттєво зростають прискорення коливань кузова вагона, погіршуються показники плавності руху, зростає рівень напруженого стану несучих елементів конструкції. Пошук технічних рішень, пов'язаних з поліпшенням працездатності, підвищенням надійності апарату та збільшенням міжремонтного періоду – є важливою проблемою, яка потребує оперативного вирішення.

**Постановка задачі.** Стендові випробування гідравлічного гасителя коливань удосконаленої конструкції. Дослідження енергії поглинання коливань з використанням методу лінійної інтерполяції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням дослідження впливу несправностей на динаміку пасажирського вагона та визначення напрямків поліпшення працездатності роботи гідравлічних амортизаторів присвячені праці Б.І. Вишнякова, В.І. Варава, Г.М. Левіта, І.І. Челнокова,

А.А. Естлінга, В.В. Хусідова та інших науковців. Відтак, в наукових працях І.І. Челнокова виконано дослідження параметру опору і його зв'язок з появою зазорів і втратою робочої рідини. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що розглянуті фактори є найбільш значущими для оцінки характеристик гідравлічного гасителя коливань. Розглянуто вплив ущільнюючих елементів штока на працездатність гасителя коливань. В роботі Г.М. Левита, розроблена методика обґрунтування і вибору гідравлічних гасителів коливань на стадії проектування рухомої одиниці. В праці В.В. Хусідова розглянуті питання функціонування гідравлічних гасителів коливань при русі вагона. Для певної конструкції гідравлічного гасителя отримані залежності коефіцієнта непружності опору при роздільному гасінні коливань, показаний вплив характеристики гасителя на параметри руху вагона при вертикальних і бічних коливаннях. Багаторічний досвід проведених чисельних досліджень, випробувань демпфірувальних пристроїв та зібрані статистичні відомості щодо виникнення відмов в роботі гідравлічного гасителя коливань, залежно від рівня технічного стану та його конструктивних і технологічних недоліків є достатнім підґрунтям для пошуку оптимального технічного рішення з удосконалення гідравлічного апарату з метою забезпечення стабільності його функціонування.

**Мета статті.** Метою написання цієї статті є дослідження роботи гідравлічного амортизатора удосконаленої конструкції на дійсному стендовому обладнанні, визначення його параметрів та оцінка енергетичної ефективності.

**Результати досліджень.** Для вирішення питань, пов'язаних з підвищенням ефективності роботи та усуненням несправностей [1,2] гідравлічних гасителів коливань типу НЦ-1100 запропоновано провести комплексну модернізацію вузлів. До основних заходів, передбачених проектом модернізації відносяться:

- зміна вузла кріплення штока до верхньої головки гасителя (рис. 1, поз.1).
- заміна ущільнюючих гумових манжет (рис. 1, поз.2);
- зміна конструктивного виконання направляючої (рис. 1, поз.3);
- зміна шарнірних вузлів кріплень гідравлічного гасителя коливань (рис. 1, поз.4);

Конструктивне виконання проекту модернізації зображено на рис. 1.

Відповідно до «Програми і методики дослідних стендових випробувань гідравлічного гасителя коливань типу НЦ-1100» (ПМ.ДУІТ 002-2018) випробуванню підлягав технічно справний гідравлічний гаситель коливань зміненої за проектом модернізації конструкції, працездатність якого була перевірена на стендовому обладнанні СВД11-0,047 вагонного депо Київ-Пасажирський (ВЧД-1) (рис. 2).

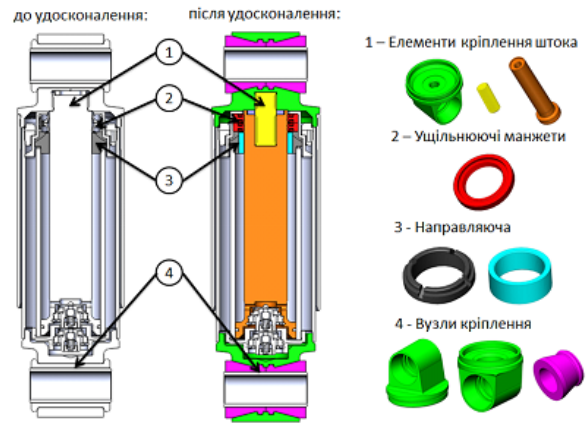


Рис. 1. Гідравлічний гаситель коливань пасажирського вагона

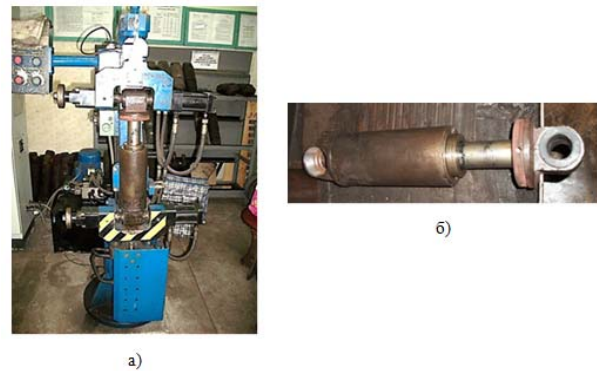


Рис. 2. Проведення випробувань гідравлічного гасителя коливань типу НЦ-1100 зміненої конструкції:  
а – стендові випробування дослідного зразка гідравлічного гасителя коливань;  
б – дослідний зразок гідравлічного гасителя коливань

Реєстрація показань параметрів в'язкого опору гідравлічного гасителя коливань виконувалась з записом робочої діаграми і занесенням до Протоколу проведення випробувань.

Згідно вимог ПМ.ДУІТ 002-2018 виконано шість контрольних досліджень роботи зразка та проведено запис робочих діаграм. Окремі з них показані на рис. 3.

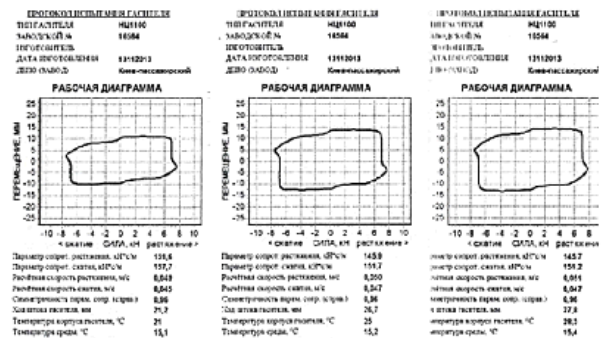


Рис. 3. Робочі діаграми гідравлічного гасителя коливань зав. № 16564

З урахуванням проведення повторних випробувань і огляду на те, що допустимий діапазон параметрів в'язкого опору знаходиться в межах 80-120  $\text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$  побудована діаграма зміни параметрів (рис. 4).

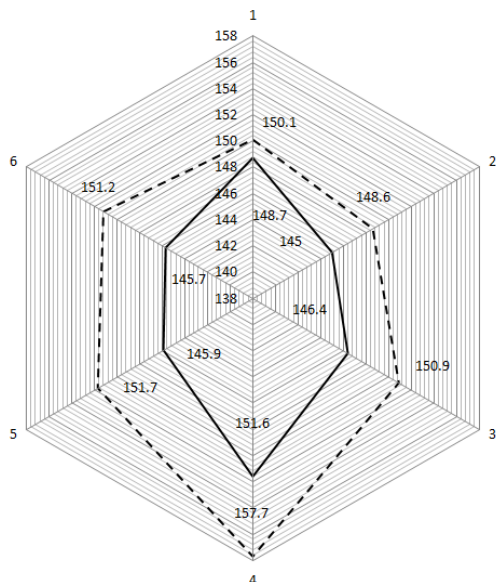


Рис. 4. Графічна залежність зміни параметрів опору при проведенні шести експериментальних досліджень

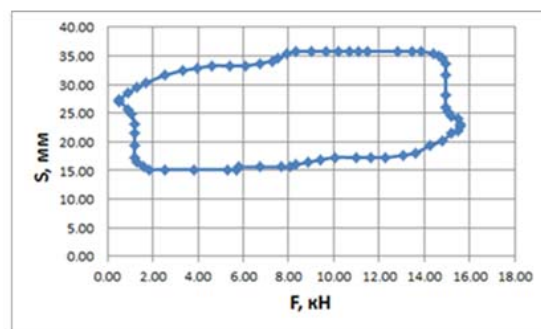
За результатами аналізу обробки залежності змін параметрів опору гідравлічного гасителя коливань типу НЦ1100 встановлено, що:

- параметри опору гідравлічного гасителя коливань № 16564 перевищують встановлені нормативні значення, і знаходяться в діапазоні значень при ході стискування:  
 $\beta_1 = 151,2 \div 157,7 \text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ , при ході розтягнення  
 $\beta_2 = 145,7 \div 151,6 \text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ .

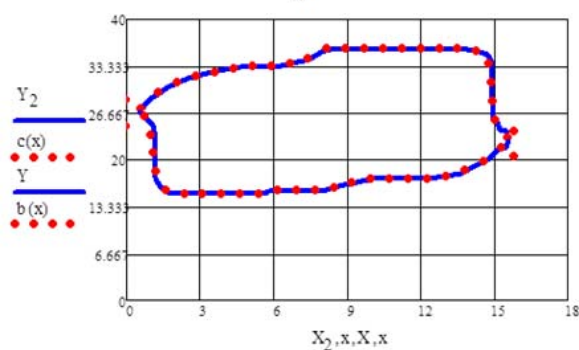
- відхилення параметрів в'язкого опору від прийнятого номінального значення на ході стискування становить:  $\Delta_{\text{min}_80} = 89 \div 97,12\%$  при встановленому мінімально допустимому значенні параметра опору  $\beta_{\text{min}} = 80 \text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ ,  $\Delta_{\text{max}_130} = 16,3 \div 21,3\%$  при максимально допустимому значенні параметра опору  $\beta_{\text{max}} = 130 \text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ .

- відхилення параметрів опору від прийнятого номінального значення на ході розтягнення становить:  $\Delta_{\text{min}_80} = 82,12 \div 89,5\%$  при мінімально допустимому значенні параметра в'язкого опору  $\beta_{\text{min}} = 80 \text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ ,  $\Delta_{\text{max}_130} = 12,07 \div 16,61\%$  при максимально допустимому значенні параметра опору  $\beta_{\text{max}} = 130 \text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ .

Енергетична ефективність роботи гідравлічного гасителя коливань визначається площею його робочої діаграми, і може бути визначена методом безпосереднього інтегрування замкнутого контуру (рис. 5).



а)



б)

Рис. 5. Визначення площі робочої діаграми гідравлічного амортизатора:

а – побудова по координатах в Декартовій системі;  
 б – кусково-лінійні функції за методом інтерполяції

Серед найбільш поширених математичних методів чисельного інтегрування авторами статті особливу увагу приділено класу обчислювального методу – кусково-лінійної апроксимації. Постановкою задачі є визначення функції  $F(x)$  на інтервалі  $[a, b]$  де задані точки масиву  $x_i, i = 0, 1, \dots, N; a \leq x_i \leq b$ , яка проходить через вузли інтерполяції і буде приймати значення невідомої функції в цих точках  $f_i$ .

На кожному інтервалі  $[x_{i-1}, x_i]$  функція є лінійною  $F_i(x) = k_i \cdot x + l_i$ . Значення коефіцієнтів знаходяться за виконання умови визначення локальної інтерполяції на кінцях відрізка:  $F_i(x_{i-1}) = f_{i-1}, F_i(x_i) = f_i$ . Отримаємо систему рівнянь:  $k_i \cdot x_{i-1} + l_i = f_{i-1}, k_i \cdot x_i + l_i = f_i$ , звідки знайдемо  $k_i = \frac{f_i - f_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}, l_i = f_i - k_i \cdot x_i$ .

Отже при умові  $x_{i-1} \leq x \leq x_i$  функція може бути записана у вигляді:

$$F(x) = \frac{f_i - f_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \cdot x + f_i - k_i \cdot x_i, \quad (1)$$

При обробці статистичних даних виникає питання про закон розподілу генеральної сукупності ансамблю опорних точок верхнього і нижнього

контурів. Так, для оцінювання узгодження взаємозв'язку між координатами досліджуваних функцій і точок даних за критерієм Пірсона необхідною умовою є відповідність нормальному закону розподілу, при якому щільність нормального розподілу (функція Гауса) визначається за формулою [3]:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

де  $\mu$  - математичне сподівання;  
 $\sigma$  - середньоквадратичне відхилення;  
 $\sigma^2$  - дисперсія розподілу.



Рис. 6. Закономірність розподілу дискретного набору даних верхнього ряду робочої діаграми

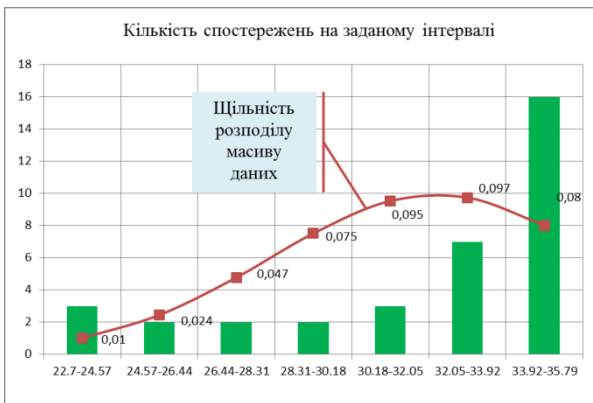


Рис. 7. Закономірність розподілу дискретного набору даних нижнього ряду робочої діаграми

Коефіцієнт кореляції Пірсона розраховується за наступною формулою [4]:

$$k_{кор.П.} = \frac{\sum (x - x_{серед.}) \cdot (y - y_{серед.})}{\sqrt{\sum (x - x_{серед.})^2 \cdot \sum (y - y_{серед.})^2}} \quad (3)$$

де  $x, y$  - досліджувані вибіркові дані по координатам точок;  
 $x_{серед.}, y_{серед.}$  - середні значення вибірових даних по координатам точок.

Для верхнього ряду набору даних коефіцієнт кореляції становить  $k_{кор.П.1} = 0,999035$ , для нижнього -  $k_{кор.П.2} = 0,999998$ , що свідчить про прийнятність використання даного методу (умовою виконання є  $k_{кор.П.} = 1$ ).

Площа контуру робочої діаграми, представленого у вигляді двох обмежувальних функцій, визначається методом чисельного інтегрування за формулою Ньютона – Лейбніца [5]:

$$S_{погл.енергії} = \int_a^b (f_1(x) - f_2(x)) dx \quad (4)$$

З урахуванням прийнятих позначень для встановленого інтервалу  $[a, b]$  формула прийме вигляд:

$$S_{погл.енергії} = \int_{0.52}^{15.6} (c(x) - b(x)) dx$$

Виконаний в програмному середовищі Mathcad розрахунок площі з використанням адаптивного методу свідчить про те, що площа енергії поглинання становить  $S_{погл.енергії} = 247,441 \text{ Дж}$ .

**Висновок**

1. За результатами проведених стендових випробувань гідравлічного гасителя коливань пасажирського вагона зміненої конструкції встановлено, що параметри в'язкого опору перевищують встановлені нормативні значення на ході стиснення майже на 98% на ході стиснення при мінімально допустимому значенні  $\beta_{\min} = 80 \text{ кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ , та практично на 17% на ході розтягнення при максимально допустимому значенні параметра опору  $\beta_{\max} = 130 \text{ кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ . Такі показники свідчать про гарантовану можливість виконання покладених на гідравлічний апарат функцій на більш тривалий експлуатаційний період. З метою визначення міжремонтних періодів дослідних зразків рекомендовано проведення ресурсних експериментальних випробувань.

2. Визначений метод, згідно якого для оцінювання енергії поглинання гідравлічного гасителя коливань за дійсною робочою діаграмою використовується контурний обрис залежності переміщення штока від діючої сили, що може бути заданий окремими функціями. Розрахована площа заданого відрізка, обмежена функціями надає можливість проводити порівняльну оцінку дійсної енергетичної ефективності амортизатора.

**Література**

1. Іщенко В.М., Шатаєв В.М., Щербина Ю.В. Підходи з конструктивного удосконалення гідравлічного амортизатора типу НЦ-1100 візків пасажирських вагонів. Вагонний парк №11-12 (128-129) / 2017. – С.38-42.

2. V.N. Ishchenko, Yu.V. Shcherbyna Ways of improving the units construction of hydraulic shock absorbers of passenger cars on the bogie of kvz-cnii type / V.N. Ishchenko, Yu.V. Shcherbyna Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2017, №3 – P.24-31.
3. Bogachev V.I. Gaussian measures (Mathematical surveys and monographs, ISSN 0076-5376; v.62), 1961. – 436p.
4. Харченко М.А. Корреляционный анализ: Учебное пособие для ВУЗов / Л.М. Носилова. - Воронеж.: - 2008. – 31р.
5. Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа. – М.: Высш. школа, 1981. – 687 с.
6. ЦЛ-0061. Інструкція з експлуатації і ремонту гідравлічних гасителів коливань візків пасажирських вагонів [Текст], 2006. – 80с.

#### References

1. V.N. Ishchenko, V.N. Shataev, Yu.V. Shcherbyna Approaches to constructive improvement of hydraulic shock absorber type НЦ-1100 carriages of passenger cars. Wagon park №11-12 (128-129) / 2017. - P.38-42.
2. V.N. Ishchenko, Yu.V. Shcherbyna Ways of improving the units construction of hydraulic shock absorbers of passenger cars on the bogie of kvz-cnii type / V.N. Ishchenko, Yu.V. Shcherbyna Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2017, №3 – P.24-31.
3. Bogachev V.I. Gaussian measures (Mathematical surveys and monographs, ISSN 0076-5376; v.62), 1961. – 436p.
4. Kharchenko MA Correlation Analysis: A Textbook for High Schools / L.M. Nosilov. - Voronezh. : - 2008. – 31p.
5. Kudryavtsev L.D. Course of mathematical analysis. - M. : High school, 1981. - 687 p.
6. ЦЛ-0061. Instruction on the operation and repair of hydraulic driven vibrations of the carriage of passenger cars [Text], 2006. – 80p.

**Ищенко В.Н., Щербина Ю.В. Стендовые испытания опытного образца гидроамортизатора пассажирского вагона усовершенствованной конструкции и оценка энергетической эффективности его работы.**

*В статье представлены результаты стендовых испытаний опытного образца гидравлического амортизатора пассажирского вагона*

*усовершенствованной конструкции типа НЦ-1100, который применяется на тележках типа КВЗ-ЦННН.*

*На основании проведенного анализа проверки работоспособности гидравлического гасителя колебаний измененной конструкции в условиях депо установлено, что параметр вязкого сопротивления находится в пределах нормативных значений и соответствует требованиям после проведения капитального ремонта.*

*Предложены подходы относительно определения энергии поглощения колебаний гидравлическим амортизатором методом линейной интерполяции.*

**Ключевые слова:** гидравлический амортизатор, работоспособность, эффективность работы, энергия поглощения колебаний, техническое состояние.

**Ischenko V., Scherbina Y. Bench tests of a prototype of hydro damper for passenger wagons of an improved design and an assessment of the energy efficiency of its operation**

*The article presents the results of bench tests of a prototype of the hydraulic damper of a passenger wagon of an advanced design of the type НЦ-1100, which is used on bogies of the type КВЗ-ЦННН.*

*Based on the performed analysis of the performance of the hydraulic damper oscillations of the changed design in the conditions of the depot it is established that the viscous resistance parameter is within the normative values and meets the requirements after the overhaul.*

*Approaches are proposed for determining the absorption energy of vibrations by a hydraulic damper by the method of linear interpolation.*

**Keywords:** hydraulic dampers, operability, work efficiency, vibration absorption energy, technical condition.

**Ищенко В.М.** – к.т.н., зав. кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій,

e-mail: ischenko1520mm@gmail.com

**Щербина Ю.В.** – старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій,

e-mail: scherbina1520mm@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 02.03.2018.

УДК 65.012

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ПОЇЗДОМ

Кічкін О.В.

## INTELLIGENT TRAIN CONTROL SYSTEM

Kichkin A.V.

В роботі розроблена інтелектуальна система управління поїздом на ділянці руху. Для цього вирішено задачу автоматизованого збору інформації про технологічні параметри руху поїздів по ділянці за рахунок застосування сучасних інформаційних технологій для подальшої статистичної адаптації ("машинного навчання") нечіткої моделі управління режимами тяги поїздів. Застосування інформаційних технологій і, зокрема, технології RFID спільно з нечітким моделюванням параметрів тяги та GPS-позиціонуванням поїзду забезпечило максимально точне вимірювання маси поїзда і оптимальних точок ділянок руху, в яких необхідно перемикаєти режими тяги локомотива (контролер машиніста).

**Ключові слова:** тяга поїздів, ділянка руху, обладнання RFID, параметри руху поїздів, контролер машиніста.

Вступ та актуальність. Проведений аналіз свідчить, що існуючий підхід до автоматизації розрахунку технологічних характеристик руху поїздів на ділянках з підйомами та спусками базується на класичних методах без урахування сучасних можливостей автоматизованого вимірювання та ідентифікації маси і ділянок руху поїздів, а також розвитку математичного апарату моделювання, що переводить таку автоматизацію в клас «інтелектуальних» систем, робить обрану тему дослідження актуальною та потребує вирішення наступних задач:

1. Удосконалення існуючої нечіткої моделі управління тягою поїзда [6,9] за рахунок використання адаптивних нейронечітких моделей та їх «машинного навчання».

2. Удосконалення ідентифікації параметрів руху поїзда для більш точного їх вимірювання.

3. Створення інформаційної основи вирішення задач управління тягою поїзда на ділянці руху.

**Метою роботи** є удосконалення управління тягою потягу на ділянці руху за рахунок автоматизованої ідентифікації та нейронечіткої адаптації параметрів руху.

**Основний матеріал.** Рішення задач автоматизованого управління режимами тяги поїздів

зводиться в спрощеному вигляді до задачі управління виду:

$$F(t) = m \cdot a(t) \quad (1)$$

Тут  $F(t)$  і  $a(t)$  - сила тяги і прискорення відповідно, змінюються в часі  $t$ . При цьому точність тягових характеристик, а значить і максимальна оптимальність управління залежать від:

- точності вимірювання маси поїзда  $m$  ;
- точності вимірювання моментів часу  $t$  ,

відповідних оптимальним точкам ділянок руху, в яких необхідно перемикаєти режими тяги локомотива (контролер машиніста).

Схема виведення в моделі управління режимами тяги поїздів (модель типу Сугено) при використанні  $m$  правил і  $n$  вхідних змінних, де  $X$  - параметри моделі управління тягою поїзда,  $Y$  - модельовані значення положення контролеру машиніста, має наступний вигляд:

$$\text{ЯКЩО}(X_n = A_n^{(i)}) \text{ТОДИ}(Y_i = P_{i0} + \sum_{j=1}^n P_{ij} X_j). \quad (2)$$

Ліва умова правила виведення реалізується функцією:

$$\mu_A(x_i) = 1 / (1 + ((x_i - c_i) / \sigma_i)^{2bi}). \quad (3)$$

Агрегований вихідний результат для  $m$  правил має вигляд

$$y(x) = \sum_{i=1}^M w_i y_i(x) / \sum_{i=1}^M w_i. \quad (4)$$

$$y_i = P_{i0} + \sum_{j=1}^n P_{ij} x_j. \quad (5)$$

Відповідна багатошарова нейронна мережа виглядає наступним чином.

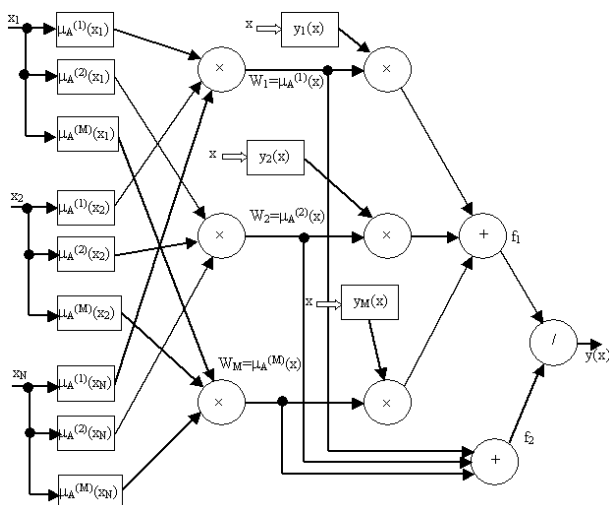


Рис. 1. Багатошарова нечітка нейронна мережа ANFIS

1. Перший шар виконує фазифікацію кожної змінної. Це параметричний шар з параметрами  $c_j^{(i)}, \sigma_j^{(i)}, b_j^{(i)}$ , що підлягають адаптації в процесі навчання.

2. Другий шар виконує агрегацію окремих змінних, визначаючи результуюче значення функції належності  $w_i = \mu_A^i(x)$  для вектору  $x$ .

3. Третій шар - генератор функції Сугено, розраховує значення за формулою (5).

У цьому шарі також робиться множення  $y_i(x)$  на  $w_i$ , сформовані в попередньому шарі. Тут адаптації підлягають ваги  $P_{ij}$ ,  $i = 1 \div m, j = 1 \div n$ .

4. Четвертий шар складають два нейрон-суматори, один з яких розраховує зважену суму сигналів  $y$ , а другий - суму вагів  $w$ .

5. П'ятий шар з одного нейрона - це нормалізуючий шар, в якому вихідний сигнал мережі агрегується по формулі (4).

Структура бази знань для практичної реалізації моделі в системі управління поїздом формалізується за допомогою поняття рівня, який відповідає параметрам ділянки руху, характеристикам поїзду та конкретній моделі локомотива. Кожен рівень визначається таким чином:

$$KB = DB + RB,$$

$$\text{рівень}(t, n) = DB(t, n) + RB(t, n),$$

$$DB = \bigcup_t DB(t, n),$$

$$RB = \bigcup_t RB(t, n), \quad (6)$$

де  $DB(t, n)$  - лінгвістичні сектори даних,  $RB(t, n)$  - лінгвістичні правила.

Побудова бази знань складається з наступних кроків.

1) Генерація  $RB(t, n)$ :

- формується  $DB(t, n)$ ;

- застосовується метод генерації лінгвістичних правил  $LR$  до термів, що знаходяться в заданих секторах:

$$LR(DB(t, n), E_p), \quad (7)$$

де  $E_p$  - безліч вхідних/вихідних змінних.

2) Генерація  $RB(t + 1, 2n - 1)$ :

- обчислюється  $\delta(E_p, RB(t, n))$ ;

- обчислюється  $\delta(E_p, R_i^n)$  для кожного правила;

- вибираються «погані» правила з  $RB(t, n)$ , які розширюватимуться в  $RB(t + 1, 2n - 1)$ :

якщо  $\delta(E_p, R_i^n) \geq \alpha \cdot \delta(E_p, RB(t, n))$ , то

$R_i^n \in RB_{bad}$ , інакше  $R_i^n \in RB_{good}$

де  $RB_{bad}, RB_{good}$  - бази, що містять правила з «поганим/добрим уявленням»,

$\alpha$  - ознака розширюваності;

- отримується  $DB(t + 1, 2n - 1)$  побудовою  $DB_{xy}(t + 1, 2n - 1)$  для всіх вхідних змінних  $x_j (j = \overline{1, m})$  і  $DB_y(t + 1, 2n - 1)$  для вихідної змінної  $y$  положення контролера машиніста;

- комбінуються терми, які використовувалися в правилах з «поганим уявленням» і генеруються нові правила.

3) Побудова бази правил

$$RB = RB_{good} \cup RB(t + 1, 2n - 1), \quad (8)$$

Може вийти так, що знов побудований набір  $(2n - 1)$  лінгвістичних правил не дасть потрібного результату, хоча підмножина з  $(2n - 1)$  - лінгвістичних правил дозволить отримати необхідний результат. У такому разі необхідно враховувати надмірність бази правил [11, 12, 13, 14].

Заповнення бази знань системи інформацією відбувається за рахунок виконання наступних кроків.

1. Формування бази даних RFID-мітки ділянки колії
2. Формування бази даних RFID-мітки поїзда
3. Зчитування інформації сканером локомотива з RFID-мітки ділянки колії

4. Формування бази даних «машинного навчання» моделі руху по ділянці колії даними ділянки
5. Зчитування інформації сканером ділянки колії з RFID -мітки поїзда.
6. Формування бази статистичних даних моделі руху поїздів на ділянці колії даними поїзда.
7. «Машинне навчання» моделі руху поїздів на ділянці колії за рахунок статистичних даних.
8. Визначення координат точки зміни положення контролеру машиніста за допомогою GPS.
9. Формування даних про режими руху поїзда для даної ділянки колії
10. Виведення рекомендацій для машиніста локомотива на екрані бортового комп'ютера щодо зміни режиму тяги: поворот контролера машиніста на певну кількість положень і визначення моменту початку розбігу (для ділянки підйому) та гальмування (для ділянки спуску).

Кінцева апаратура та пристрої визначають інформаційні потоки, що дозволяють збір, обробку та відповідне використання їх для конкретних цілей управління, зокрема рухом поїзда на ділянці. Ці потоки використовують формат потоків даних, розроблений виробником базового програмного забезпечення та відповідної кінцевої апаратури. Якщо необхідно писати програми, які взаємодіють з цими пристроями, то треба написати код для виконання наступних дій:

- Встановлення каналів обміну інформацією, наприклад, TCP / IP або COM-порт RS232.
- Посилання запиту (або команди) пристроям(ів).
- Моніторинг надходження потоків відповідних даних від пристрою.
- Збирання та синтаксичний аналіз отриманих потоків даних та активізація відповідних тригерів для необхідної реакції.

Велика частина такого коду може повторно використовуватися для інших пристроїв. Отже, корисно використовувати засоби моделювання для генерування повторно використовуваного коду і спрощення програмування управління пристроєм. Для цієї мети використано IBM RFID DDK (тут і далі званого Device Developer)[16,17].

RFID DDK є набором інструментальних засобів для моделювання комунікаційних каналів (рівень з'єднання і транспортний рівень), потоків даних запиту і відповіді (рівень потоків даних пристрою) і тригерів, які відповідають потокам відповідних даних, в XML-форматі. Назвемо такий тип XML керуючою мовою розмітки (Control Markup Language - CML). У CML можна визначити параметри комунікаційних каналів з пристроями, команди для управління пристроями і відповіді пристроїв.

RFID-рішення на ділянці руху поїзда складається з декількох типів датчиків і пристроїв перетворення, таких як RFID-теги та зчитувачі,

візуальні індикатори, вимикачі та датчики. Різновидом є GPS-пристрій - тип датчика, який може надати інформацію про місце розташування. Для підключення та обміну даними з пристроями необхідний контролер для управління ними. Для вирішення поставленої мети було використано кінцевий контролер RFID. IBM використовує технологію Workplace Client Technology Micro Edition[18], засновану на технології Open Service Gateway initiative (OSGi)[18] для реалізації кінцевого контролера RFID, яка також називається WebSphere RFID Device Infrastructure. WebSphere RFID Device Infrastructure[17] (або кінцевий контролер) може підключатися, обмінюватися даними і управляти датчиками і пристроями перетворення, отримувати від них необроблені дані, збирати необроблені дані, фільтрувати небажані дані і посилати дані на WebSphere RFID Premises Server (тут і далі в тексті Premises Server) з гарантією надійності і узгодженості, навіть якщо мережа між кінцевим контролером RFID і Premises Server є нестабільною, що характерно для залізничних шляхів.

Кінцевий контролер RFID передає дані в Premises Server, який виступає в ролі посередника між кінцевими пристроями і корпоративними серверами. Premises Server обробляє дані і перетворює їх в значимі для використання зокрема у тягових розрахунках для ділянки руху поїзда. Потім отримані дані надсилаються на сервер-інтеграції через WebSphere Enterprise Service Bus. WebSphere Premises Server - це J2EE-додаток, яке використовує таке програмне забезпечення IBM як WebSphere Application Server, DB2 Universal Database Workgroup Server (або Oracle), WebSphere MQSeries, WebSphere Connection Server Micro Edition, Services Management Framework і Web-додаток для консолі адміністратора.

Premises Server посилає дані на сервер-інтеграції, який координує сервери, які виконують різні корпоративні завдання залізниці. Сервер-інтеграції в нашому рішенні RFID аналогічний серверам інтеграції в інших рішеннях, тому в нашому випадку використовується сервер інтеграції будь-якого типу, з яким вже працює залізниця. Наприклад, це може бути IBM WebSphere Business Integration для інтеграції використовуваних серверів.

Між кінцевим контролером RFID і використовуваними серверами є шина повідомлень, що складається з WebSphere Connection Server Micro Edition і Enterprise Service Bus. Завдяки такій архітектурі, дані передаються з кінцевого контролера RFID на сервери надійно і злагоджено[17,18].

На рисунку 2. показана типова архітектура RFID-рішення на ділянці залізниці для вирішення поставленого завдання.

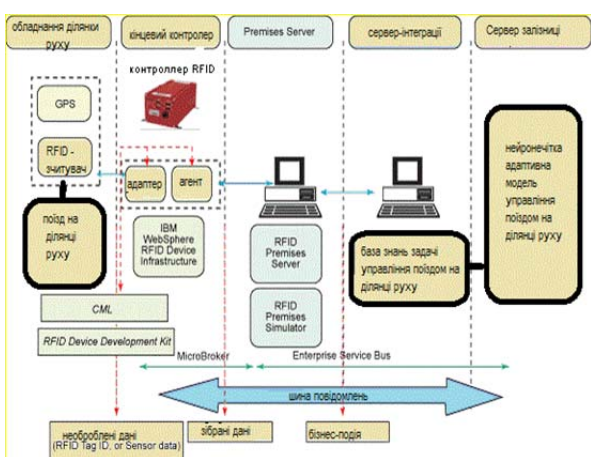


Рис. 2. Програмна архітектура RFID-рішення на ділянці залізниці

Накопичення інформації відбувається на сервері-інтеграції, а обчислення та моделювання тягових розрахунків на корпоративному сервері залізниці.

**Висновок.** Інтелектуальна система управління рухом поїздів вирішує поставлену задачу автоматизованого збору інформації про технологічні параметри руху поїздів по ділянці шляху за рахунок застосування сучасних інформаційних технологій для подальшої статистичної адаптації («машинного навчання») моделі управління режимами тяги поїздів. При цьому застосування інформаційних технологій і, зокрема, технології RFID спільно з нечітким моделюванням параметрів тяги забезпечує максимально точне вимірювання маси поїзда і оптимальних точок ділянок руху, в яких необхідно перемикаєти режими тяги локомотива (контролер машиніста).

### Література

1. Правила тягових розрахунків для поїзної роботи. М., 1985.
2. Тягові розрахунки. Методичні вказівки до курсового проектування під редакцією Ю. Н. Лікратова. Новосибірськ, 1989.
3. Рухомий склад та тягове господарство залізниць / Под ред. А. П. Третьякова. М., 1971.
4. Патент RU (11) 2380261 (51) МПК В61 L 25/02 (2006.01) «Система слідкування за залізничні вагони» (патентодержателя ДЖЕНЕРАЛ ЕЛЕКТРИК КОМПАНІ (US))
5. Корженевич І.П. Оцінка витрати палива або електроенергії через механічну роботу локомотива // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна. - 2009. -Вип. 29.
6. Скалозуб В.В., Іванов А.П. Моделі управління рухом поїздів на основі даних експериментальних поїздок. Локомотив інформ, - Харків: «Техностандарт», травень 2007
7. Блохін С.П., Пшінько О. М., Скалозуб В. В., Земляні У Б. Вибір енергетично оптимальних режимів ведення

поїздів // Залізничний транспорт України. - 2001. - № 6. - С.19-22.

8. Іванов А.П. Удосконалення нечіткої моделі управління режимами тяги поїздів (УДК 629.4.016.12), ІКСЗТ, 2010 № 4 11.
9. Городецкий, А.Г. Програмные средства интеллектуальных систем / А.Г. Городецкий. СПб.: СПбГТУ, 2000. 171 с. 4.
10. Джексон, П. Введение в экспертные системы: учеб. пособие / П. Джексон. М.: Вильямс, 2001. – 624 с. 5.
11. Андрейченков, А.В. Интеллектуальные информационные системы: учебник / А.В. Андрейченков. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 424 с.
12. Nauck D., Klawonn F., Kruse R. Foundations of Neuro-Fuzzy Systems. John Wiley & Sons.- 1997.- 305p.
13. <http://infokom.org/about-2/>
14. <http://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg247147.pdf>
15. <https://www-01.ibm.com/software/wireless/wctme/j2me.html>
16. [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSUS84\\_7.5.2/com.ibm.ram.doc/topics/c\\_osgi\\_library.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSUS84_7.5.2/com.ibm.ram.doc/topics/c_osgi_library.html)

### References

1. Pravila tyagovih rozrahunkiv dlya poyiznoyi roboti. M., 1985.
2. Tyagovi rozrahunki. Metodichni vказivki do kursovogo proektuvannya pid redaktsieyu Yu. N. Lkratova. Novosibirsk, 1989.
3. Ruhomiy sklad ta tyagove gospodarstvo zaliznits / Pod red. A. P. Tret'yakova. M., 1971.
4. Patent RU (11) 2380261 (51) MPK V61 L 25/02 (2006.01) «СИСТЕМА СЛІДУВАННЯ ЗА ЗАЛІЗНИЧНИ ВАГОНІ» (PATENTODERZHATELYA DZHENERAL ELEKTRIK KOMPANI (US))
5. Korzhenevich I.P. Otsinka vitrati paliva abo elektroenergiyi cherez mehanichnu robotu lokomotiva // Visnik Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akad. V. Lazaryana. - 2009. -Vip. 29.
6. Skalozub V.V., Ivanov A.P. Modeli upravlinnya ruhom poyizdiv na osnovi danih eksperimentalnih poyizdok. Lokomotiv Inform, - Harkiv: «Tehnostandart», traven 2007
7. Blohin E.P., Pshinko O. M., Skalozub V. V., Zemlyan I U B. Vibir energetichno optimalnih rezhimiv vedennya poyizdiv // Zaliznichniy transport Ukraini. - 2001. - # 6. - S.19-22.
8. Ivanov A.P. Udokonalennya nechitkoyi modeli upravlinnya rezhimami tyagi poyizdiv (UDK 629.4.016.12), IKSZT, 2010 # 4 11.
9. Gorodetskiy, A.G. Programmnye sredstva intellektualnykh sistem / A.G. Gorodetskiy. SPb.: SPbGTU, 2000. 171 s. 4.
10. Dzhekson, P. Vvedenie v ekspertnyye sistemy: ucheb. posobie / P. Dzhekson. M.: Vilyams, 2001. – 624 s. 5.
11. Andreychenkov, A.V. Intellektualnyye informatsionnyye sistemy: uchebnik / A.V. Andreychenkov. – M.: Finansi i statistika, 2004. – 424 s.
12. Nauck D., Klawonn F., Kruse R. Foundations of Neuro-Fuzzy Systems. John Wiley & Sons.- 1997.- 305p.
13. <http://infokom.org/about-2/>
14. <http://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg247147.pdf>
15. <https://www-01.ibm.com/software/wireless/wctme/j2me.html>
16. 18. [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSUS84\\_7.5](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru/SSUS84_7.5)

**Кичкин А.В. Интеллектуальная система управления поездом.**

*В работе разработана интеллектуальная система управления поездом на участке движения. Для этого решена задача автоматизированного сбора информации о технологических параметрах движения поездов по участку за счет применения современных информационных технологий для дальнейшей статистической адаптации ("машинного обучения") нечеткой модели управления режимами тяги поездов. Применение информационных технологий и, в частности, технологии RFID совместно с нечетким моделированием параметров тяги и GPS-позиционированием поезда обеспечило максимально точное измерение массы поезда и оптимальных точек участков движения, в которых необходимо переключать режимы тяги локомотива (контроллер машиниста).*

**Ключевые слова:** тяга поездов, участок движения, оборудование RFID, параметры движения поездов, контроллер машиниста.

**Kichkin A.V. Intelligent train control system.**

*In work the intellectual system of management by a train on traffic area is developed. For this purpose, the task of automated collection of information on the technological parameters of train traffic was solved through the use of modern information technologies for further statistical adaptation ("machine learning") of the fuzzy model of control of traction modes of trains. The use of information technology and, in particular, RFID technology in conjunction with fuzzy modeling of traction parameters and GPS positioning of the train has provided the most accurate measurement of the train mass and the optimal points of the traffic areas in which it is necessary to switch the locomotive traction modes (driver's controller).*

**Keywords:** traction of trains, traffic area, RFID equipment, trains parameters, driver's controller.

**Кічкін О.В.** – ст. викладач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СХУ ім.В.Даля, e-mail: [kichkin@ukr.net](mailto:kichkin@ukr.net)

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 13.04.2018.

УДК 65.012

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ВИРОБНИЧОЇ ТА ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ ЛОГІСТИКИ

Кічкіна О.І.

### SIMULATION MODEL FOR PRODUCTION AND TRANSPORT -WAREHOUSE LOGISTICS

Kichkina O.I.

Створення імітаційної моделі виробничої та транспортно-складської логістики дозволило створити на її основі систему підтримки прийняття рішень з питань логістичної діяльності підприємства. Результатом імітаційного моделювання є оптимізація процесів виробничої та транспортно-складської логістики підприємства. Створена імітаційна модель є практично автоматизованим робочим містом логістичної та диспетчерської служби підприємства.

**Ключові слова:** імітаційна модель, AnyLogic, транспортно-складська логістика, виробнича логістика, система масового обслуговування.

**Вступ.** Імітаційне моделювання у логістиці з використанням сучасного математичного апарату відіграє важливу роль у ефективному управлінні підприємством. Багато підприємств використовують імітаційне моделювання, але не завжди ефективно. Нажаль практично немає прикладів об'єднання моделей логістики складу та виробництва.

Діяльність багатьох підприємств завжди здійснюється в умовах ризику, джерелами якого є нерівномірність надходження заявок у систему виробництва. Тому для більш ефективного управління необхідно використовувати імітаційне моделювання з поєднанням декількох моделей, що відображають всі логістичні складові діяльності підприємства.

**Мета роботи:** удосконалення транспортно-складської та виробничої логістики засобами імітаційного моделювання.

**Основний матеріал.** Імітаційна модель транспортно-складської та виробничої логістики реалізована за допомогою Anylogic. Дана модель описує виробниче підприємство, яке поділяється на дві робочі зони, де відбувається взаємодія виробничого обладнання, навантажувачів-транспортерів та автомобільного транспорту. Модель транспортно-складської та виробничої логістики – це складна система масового

обслуговування, у якій є свій вхідний потік (пляшки) і вихідні потоки (навантажені автотрейлери).

У даній імітаційній моделі розглядається вантажопотік двох видів вантажу: мінеральна вода та слабоалкогольні напої.

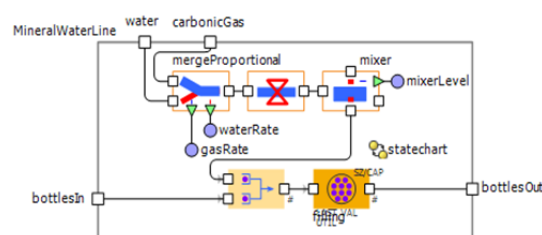


Рис. 1. Змішувач мінеральної води

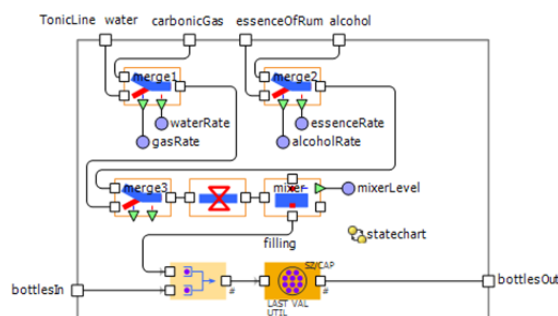


Рис. 2. Змішувач слабоалкогольних напоїв

виробництва напоїв відбувається таким чином: порожні пляшки з пляшкового складу подаються на конвеєрну стрічку після чого поступають у миючі машини, де відбувається мийка та чистка тари, тестування пляшок на придатність до подальшого виробництва. Далі відбувається розподіл пляшок для мінеральної води та слабоалкогольних напоїв. Пляшки подаються у змішувачі (рис 1 та 2), де

відбувається наповнення пляшки водою та додається вуглекислий газ, після цього пляшки поступають у етикетувальні апарати, де на пляшку наноситься етикетка компанії, далі пляшки йдуть на пакувальний апарат (рис. 3), де відбувається формування вантажної одиниці. У подальшому вантажна одиниця за допомогою вилкового навантажувача пересувається у складське приміщення.

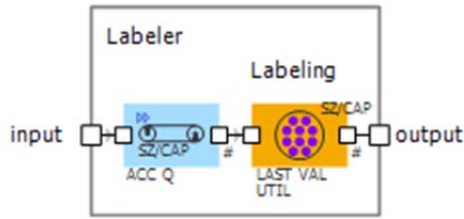


Рис. 3. Пакувальний елемент

Виробництво слабоалкогольних напоїв відрізняється лише тим, що після тестувального апарата пляшки подаються на інший конвеєр, який подає пляшки у апарат для змішувачів тонізуючих напоїв, де відбувається наповнення пляшки водою, есенцією, вуглекислим газом та алкоголем. Далі відбуваються такі самі операції, що і з мінеральною водою. Накопичення сировинних компонентів відбувається у накопичувачах(рис.4)

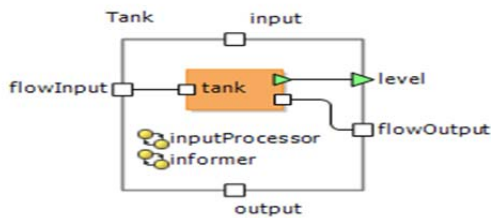


Рис. 4. Накопичувач

У складському приміщенні є дві зони відвантаження, для мінеральної води та слабоалкогольних напоїв (рис 5). Навантаження та розвантаження напоїв відбувається за допомогою вилкового навантажувача. Також є зона загального відвантаження на автотрейлери.

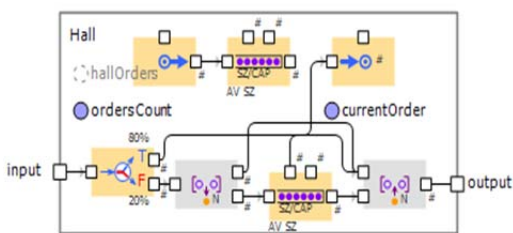


Рис. 5. Складське приміщення

Отже, якщо розглянути імітаційну модель виробничої та транспортно-складської логістики підприємства, то можна подивитись розвиток різних варіантів у майбутньому. Є можливість змінити потужність подання пляшок, кількість миючих машин, зменшити чи збільшити додавання есенції у напої, збільшити кількість навантажувачів, якщо це того потребує. Динаміка зміни показників виробництва та збуту дозволяє удосконалити логістику відповідних складових роботи підприємства.

Транспортно-складська та виробничої логістика являє собою систему масового обслуговування, яка складається з певної кількості підсистем. Таку систему можна представити у вигляді агрегатів, взаємозалежних спільною обробкою матеріалів. Ця схема містить зв'язки між агрегатами системи. Функціонування кожного окремого агрегату відрізняється один від одного.

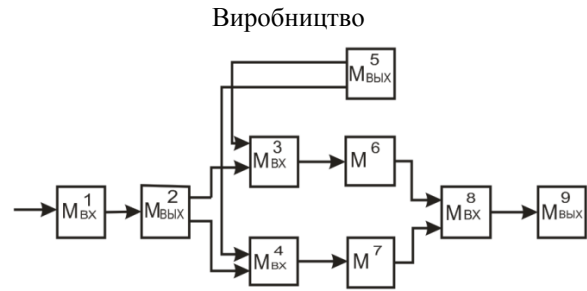


Рис. 6. Структурний зв'язок агрегатів виробничого процесу

Виробництво:  $M^1$ - миюча машина,  $M^2$ - тестувальний апарат,  $M^3$ - змішувач для мінеральної води,  $M^4$ - змішувач для тоніку,  $M^5$ - додавач суміші,  $M^6$ - етикерувальник,  $M^7$ - етикерувальник,  $M^8$ - пакувальна машина,  $M^9$ - готова продукція.

Для мінеральної води:  
 $\neg M^1 M^2 \neg M^5 \neg M^3 M^6 \neg M^8 M^9 \neg$

Для слабоалкогольної продукції:  
 $\neg M^1 M^2 \neg M^5 \neg M^4 M^7 \neg M^8 M^9 \neg$

Склад:  $M^{10}$ - готова продукція,  $M^{11}$ - навантажувач,  $M^{12}$ - навантажувач,  $M^{13}$ - склад слабоалкогольних напоїв,  $M^{14}$ - склад мінеральної води,  $M^{15}$ - відправка на збут.

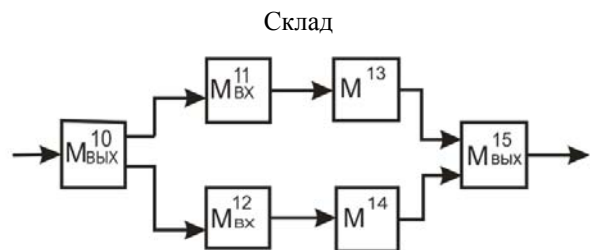


Рис. 7. Структурний зв'язок агрегатів складу

Для мінеральної води:  $M^{10} \neg M^{11} M^{13} \neg M^{15}$   
 Для слабоалкогольної продукції:  
 $M^{10} \neg M^{12} M^{14} \neg M^{15}$

У загальному випадку за одним  $s$ -м агрегатом можуть впливати декілька  $n^*$  агрегатів. Зв'язок агрегатів типу «розбіжність» можна виразити наступним чином:

$$\varphi_j^{(s)} = \begin{cases} \varphi_j^{(s,s+n_1)} = I_j^{(s,s+n_1)}, \\ \varphi_j^{(s,s+n_2)} = I_j^{(s,s+n_2)}, \\ \dots\dots\dots \\ \varphi_j^{(s,s+n^*)} = I_j^{(s,s+n^*)}. \end{cases}$$

Аналогічно, у розглянутій системі одному агрегату може в загальному випадку передувати декілька  $n^*$  агрегатів. Це зв'язок типу «сходження»:

$$\left. \begin{cases} \varphi_j^{(s-n_1,s)} = I_j^{(s-n_1,s)}, \\ \varphi_j^{(s-n_2,s)} = I_j^{(s-n_2,s)}, \\ \dots\dots\dots \\ \varphi_j^{(s-n^*,s)} = I_j^{(s-n^*,s)} \end{cases} \right\} = I_j^{(s)}.$$

Нашу систему агрегатів також можна описати по зв'язку типу «сходження» і «розбіжність»:

$$\begin{aligned} \varphi^1 &= \left\{ \varphi^{(1,1+2)} = I^{(1,1+2)} \right\}, \\ \varphi^{(2-1,2)} &= I^{(2-1,2)} \left. \right\} = I^{(2)}, \\ \varphi^2 &= \left\{ \varphi^{(2,2+3)} = I^{(2,2+3)} \right\}, \\ \varphi^{(3-2,3)} &= I^{(3-2,3)} \left. \right\} = I^{(3)}, \\ \varphi^3 &= \left\{ \varphi^{(3,3+5)} = I^{(3,3+5)} \right\}, \\ \varphi^4 &= \left\{ \varphi^{(4,4+5)} = I^{(4,4+5)} \right\}, \\ \varphi^{(5-3,5)} &= I^{(5-3,5)} \left. \right\} = I^{(5)}, \\ \varphi^{(5-4,5)} &= I^{(5-4,5)} \left. \right\} = I^{(5)}, \\ \varphi^5 &= \left\{ \varphi^{(5,5+6)} = I^{(5,5+6)} \right\}, \\ \varphi^{(6-5,6)} &= I^{(6-5,6)} \left. \right\} = I^{(6)}, \\ \varphi^7 &= \left\{ \varphi^{(7,7+8)} = I^{(7,7+8)} \right\}, \\ \varphi^{(8-7,8)} &= I^{(8-7,8)} \left. \right\} = I^{(8)}. \end{aligned}$$

Інструмент імітаційного моделювання при виконанні комп'ютерного експерименту в цьому випадку повинен забезпечувати зручний інтерфейс для завдання значень вхідних параметрів (факторів) і реєстрації відповідних значень вихідних показників і їх зміни в часі. Завдання виду «що-якщо» в Anylogic вирішуються за допомогою так званого простого експерименту. Такий експеримент дозволяє візуально відображати результати роботи моделі за допомогою анімації, графіків (діаграм) і т. п. Простий експеримент використовується в

більшості випадків при розробці й аналізі моделей, створених в Anylogic.

В нашому випадку для оцінки результуючих виробничих параметрів задаються параметри управління: швидкість подачі чистої води та вуглекислого газу (для мінеральної води), швидкість подачі чистої води, вуглекислого газу та алкоголю (для слабоалкогольних напоїв). Окрім того у моделі фіксуються об'єми подачі сировинних компонентів у змішувачі першого і другого типу для води та тоніку (з можливістю їх відключення). Для розливу готової продукції у тару в моделі передбачено 2 об'єкта: склад готової і миючої машини, кількість яких можна змінювати за допомогою слайдера. У моделі також імітується робота двох етикетувальних машин (окремо для води та тоніку) і відповідних пакувальних ліній (рис 9). Результат моделювання виробничої логістики відображається у нижній частині екрану комп'ютера і представлений наступними параметрами: об'єм виробництва тоніку та мінеральної води у ящиках та очікуваний для виконання заказ у ящиках. Окрім того відображається кількість пляшкової тари, яка пройшла чи не пройшла тестування на придатність. Одним з головних параметрів моделювання є добова продуктивність у пляшках.

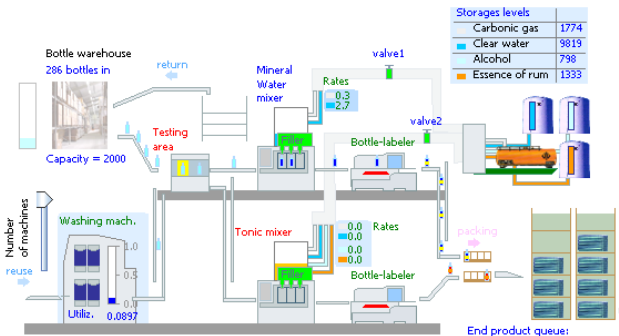


Рис. 9. Скріншот імітаційної моделі виробничого процесу

Імітаційне моделювання транспортно-складської логістики реалізується перемиканням екрану, при цьому параметрами є: кількість навантажувачів та щільність їх використання на виробничій та складській території (інтенсивність). Моделювання транспортно-складської логістики відбувається у межах трьох складських зон: відвантаження готової продукції, зона складування готової продукції, термінал відвантаження споживачам (рис 10).

Результатом імітаційного моделювання є оптимізація процесів виробничої та транспортно-складської логістики підприємства. Створена імітаційна модель є практично автоматизованим робочим місцем логістичної та диспетчерської служби підприємства.

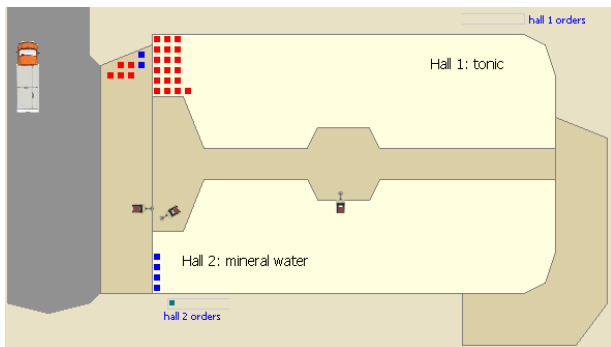


Рис. 10. Імітаційна модель складського приміщення

### Висновки.

- Створення імітаційної моделі виробничої та транспортно-складської логістики дозволило створити на її основі систему підтримки прийняття рішень з питань логістичної діяльності підприємства.

- Можливість використання в Anylogic сучасних баз даних стала основою створення інформаційної моделі транспортно-складської та виробничої логістики по виробництву та збуту слабоалкогольних та безалкогольних напоїв у вигляді бази даних СУБД MS Access.

- Експериментальне дослідження створеної імітаційної моделі підтвердило її адекватність та можливість застосування в управлінні логістичними ланцюгами підприємства.

### Література

1. Бережная Е.В., Березной В.И. Математические методы моделирования экономических систем: Учебн. Пособие. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 368с.
2. Гаджинский А. М. Основы логистики: Учебный посібник. – М.: ИБЦ (Маркетинг), 1995. – 124с
3. Григор'єв І. AnyLogic за три дні: - СПб.: VAS, 2016. - 202 с Дітріх М. Складська логістика. Нові шляхи системного планування - М.: КІА Центр, 2004 – 135 с.
4. Кічкіна О.І. Моделювання поведінки транспортно-складської системи Вісник СХУ імені Володимира Даля -№ 6 (177) –Ч.І - Луганськ 2012. с.312-315
5. Курганов В. М. Логістика. Транспорт та склад у ланцюгу постачань товару: Учебно-практичний посібник. – М.: Книжковий світ, 2005. – 432 с.
6. Крикавський Євген. Логістика підприємства: Навч. Посібник. – Львів ДУ (Львівська політехніка), 1996.- 160 с.
7. Уотерс Д. Логістика. Управління ланцюгом постачань: пер. з англ.. – М.: Юніті, 2003. – 503 с.
8. Шенон Р. Імітаційне моделювання систем – мистецтво та наука/ М.: Світ, 1971. – 418 с.

### References

1. Berezhnaya E.V., Berezhnoy V.I. Matematicheskie metody modelirovaniya ekonomicheskikh sistem: Uchebn. Posobie. – M.: Finansi i statistika, 2001. – 368s.
2. Gadzhinskiy A. M. Osnovi logistiki: Uchboviy posibnik. – M.: IBTs (Marketing), 1995. – 124s
3. Grigor'ev I. AnyLogic za tri dni.: - SPb.: VAS, 2016. - 202 s Dіtrih M. Skladska logistika. Novi shlyahi sistemnogo planuvannya - M.: KIA Tsent, 2004 – 135 s.
4. Kіchkina O.I. Modelyuvannya povedіnki transportno-skladskoYi sistemi Вісник СХУ імені Володимира Даля - # 6 (177) –Ч.І - Луганск 2012. s.312-315
5. Kurganov V. M. Logistika. Transport ta sklad u lantsyugu postachan tovaru: Uchbovo-praktichniy posibnik. – M.: Knizhkoviyy svIt, 2005. – 432 s.
6. Krikavskiy Evgen. Logistika pіdpriemstva: Navch. Posibnik. – LvIv DU (LvIvska polіtehnika), 1996.- 160 s.
7. Uoters D. Logistika. Upravlnnya lantsyugom postachan: per. z angl.. – M.: YunItI, 2003. – 503 s.
8. Shenon R. ImItatsIyne modelyuvannya sistem – mistetstvo ta nauka/ M.: SvIt, 1971. – 418 s.

### Кичкіна Е.І. Імітаційна модель виробничої та транспортно-складської логістики.

*Создание имитационной модели производственной и транспортно-складской логистики позволило создать на ее основе систему поддержки принятия решений по вопросам логистической деятельности предприятия. Результатом имитационного моделирования является оптимизация процессов производственной и транспортно-складской логистики предприятия. Созданная имитационная модель является практически автоматизированным рабочим местом логистической и диспетчерской службы предприятия.*

**Ключевые слова:** имитационная модель, AnyLogic, транспортно-складская логистика, производственная логистика, система массового обслуживания.

### Kichkina E.I. Simulation model of production and transport-warehouse logistics.

*Creation of a simulation model of production and transport-warehouse logistics made it possible to create on its basis a system for supporting decision-making on the issues of logistic activity of an enterprise. The result of simulation is the optimization of the processes of production and transport-warehouse logistics of the enterprise. The created simulation model is an almost automated workplace of the logistics and dispatch service of the enterprise.*

**Keywords:** simulation model, AnyLogic, transport-warehouse logistics, production logistics, queuing system.

**Кічкіна О.І.** – к.т.н., доц. кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СХУ ім.В.Даля, e-mail: [fkі4kіnaoi@ukr.net](mailto:fkі4kіnaoi@ukr.net)

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 12.03.2018.

УДК 656

## МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ НЕЧІТКОЇ ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Кічка О.І., Кічкін О.В.

## MODEL OF DISTRIBUTION OF VEHICLES IN CONDITIONS OF FUZZY PRIMARY INFORMATION

Kichkina O.I., Kichkin O.V.

*В статті наведені результати аналізу вагонопотоків підприємств Луганської області, запропонований новий підхід щодо управління логістичними потоками на базі моделі нечіткої логіки регіонального логістичного центру (РЛЦ). Завдяки реалізації моделі за допомогою сучасних інформаційних технологій прискорюється та удосконалюється прийняття рішень в управлінні РЛЦ. Запропонована модель нечіткої логіки дозволяє адекватно ситуації розподіляти парк вагонів для забезпечення руху вантажопотоків в регіональній логістичній системі.*

**Ключові слова:** нечітка логіка, вагонопотік, логістичний потік, критий вагон, напіввагон

**Постановка проблеми.** В сучасних умовах господарювання з позиції ресурсозбереження постає задача щодо зменшення одиниць транспорту при збереженні та зростанні обсягів роботи. В умовах наявності різних форм власності необхідна координація власників та споживачів. Це можна реалізувати шляхом розробки відповідної математичної моделі, що дозволяє визначити раціональну технологію організації транспортного процесу залізниць України та підприємств, скоротити експлуатаційні витрати та сформувати ієрархічну систему логістичних центрів в транспортній галузі.

Досягнення цієї мети передбачає постановку та вирішення таких основних задач: розробка концепції щодо вирішення наукової задачі формування та ефективного управління організаційною структурою логістичних центрів залізниць України; удосконалення методів планування вантажної роботи на залізничному полігоні у межах виробничо-транспортних логістичних ланцюгів з урахуванням невизначеності вхідних даних.

**Ціль статті.** Розробка гнучкої моделі прогнозування необхідної кількості вагонів різних

видів, яка у певній ступені буде враховувати нечіткість вхідної інформації і буде в короткі інтервали часу адаптуватися до мінливих ситуацій.

**Матеріали і результати дослідження.** На основі аналізу роботи декількох підприємств основних галузей промисловості регіону: металургійної, хімічної вугільної, було проаналізовано попит на вагони і визначені потреби у вагонах певних типів. При вирішенні поставленої задачі методи математичної статистики не дають стохастичної залежності і не відображають адекватні оперативні управлінські рішення. Тому постає питання розробки гнучкої моделі прогнозування яка у певній ступені буде враховувати нечіткість вхідної інформації і буде в короткі інтервали часу адаптуватися до мінливих ситуацій. Пропонується новий підхід з використанням методів теорії нечітких множин та нечіткої логіки при вирішенні задачі створення та ефективного управління організаційною структурою логістичного центру, при формалізації транспортного процесу в умовах раціонального розподілу обмеженого ресурсу. Метод втілений в модель продукційного типу. Вона в першу чергу враховує нечіткість вхідної інформації та вплив людини на вибір раціонального рішення. Також іншим із важливих факторів, що обумовлюють вибір даного математичного апарату є можливість гнучкого адаптування до зміни транспортних ситуацій. Модель представлена у вигляді нечіткого функціонального графу (рис1)

Деталізуємо нашу формалізацію для створення задачі організації роботи логістичного розподільного центру вагонів:

Наведемо перелік вхідних нечітких змінних:

$X_1^1$  - об'єм потреби в критих вагонах по кварталі;

$X_1^2$  - об'єм потреби в напіввагонах по кварталу;

$X_2^1$  - об'єм поквартальної потреби в критих вагонах по підприємствах;

$X_2^2$  - об'єм поквартальної потреби в напіввагонах по підприємствах;

$X_3^1$  - об'єм поквартальної потреби в критих вагонах по типу вантажу;

$X_3^2$  - об'єм поквартальної потреби в напіввагонах по типу вантажу;

$X_4$  - квартална кількість критих вагонів для перевезення концентрату;

$X_5$  - квартална кількість критих вагонів для перевезення карбоніду;

$X_6$  - квартална кількість критих вагонів для перевезення селітри аміачної;

$X_7$  - квартална кількість критих вагонів для перевезення сілі;

$X_8$  - квартална кількість критих вагонів для перевезення кислоти адипінової;

$X_9$  - квартална кількість критих вагонів для перевезення циклогексанону;

$X_{10}$  - потреба у критих вагонах ЗАТ «АЗОТ» за квартал;

$X_{11}^1$  - потреба у критих вагонах станції Лисичанськ за квартал;

$X_{11}^2$  - потреба у напіввагонах станції Лисичанськ за квартал;

$X_{12}$  - потреба у напіввагонах станції Рубіжне за квартал;

$X_{13}$  - квартална кількість напіввагонів для перевезення вугілля;

$X_{14}$  - квартална кількість напіввагонів для перевезення будматеріалів;

$X_{15}$  - квартална кількість напіввагонів для перевезення піску;

$X_{16}$  - квартална кількість напіввагонів для перевезення зернових;

$X_{17}$  - квартална кількість напіввагонів для перевезення металобрухту;

$X_{18}$  - квартална кількість напіввагонів для перевезення вапняку.

При цьому перелік вихідних нечітких змінних наступний:

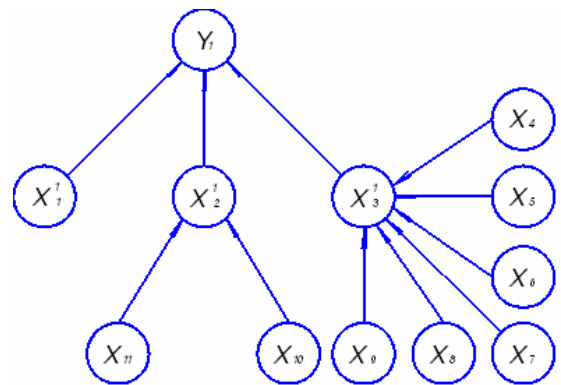
$Y_1$  - кількісна прогнозна потреба у критих вагонах;

$Y_2$  - кількісна прогнозна потреба у напіввагонах;

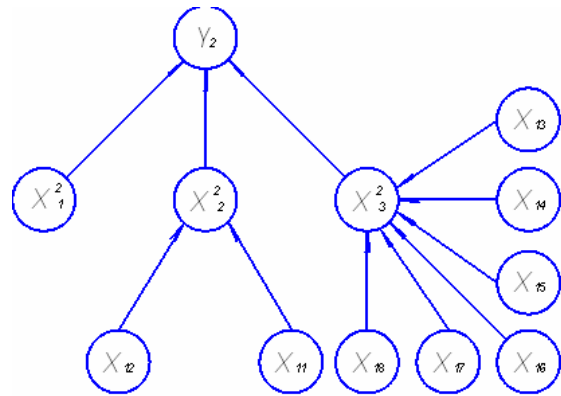
Для побудови нечіткого функціонального графа управління (НФГУ) задачі організації роботи логістичного розподільного центру вагонів розглянемо наступні залежності (функції фільтру вершин  $\varphi_\beta(x)$ ):

$$Y_1 = \varphi(X_1^1, X_2^1, X_3^1, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}^1); \quad (1)$$

$$Y_2 = \varphi(X_1^2, X_2^2, X_3^2, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{11}^2, X_{12}). \quad (2)$$



а



б

Рис. 1. Нечіткий функціональний граф для забезпечення вагонами споживачів: а – критими, б – піввагонами

При цьому вважатимемо, що всі нечіткі змінні є лінгвістичними змінними з такими термами:

$\{Y_{1i}\}$  - множина термів лінгвістичної змінної  $Y_1$ ,

$\{Y_{2i}\}$  - множина термів лінгвістичної змінної  $Y_2$ ,

$\{X^z_{ij}\}$  - множина термів лінгвістичної змінної  $X_i$   $i = \overline{1,18}, j = \overline{1,7}, z = \overline{1,2}$ .

Кількість термів для наведених лінгвістичних змінних може бути різною. За допомогою поняття універсальної множини та функції належності представимо кожен із термів як нечітку множину наступним чином:

$$Y_{1i} = \int_{U_{y1}} \varphi^{y1i}(v_{y1}) / v_{y1}, v_{y1} \in U_{y1}; \quad (3)$$

$$Y_{2i} = \int_{U_{y2}} \varphi^{y2i}(v_{y2}) / v_{y2}, v_{y2} \in U_{y2}; \quad (4)$$

$$X_{ij}^z = \int_{U_{xij}} \mu^{xij}(x_{ij}^z) / x_{ij}^z, x_{ij}^z \in U_{xij};$$

де  $i = \overline{1, 18}, j = \overline{1, 7}, z = \overline{1, 2}. \quad (5)$

Де  $U_{y1}, U_{y2}, U_{xij}$  - універсальні множини, на яких задані лінгвістичні змінні  $Y_1, Y_2, X_{ij}^z$ .

Подальші дії спрямовані на створення матриць знань. За допомогою правил стає можливим деталізувати формалізацію узагальненої моделі прогнозування кількості вагонів для забезпечення вантажопотоків підприємств (функції фільтру вершин НФГУ  $\varphi_\beta(x)$ ):

- матриця знань, що відтворює залежність між відповідними значеннями термів вхідних змінних та значеннями термів вихідної змінної (залежність)  $Y_1 = \varphi(X_1^1, X_2^1, X_3^1, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}^1)$

- значень прогнозованої потреби у критих вагонах.

- матриця знань, що відтворює залежність між відповідними значеннями термів вхідних змінних та значеннями термів вихідної змінної (залежність)  $Y_2 = \varphi(X_1^2, X_2^2, X_3^2, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{11}^2, X_{12})$

- значень прогнозованої потреби у напіввагонах.

Для створення бази правил нечіткого логічного виводу, які складають основу бази знань прогнозування потреби у вагонах різних підприємств, необхідно побудувати логічні висловлювання змінних наступного вигляду:

- для забезпечення потреби у критих вагонах:

$$IF(X_1^1 = X_{1j}^1) AND(X_2^1 = X_{2j}^1) AND(X_3^1 = X_{3j}^1) AND(X_4 = X_{4j})$$

$$AND(X_5 = X_{5j})$$

$$AND(X_6 = X_{6j}) AND(X_7 = X_{7j}) AND(X_8 = X_{8j}) AND(X_9 = X_{9j})$$

$$AND(X_{10} = X_{10j})$$

$$AND(X_{11}^1 = X_{11j}^1) THEN(Y_1 = Y_{1i})$$

- з наведеної бази знань сформована відповідна система нечітких логічних рівнянь:

$$\mu_i^1 = \bigvee_j (\mu_i^5 \wedge \mu_i^6 \wedge \mu_i^7 \wedge \mu_i^8 \wedge \mu_i^9 \wedge \mu_i^4), \quad (6)$$

де  $i = \text{дн, н, нс, с, вс, в, дв};$

$j = \text{кількість продукційних правил (висловлювань) моделі.}$

- для забезпечення потреби у у напіввагонах :

$$IF(X_1^2 = X_{1j}^2) AND(X_2^2 = X_{2j}^2) AND(X_3^2 = X_{3j}^2) AND(X_{13} = X_{13j})$$

$$AND(X_{14} = X_{14j})$$

$$AND(X_{15} = X_{15j}) AND(X_{16} = X_{16j}) AND(X_{17} = X_{17j}) AND(X_{18} = X_{18j})$$

$$AND(X_{11}^2 = X_{11j}^2)$$

$$AND(X_{12} = X_{12j}) THEN(Y_2 = Y_{2i})$$

- з наведеної бази знань сформована відповідна система нечітких логічних рівнянь:

$$\mu_i^2 = \bigvee_j (\mu_i^{14} \wedge \mu_i^{15} \wedge \mu_i^{16} \wedge \mu_i^{17} \wedge \mu_i^{18} \wedge \mu_i^{13}), \quad (7)$$

де  $i = \text{дн, н, нс, с, вс, в, дв};$

$j = \text{кількість продукційних правил (висловлювань) моделі.}$

Деталізуємо далі відповідні лінгвістичні змінні за допомогою нечітких термів та побудуємо для них функції належності.

При цьому множина значень терм інтервалу відповідає певній характеристиці:

дн – дуже низьке;

н – низьке;

нс – нижче середнього;

с – середнє;

вс – вище середнього;

в – велике;

дв – дуже велике.

Вирішення наведених логічних рівнянь складає математичне рішення проблеми прогнозування потреби у вагонах замовників при роботі з різноманітними вантажами.

Для реалізації системи прогнозування та розподілення вагонів, необхідно створення та калібровка відповідної моделі логічного виводу. Для реалізації даного завдання доречно використання Matlab Fuzzy Logic Toolbox. За допомогою якого можливо досить швидко, зручно та точно побудувати систему правил логічного виводу для конкретної моделі логістичного розподільного центра.

**Висновки.** Запропонована модель нечіткої логіки дозволить адекватно ситуації розподіляти парк вагонів для забезпечення руху матеріалопотоків в регіональній логістичній системі. Завдяки реалізації моделі за допомогою сучасних інформаційних технологій прискорюється

та удосконалюється прийняття рішень в управлінні РЛЦ.

#### Л і т е р а т у р а

1. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. Рига: "Зинатне", 1990.
2. Р.Беллман, Л.Заде. Вопросы принятия решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. / М.: Мир, 1976.

#### R e f e r e n c e s

1. Borisov AN, Krumberg O.A., Fedorov I.P. Making decisions based on fuzzy models. Examples of use. Riga: "Zinatne", 1990.
2. R. Bellman, L. Zade. Issues of decision-making in vague conditions // Problems of analysis and decision-making procedures. / М.: Mir, 1976.

#### **Кичина Е.И., Кичкин А.В. Модель распределения транспортных средств в условиях нечеткой первичной информации.**

*В статье приведены результаты анализа вагонопотоков предприятий Луганской области, предложен новый подход к управлению логистическими потоками на базе модели нечеткой логики регионального логистического центра (РЛЦ). Благодаря реализации модели с помощью современных информационных технологий ускоряется и совершенствуется принятия решений в управлении РЛЦ. Предложенная модель*

*нечеткой логики позволяет адекватно ситуации распределять парк вагонов для обеспечения движения грузопотоков в региональной логистической системе.*

**Ключевые слова:** нечеткая логика, вагонопоток, логистический поток, крытый вагон

#### **Kichina E.I., Kichkin A.V. Model of distribution of vehicles in conditions of fuzzy primary information.**

*The article presents the results of the analysis of railroad car flows in Lugansk region enterprises and suggests a new approach to the management of logistical flows based on the fuzzy logic model of the regional logistics center (RLC). Thanks to the implementation of the model with the help of modern information technologies, decision making in the management of the RLT is accelerated and improved. The proposed model of fuzzy logic allows one to adequately allocate a fleet of wagons for the traffic flow in a regional logistics system.*

**Keywords:** fuzzy logic, wagon trail, logistic flow, covered wagon

**Кічка Іна О.І.** – к.т.н., доц. кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім.В.Даля, e-mail: fki4kinoai@ukr.net

**Кічка Іна О.В.** – ст. викладач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім.В.Даля, e-mail: kichkin@ukr.net

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 12.03.2018.

УДК 339.65.011.13

## ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАРІЮ ЯКІСНОГО АНАЛІЗУ РИЗИКІВ У ПРОЕКТІ СТВОРЕННЯ ЛОГІСТИЧНОГО ЦЕНТРУ

Ковтун Т.А., Смокова Т.М.

## THE APPLYING OF THE QUALITY RISK ANALYSIS INSTRUMENT IN THE LOGISTIC CENTER CREATION PROJECT

Kovtun T., Smokova T.

*Стаття присвячена проблемі створення сучасних логістичних центрів на території України. Розглянуто специфічні особливості проектів створення логістичних центрів та приділено увагу інтеграційним ризикам в проектах з великою кількістю учасників. Запропоновано застосування інструментарію методології управління якістю при проведенні якісного аналізу ризиків проекту створення логістичного центру.*

**Ключові слова:** логістичний центр, проект створення логістичного центру, логістична та проектна інтеграція, інтеграційні ризики, якісний аналіз інтеграційних ризиків.

**Вступ.** Управління проектами як сучасна методологія, застосування якої дозволяє значно підвищити ефективність діяльності у різноманітних сферах, в сучасних умовах перетворилась в найбільш часто використовуваний інструмент досягнення успіху дій, спрямованих на покращення транспортної інфраструктури. Сучасні умови господарювання призвели до ускладнення підприємницьких структур, зокрема створення логістичних систем та мереж, що керують потоковими процесами й визначаються високим ступенем складності та інтегрованості. Функцію інтеграції учасників процесу пересування та перетворення логістичного потоку найчастіше виконують логістичні центри. Логістичні центри надають весь комплекс логістичних послуг, що дозволяє значно збільшити вантажопотоки, поліпшити якість надання транспортних послуг та загалом підвищити конкурентоспроможність вітчизняної транспортної галузі.

**Постановка проблеми.** В Україні процес організації діяльності логістичних центрів перебуває на початковому етапі та здійснюється дуже повільно. Це пояснюється великою кількістю негативних чинників: політичних, економічних, адміністративних та законодавчих, що впливають на формування та розвиток логістичної

інфраструктури. Недостатньо глибоко вивчено також питання управління проектами об'єктів логістичної інфраструктури, відсутнє обґрунтоване методичне забезпечення розробки проектів створення логістичних центрів, яке б враховувало специфічні особливості створюваних об'єктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Не дивлячись на велику кількість наукових робіт, що присвячені формуванню та організації діяльності об'єктів логістичної інфраструктури, таких відомих авторів, як В.І. Сергєєв, Є.В. Крикавський, А.М. Гаджинський, Л.Б. Міротін, Ю.М. Цветков, М.А. Окландер, та ін., питанням застосування інструментарію проектного управління в проектуванні логістичних систем приділено недостатньо уваги. Наприклад, в роботах В.І. Сергєєва [1], Є.В. Крикавського [2], розглядаються теоретичні питання та практичні аспекти функціонування логістичних центрів. Принципи створення логістичних центрів висвітлюються в роботах О.І. Никофорука [3], М.А. Винагородова [4], О.М. Полякової [5] та ін. Питанню проектування логістичних центрів присвячена робота Ю.М. Цветкова, О.П. Кутах та М.В. Макаренко [6]. Механізми формування логістичних центрів вивчали І.М. Комарницький, Н.С. Питуляк, І.В. Когут [7]. Аналізом сучасного стану та перспектив створення логістичних центрів в Україні займалися, О.М. Полякова та І.В. Соломніков [8], Л.В. Ширяєва та І.В. Козеренко [9], Н.М. Дашенко [10].

На жаль існуючих наукових розробок недостатньо для кардинального покращення стану з методичним забезпеченням процесу управління проектами в логістиці, в якому б враховувались особливості об'єктів логістичної інфраструктури, таких, наприклад, як логістичні центри.

**Метою статті** є надання рекомендацій щодо застосування інструментарію якісного аналізу ризиків у проєкті створення логістичного центру.

**Результати досліджень.** В загальному сенсі логістичний центр – це організаційно та виробничо інтегрована складна система, основним завданням якої є забезпечення умов для інтеграції різноманітних об'єктів логістичної та супутньої інфраструктури на одній території, що надає можливість поліпшення пересування логістичних потоків.

У документі ЄЕК ООН «Термінологія комбінованих перевезень» надається таке визначення логістичного центру: логістичний центр – це територіальне об'єднання незалежних компаній і органів, що займаються вантажними перевезеннями (наприклад, транспортних посередників, вантажовідправників, операторів перевезень, митних органів) і супутніми послугами (наприклад, зберігання, технічного обслуговування і ремонту), що включає, щонайменше, один термінал [11]. Іншими словами, логістичний центр уявляє собою систему, яка складається з декількох підсистем, об'єднаних інтеграційними зв'язками, що дозволяє їй виконувати логістичні функції.

Інтегративність логістичної системи базується на понятті інтеграції. Інтеграція – це процес створення зв'язків між елементами системи, що забезпечує її цілісність. Інтегративність як стан є результатом інтеграційного процесу, який не закінчується при настанні даного стану, а постійно протікає для його підтримки. Інтеграція існує в різних сферах життєдіяльності людини, причому кожен вид інтеграції має специфічні особливості. В даний час розрізняють інтеграцію: економічну, політичну, соціальну, виробничу, системну тощо.

Системна інтеграція – це розробка комплексних рішень по автоматизації технологічних і бізнес-процесів підприємства. Її кінцевою метою є максимально ефективне управління технологічним процесом, виробництвом, організацією в цілому. У проєктах логістичних систем в залежності від обраної проєкції системна інтеграція може представлятися як логістична і проєктна. Логістична інтеграція вирішує питання топологічної, технологічної, інформаційної інтеграції; проєктна, в свою чергу, виражається в інтеграції учасників, процесів та галузей проєкту [12].

В.В. Плотніков визначає логістичну інтеграцію як «процес об'єднання діяльності різних підприємств з метою підвищення ефективності їх спільного функціонування за рахунок оптимізації на основі використання властивостей логістики в рамках їх спільної роботи параметрів реалізації функціональних поточкових процесів» [13].

Отже, логістична інтеграція має такі властивості:

- дозволяє використати переваги логістичного підходу шляхом об'єднання логістичних функцій та концентрації ресурсів;

- передбачає добровільне об'єднання підприємств та організацій, що задіяні в пересуванні логістичних потоків та мають за ціль оптимізацію логістичних витрат та прибутку.

Таким чином, можна стверджувати, що логістичні центри як об'єкти логістичної інфраструктури виникли завдяки поширенню логістичної інтеграції і стали невід'ємною складовою логістичних систем, що надають можливість реалізації логістичної інтеграції. Саме логістичні центри забезпечують інтеграцію логістичних систем.

Однією з основних характеристик проєктів логістичних центрів є велика кількість учасників, яка динамічно змінюється на протязі всього життєвого циклу проєкту. Не всі учасники проєкту мають у ньому рівнозначну зацікавленість, несуть відповідальність за його успішність у рівному обсязі, мають вплив на прийняття проєктних рішень та користуватимуться в рівній мірі його результатами. Отже, необхідно поділяти всіх учасників проєкту на основні зацікавлені сторони (ініціатор(и), замовник(и), інвестор(и), девелопер(и)) та другорядних учасників (партнерів), до яких належать всі залучені до проєкту організації та підприємства, що працюють на договірних або контрактних умовах. Різниця існує у цінності для проєкту між основними та другорядними учасниками. Якщо, основний учасник вирішив припинити участь у проєкті, це, як правило, призводить до припинення всього проєкту, оскільки основні учасники є найбільш зацікавленими особами в проєкті. У разі виходу з проєкту другорядного учасника, це мабуть не призведе до припинення проєкту, але може похитнути його та вивести зі стабільного стану, тобто вплинути на його стійкість.

Проєкти створення логістичних центрів мають досить тривалий життєвий цикл. В умовах нестабільного середовища та жорсткої конкуренції на ринку логістичних послуг основні учасники бажають мати впевненість у затребуваності на ринку послуг логістичного центру для успішної реалізації проєкту його створення. Одним зі шляхів зниження невизначеності умов реалізації проєкту є укладання договорів про співпрацю між основними та другорядними учасниками для отримання продуктів інвестиційної та експлуатаційної фаз проєкту, а саме логістичного центру та послуг, що надаватиме логістичний центр, відповідно [14].

Якщо розглядати склад другорядних учасників через призму інтегрованої логістики, то ми маємо множину відносно рівноправних та незалежних партнерів, пов'язаних інтеграційними зв'язками, що забезпечують взаємовигідне співробітництво та досягнення синергетичного ефекту.

В залежності від етапу життєвого циклу проєкту існує різниця між вимогами, що пред'являються до учасників для входження до складу проєкту. Отже, на передінвестиційній фазі – це доцільність, тобто відповідність поставленій цілі

або цілям, що досягаються в результаті здійснення проекту. На інвестиційній фазі основним завданням є створення надійної системи, яка на експлуатаційній фазі буде спроможною виявити стійкість до змін внутрішнього або зовнішнього середовища. Зміни середовища небезпечні виникненням інтеграційних проектних ризиків, під якими розуміють окрему категорію ризиків, що призводять до порушення інтеграції, в даному випадку учасників проекту [15].

Для управління інтеграційними ризиками проекту створення логістичного центру характерні всі етапи управління проектними ризиками, а саме: планування управління ризиками, ідентифікація ризиків, якісний аналіз ризиків, кількісний аналіз ризиків, планування реагування на ризики [16]. Особливу увагу необхідно приділити якісному аналізу ризиків, а, саме, їх ідентифікації та специфікації, оскільки інтеграційні ризики відносяться до тієї категорії ризиків, наслідки настання яких мають значний вплив на стабільний стан проекту аж до його руйнування як системи [17].

Порушення інтеграційних зв'язків може виникнути у випадку, якщо елемент системи (учасник проекту) не є зацікавленим у подальшій співпраці та участі в проекті. Виявити ступінь бажання бути у складі учасників проекту пропонується за допомогою показника локальної корисності учасника.

Отже, на етапі якісного аналізу необхідно виявити джерела можливих інтеграційних ризиків проекту, тобто виявити тих учасників проекту, дії яких можуть призвести до порушення інтеграційних зв'язків у проекті. Для цього пропонується використовувати метод, що широко застосовується в якісному аналізі явищ та процесів – аналіз Парето, як інструментарій, що дозволяє визначити основні причини або фактори, що призводять до виникнення більшості випадків, що аналізуються. На погляд авторів статті, аналіз Парето може бути використаний і для виявлення основних причин виникнення інтеграційних ризиків проекту створення логістичного центру.

Оскільки партнери є незалежними та утворюють відносно рівноправні зв'язки, що забезпечують просування логістичних потоків та засновані на взаємних обов'язках та відповідальності, а також функціонують за рахунок єдиної ресурсної бази, їхню структуру можна представити у вигляді логістичної мережі (рис.1). Припустимо, що в проекті створення логістичного центру зв'язок між рівноправними партнерами представлений децентралізованим сполученням крапка-крапка (point-to-point) (рис.1.a), тобто існує прямий зв'язок між елементами системи. Кількість інтеграційних зв'язків в такому разі залежить від кількості учасників та розраховується як  $n(n-1)$  (у разі наявності зв'язків між всіма елементами), де  $n$  – кількість елементів. Якщо зв'язок існує не між всіма

елементами, кількість сполучень зменшується (рис.1.б).

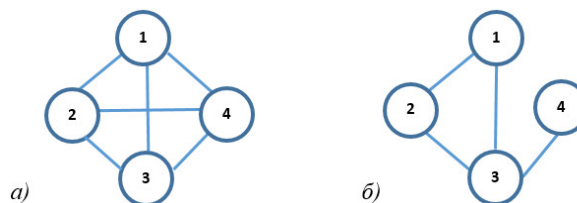


Рис. 1. Варіанти децентралізованих інтеграційних зв'язків

Коли кількість інтеграційних зв'язків між елементами не однакова, виникає різниця між елементами по ступеню важливості у збереженні цілісності системи. Наприклад, у варіанті а) ступінь важливості елемента «4» значно більше, ніж у варіанті б), оскільки кількість інтеграційних зв'язків даного елемента з іншими елементами системи у варіанті а) значно більша, ніж у варіанті б). Видалення «4»-го елемента з системи у випадку а) може призвести до серйозних наслідків, майже до руйнування всієї системи, а у випадку б) лише до тимчасових складнощів.

Відповідно з правилом Парето, причиною інтеграційних ризиків проекту у 80% випадків є 20% учасників проекту, що формують найбільшу кількість інтеграційних зв'язків між собою та іншими учасниками проекту. Отже, враховуючи кількість інтеграційних зв'язків, можна виявити тих учасників проекту, вплив яких на цілісність системи є максимальним. Для цього необхідно побудувати діаграму Парето, а потім використовуючи метод АВС-аналізу, провести групування учасників проекту за ступенем впливу на цілісність проекту.

Наприклад, сформуємо систему з дванадцятьма елементами – партнерами у проекті створення логістичного центру (рис.2).

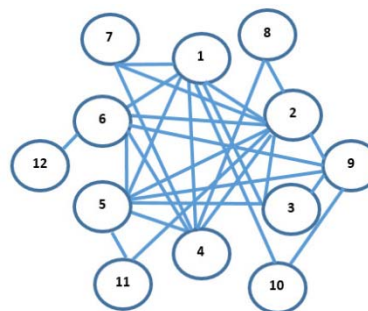


Рис. 2. Інтеграційні зв'язки між партнерами в проекті створення логістичного центру

Якісний аналіз інтеграційних ризиків проекту з використанням діаграми Парето складається з наступних етапів:

1) створення матриці суміжності, що відображає наявність (1), чи відсутність (0) інтеграційних зв'язків між елементами,

- 2) аналіз значимості отриманих результатів, що відображається у таблиці агрегованих даних,
- 3) побудова діаграми Парето.

Між партнерами існують інтеграційні зв'язки, структуру яких можливо описати за допомогою матриці суміжності (табл.1).

Таблиця 1

**Матриця суміжності елементів (партнерів)**

Еле-мент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
3	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
4	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
5	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0
6	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1
7	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
11	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Зведемо у таблиці 2 отриману інформацію про інтеграційні зв'язки між партнерами у проекті створення логістичного центру.

Таблиця 2

**Агреговані дані щодо інтеграційних зв'язків партнерів**

Еле-мент	Кіль-кість інтеграційних зв'язків	Накопичувальна сума кількості інтеграційних зв'язків	% інтеграційних зв'язків у загальній сумі	Накопичувальний %
2	9	9	16,67	16,67
5	7	16	12,96	29,63
1	7	23	12,96	42,59
4	6	29	11,11	53,70
6	6	35	11,11	64,81
9	5	40	9,26	74,07
3	4	44	7,41	81,48
7	3	47	5,56	87,04
10	2	49	3,70	90,74
11	2	51	3,70	94,44
8	2	53	3,70	98,15
12	1	54	1,85	100,00

Побудуємо діаграму Парето інтеграційних зв'язків партнерів, використовуючі дані аналізу. На осі абсцис розташуємо елементи по ступеню зростання кількості інтеграційних зв'язків, а по осі ординат – процент інтеграційних зв'язків елементів у загальній сумі та кумулятивний процент інтеграційних зв'язків (рис.3).

Викорстовуючи інструментарій ABC-аналізу, визначимо групи важливості для управління інтеграційними ризиками:

– група А – найбільш важливі елементи системи, що мають найбільшу кількість інтеграційних зв'язків з іншими елементами. Відносний відсоток групи А в загальній кількості елементів зазвичай становить від 60 до 80%. До елементів групи А відносяться учасники 2;5;1;4;6;9, що мають сукупний процент інтеграційних зв'язків 74,07%.

– група В – елементи, що в сумі мають не більше 20%. До них відносяться елементи 3;7, сукупна доля яких складає 12,97%.

– група С –найменш значущі елементи, до яких відносяться учасники, що мають не більш двох інтеграційних зв'язків, а саме: 10;11;8;12. На їх долю припадає 12,96% зв'язків проекту (рис.4).

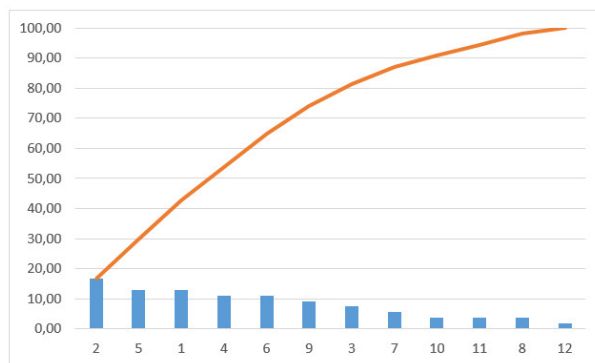


Рис. 3. Діаграма Парето інтеграційних зв'язків партнерів

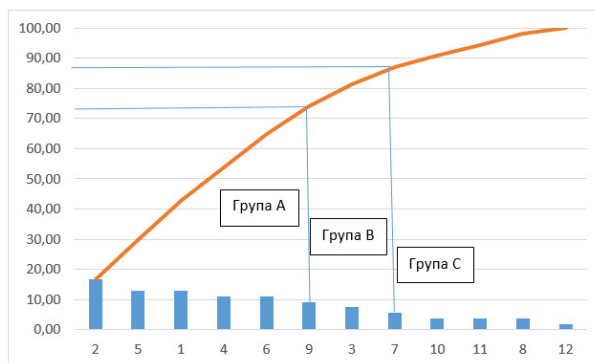


Рис. 4. ABC-аналіз партнерів

Таким чином, подальші зусилля ризик-менеджменту проекту створення логістичного центру повинні бути направлені на попередження інтеграційних ризиків, що пов'язані здебільшого з елементами групи А, оскільки вплив саме цих учасників на цілісність проекту як системи є максимальним. Отже, потрібно провести аналіз можливих причин розриву зв'язків між партнерами та прийняти попереджувальні заходи для запобігання негативних наслідків для проекту.

Для аналізу причин розриву інтеграційних зв'язків між учасниками проекту рекомендуємо використовувати причинно-наслідкову діаграму Ісікави як один з інструментів якісного аналізу ризиків. В якості «основної кістки» використовуємо учасників проекту, що увійшли до групи найбільшого ризику, а саме до групи А. Аналіз причинно-наслідкових зв'язків дозволяє виявити причини, що можуть призвести до розриву інтеграційних зв'язків між елементами системи. На рисунку 5 представлений приклад діаграми Ісікави, побудованої для учасника проекту під номером «1».

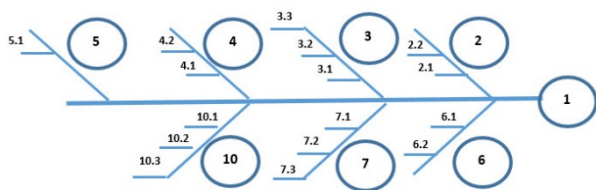


Рис. 5. Діаграма Ісікави інтеграційних зв'язків партнера «1»

На «кістках першого рівня» розташовані партнери, з якими у даного учасника існують інтеграційні зв'язки, на «кістках другого рівня» – причини, що можуть призвести до розриву відповідних зв'язків. Декомпозиція причин виникнення проблеми з партнерами може здійснюватися до третього і подальших рівнів в залежності від глибини аналізу, що здійснюється, та наявності інформації про стан справ у проєкті.

**Висновки.** Потреба у створенні в Україні сучасних логістичних центрів як об'єктів, що забезпечують інтеграцію учасників в логістичних системах та мережах, є особливо гострою в останні роки і вимагає негайного вирішення. Для успішної реалізації таких масштабних та складних проєктів необхідна наявність відповідного методичного забезпечення, що дозволить врахувати особливості створюваних комплексів. Велика кількість учасників проєкту створення логістичного центру є причиною виникнення інтеграційних проєктних ризиків, настання яких може призвести до виникнення дуже негативних наслідків, навіть до повного закриття проєкту. Тому даній категорії ризиків необхідно приділяти особливу увагу та проводити постійний аналіз для попередження їх виникнення, в тому числі якісний аналіз, що застосовує інструментарій відомих методів (діаграма Парето, АВС-аналіз, діаграма Ісікави) з урахуванням специфічних особливостей інтеграції у проєкті. Це дозволить в значній мірі знизити ступінь інтеграційних ризиків проєкту, тобто повисити його стійкість до зовнішніх або внутрішніх змін середовища.

### Література

1. Сергеев В.И. Логистика в транспортном комплексе России: проблемы и предложения [Электронный ресурс] // Логистика в транспортном комплексе РФ, заседание Группы 19, 26 мая 2011 года – 54 слайда. – Режим доступа: [strategy2020.gian.ru/load/366078781](http://strategy2020.gian.ru/load/366078781).
2. Крикавский Е.В. Логистический центр – это узловой объект логистических сетей / Е.В. Крикавский // Логистика: проблемы и решения. – 2008. – № 5(18). – С. 38-40.
3. Никифорок О.І. Становлення і функціонування транспортно-логістичної інфраструктури в Україні : автореф. дис. ... на здобуття вченого ступеня канд. екон. наук. – Київ, 2005. – 21 с.
4. Виноградов М.А. Управление межрегиональным товарообменом на основе создания логистических центров (на примере Ростовской области) : автореф.

дис. ... на соискание уч. степени канд. экон. наук. – Ростов-на-Дону, 2007. – 26 с.

5. Полякова О.М. Формування інтермодальної транспортної системи України на базі вантажних транспортно-розподільчих комплексів : автореф. дис. ... на здобуття вченого ступеня канд. екон. наук. – Харків, 2005. – 20 с.
6. Цветков Ю.М. Концепція програми формування мережі логістичних центрів в системі міжнародних транспортних коридорів України. / Ю.М. Цветков, О.П. Кутах, М.В. Макаренко та ін. – К. : КУЕГТ, 2003. – 109 с.
7. Комарницький І.М. Механізми формування логістичних центрів / І.М. Комарницький, Н.С. Питуляк, І.В. Когут. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. С.190-196. /Polytechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua>
8. Полякова О. М. Передумови форсування мережі мультимодальних транспортно-логістичних центрів в Україні / О. М. Полякова, І.В. Соломніков // Вісник економіки і промисловості. — № 34. — 2011. — С. 217 — 222.
9. Ширяєва Л. В., Козеренко І.А. Перспективи розвитку логістичних центрів в Україні на основі Європейської та Азійської моделей / Л. В. Ширяєва, І.А. Козеренко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. — № 4 (146). — 2011. — С.74 — 81.
10. Дашенко Н. М. Развитие логистических центров на современном этапе [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [www.nbu.gov.ua](http://www.nbu.gov.ua).
11. «Terminology on combined transport», available at: <http://www.internationaltransportforum> (Accessed April 2017).
12. Смокова Т. Н. Интеграция в проектах создания мультимодальных логистических комплексов / Т.Н. Смокова // Восточно-европейский журнал передовых технологий: сборн. научн. трудов. – 2011. Вып. 1/7(49). – С. 14-15.
13. Плотников, В.В. Эффект логистической интеграции: монография / В.В. Плотников. – М.: Научная книга, 2002. – 104 с.
14. Болдырева Т.В. Методический подход к инициализации параметров продуктов проекта транспортного предприятия / Т. В. Болдырева, Т. А. Ковтун // Вісник Одеського національного морського університету : збірник наук. праць. – 2007. Вип.22. – С.166–180.
15. Ковтун Т.А. Управління інтеграційними ризиками в проєктах мультимодальних логістичних комплексів / Т.А. Ковтун, Т.М. Смокова. Збірник наукових праць. Вісник НТУ «ХП». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами. – Харків : НТУ «ХП», 2016. - №2 (1174). – С. 26-30.
16. РМВОК. Руководство к Своду знаний по управлению проєктами (Руководство РМВОК, 5-е изд.) [Текст], Project Management Institute, Fourteen Campus Boulevard, PA 19073-32999 USA, 2013. – 589 с.
17. Ковтун Т.А. Ідентифікація ризиків як етап якісного аналізу ризиків інвестиційного проєкту. Збірник наукових праць. Вісник Національного технічного університету «ХП». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами. – Х.: НТУ «ХП». – 2015. - №2 (1111). – С.125-130.

## References

- Serheev V.Y. Lohystyka v transportnom komplekse Rossyy: problemy y predlozhenyya [Elektronnyy resurs] // Lohystyka v transportnom komplekse RF, zasedanye Hruppy 19, 26 maya 2011 hoda – 54 slayda. – Rezhym dostupa: strategy2020.rian.ru/load/366078781.
- Krykavskyy E.V. Lohystycheskyy tsestr – éto uzlovoy ob'ekt lohystycheskykh setey / E.V. Krykavskyy // Lohystyka: problemy y reshenyya. – 2008. – № 5(18). – S. 38-40.
- Nykyforuk O.I. Stanovlennyya i funktsionuvannyya transportno-lohystychnoyi infrastruktury v Ukraini : avtoref. dys. ... na zdobuttya vchenoho stupenya kand. ékon. nauk. – Kyviv, 2005. – 21 s.
- Vynohradov M.A. Upravlenye mezhrehyonal'nym tovaroobmenom na osnove sozdannyya lohystycheskykh tsestr (na prymerе Rostovskoy oblasti) : avtoref. dys. ... na soyskanye uch. stepeny kand. ékon. nauk. – Rostov-na-Donu, 2007. – 26 s.
- Polyakova O.M. Formuvannyya intermodal'noyi transportnoyi systemy Ukraini na bazi vantazhnykh transportno-rozpodil'chykh kompleksiv : avtoref. dys. ... na zdobuttya vchenoho stupenya kand. ékon. nauk. – Kharkiv, 2005. – 20 s.
- Tsvytkov YU.M. Kontseptsiya prohramy formuvannyya merezhi lohystychnykh tsestriv v systemi mizhnarodnykh transportnykh korydoriv Ukrainy. / YU.M. Tsvytkov, O.P. Kutakh, M.V. Makarenko ta in. – K. : KUETT, 2003. – 109 s.
- Komarnyts'kyi I.M. Mekhanizmy formuvannyya lohystychnykh tsestriv / I.M. Komarnyts'kyi, N.S. Pytulyak, I.V. Kohut. Vydavnytstvo Natsional'noho universytetu «L'viv's'ka politekhnika», 2007. S.190-196. /Polytechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua>
- Polyakova O. M. Peredumovy forsuvannyya merezhi mul'tymodal'nykh transportno-lohystychnykh tsestriv v Ukraini / O. M. Polyakova, I.V. Solomnikov // Visnyk ekonomiky i promyslovosti. — № 34. — 2011. — S. 217 — 222.
- Shyryayeva L. V., Kozerenko I.A. Perspektyvy rozvytku lohystychnykh tsestriv v Ukraini na osnovi Yevropeys'koyi ta Aziat's'koyi modeley / L. V. Shyryayeva, I.A. Kozerenko // Visnyk Shkhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu im. Volodymyra Dallya. — № 4 (146). — 2011. — S.74 — 81.
- Dashchenko N. M. Rozvytok lohystychnykh tsestriv na suchasnomu etapi [Elektronnyy resurs]. — Rezhym dostupu: [www.nbu.gov.ua](http://www.nbu.gov.ua).
- «Terminology on combined transport», available at: <http://www.internationaltransportforum> (Accessed April 2017).
- Smokova T. N. Yntehratsyya v proektakh sozdannyya mul'tymodal'nykh lohystycheskykh kompleksov / T.N. Smokova // Vostochno-evropeyskyy zhurnalпередovykh tekhnolohyy: sborn. nauchn. trudov. – 2011. Vyp. 1/7(49). – S. 14-15.
- Plotnykov, V.V. Éffekt lohystycheskoy yntehratsyy: monohrafyya / V.V. Plotnykov. – M.: Nauchnaya knyha, 2002. – 104 s.
- Boldyreva T.V. Metodycheskyy podkhod k unytsyalizatsyyi parametrov produktov proekta transportnoho predpryyatyya / T. V. Boldyreva, T. A. Kovtun // Visnyk Odes'koho natsional'noho mors'koho universytetu : zbirnyk nauk. prats'. – 2007. Vyp.22. – S.166–180.
- Kovtun T.A. Upravlinnyya intehratsiyynykh ryzykamy v proektakh mul'tymodal'nykh lohystychnykh kompleksiv / T.A. Kovtun, T.M. Smokova. Zbirnyk naukovykh prats'. Visnyk NTU «KHPI». Seriya: Stratehichne upravlinnyya, upravlinnyya portfelyamy, prohramamy ta proektamy. – Kharkiv : NTU «KHPI», 2016. - №2 (1174). – S. 26-30.
- PMBOK. Rukovodstvo k Svodu znanyu po upravlenyyu proektamy (Rukovodstvo PMBOK, 5-e yzd.) [Tekst], Project Management Institute, Fourteen Campus Boulevard, PA 19073-32999 USA, 2013. – 589 s.
- Kovtun T.A. Identyfikatsiya ryzykiv yak etap yakisnoho analizu ryzykiv investytsiynoho proektu. Zbirnyk naukovykh prats'. Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Seriya: Stratehichne upravlinnyya, upravlinnyya portfelyamy, prohramamy ta proektamy. – KH.: NTU «KHPI». – 2015. - №2 (1111). – S.125-130.

**Ковтун Т.А., Смокова Т.Н. Применение инструментария качественного анализ рисков в проекте создания логистического комплекса.**

*Статья посвящена проблеме создания современных логистических центров на территории Украины. Рассмотрены специфические особенности проектов создания логистических центров и уделено внимание интеграционным рискам в проектах с большим количеством участников. Предложено применение инструментария методологии управления качеством при проведении анализа рисков проекта создания логистического центра.*

**Ключевые слова:** логистический центр, проект создания логистического центра, логистическая и проектная интеграция, интеграционные риски, качественный анализ интеграционных рисков.

**Kovtun T.A, Smokova T.N The applying of the quality risk analysis instrument in the logistic center creation project.**

*The article is devoted to the problem of creating modern logistics centers on the territory of Ukraine. Specific features of projects for creating logistics centers are considered and attention is paid to integration risks in projects with a large number of participants. The application of the toolkit of the quality management methodology in conducting the risk analysis of the project for the creation of a logistics center is proposed.*

**Key words:** logistics center, logistics center project, logistics and project integration, integration risks, qualitative analysis of integration risks.

**Ковтун Т.А.** – к.т.н., доцент кафедры «Управління логістичними системами та проектами» Одеського національного морського університету. e-mail: [tandem@gcn.ua](mailto:tandem@gcn.ua)

**Смокова Т.М.** – асистент кафедри «Управління логістичними системами та проектами» Одеського національного морського університету. e-mail: [smokovat@yandex.ua](mailto:smokovat@yandex.ua)

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Статья подана 03.03.2018.

УДК 656.1

## АНАЛІЗ МАРШРУТНОЇ СИСТЕМИ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЗАПОРІЖЖЯ

Кузькін О.Ф.

### PUBLIC TRANSIT SYSTEM ANALYSIS IN ZAPORIZHZHYA CITY

Kuz'kin O.F.

*У статті проведено аналіз існуючої маршрутної системи та структури парку пасажирського рухомого складу міського громадського транспорту Запоріжжя (Україна). На підставі результатів комплексного обстеження пасажирських потоків встановлені основні результативні показники пасажирських перевезень та ступінь ефективності використання рухомого складу на маршрутах. Встановлено недоліки пасажирської транспортної системи міста та визначені напрямки її удосконалення з метою підвищення рівня якості транспортних послуг, що надаються пасажиром.*

**Ключові слова:** міський громадський транспорт, маршрутна система, якість перевезень.

**Вступ.** В сучасних умовах прискорення урбанізації та зростання рівня автомобілізації населення значення міського масового громадського транспорту (МГТ) суттєво підвищується. Забезпечення міської мобільності з повним задоволенням попиту на перевезення з боку пасажирів із залученням до числа користувачів МГТ якомога більшої кількості власників приватних автомобілів є на сьогодні його основною задачею. Важливим при цьому є максимальне скорочення витрат транспортного часу, надання пасажиром належного рівня комфорту, забезпечення просторової доступності МГТ та фінансової доступності його послуг та безумовна безпека перевезень.

Ефективність функціонування МГТ та рівень якості його послуг для пасажирів визначаються низкою чинників, серед яких особливе місце посідає розвиток його маршрутної системи. Остання є ув'язаною територіально і у часі сукупність маршрутів усіх та окремих видів МГТ, що обслуговують міські пасажирські перевезення у межах заданої транспортної мережі [1]. Розвиток маршрутної системи МГТ, безпосередньо впливаючи на витрати транспортного часу пасажиром, зумовлює, крім того, ефективність

використання пасажирського рухомого складу та показники фінансової діяльності транспортних операторів.

Змінювання попиту на перевезення пасажирів у місті під дією демографічних, архітектурно-планувальних та соціально-економічних чинників, потребують постійного аналізу рівня розвитку маршрутної системи МГТ з метою забезпечення її відповідності цьому попиту. Об'єктивний аналіз розвитку маршрутної системи МГТ міста може бути здійснений лише за наявності результативних показників пасажироперевезень. Останні можуть бути отримані лише на підставі системного (комплексного) обстеження пасажиропотоків у місті.

**Постановка проблеми.** Послуга МГТ, як і будь-яка інша послуга, повинна надаватися з належною якістю для її кінцевого споживача – пасажиром. Важливим при цьому є також одночасне забезпечення ефективного функціонування маршрутної системи і пасажирського рухомого складу. Об'єктивне встановлення рівня якості і ефективності пасажирських перевезень у місті потребує спільного аналізу розвитку маршрутної системи та результативних показників пасажирських перевезень. Останні, у значній мірі, можуть бути отримані лише на підставі матеріалів комплексних обстежень пасажиропотоків на маршрутній мережі міста. Комплексні обстеження пасажиропотоків, які передбачають охоплення усіх без виключення маршрутів громадського транспорту міста, доцільно проводити з певною періодичністю, зазвичай кожні 3 ... 5 років. Однак, враховуючи їх значну трудомісткість та об'єктивні економічні реалії останніми десятиліттями в Україні не проводились.

У місті Запоріжжя комплексні обстеження планово проводились у 1976, 1982, 1989 роках. Після тривалої перерви, комплексне обстеження пасажиропотоків на усіх маршрутах автобусного та електричного транспорту у місті було проведене у 2017 році. За майже 30 років маршрутна система

міста зазнала кардинальних змін. Особливо це стосується автобусного транспорту. Наявність отриманих в ході обстеження результативних показників пасажироперевезень дає можливість на підстав розрахунку показників розвитку маршрутної системи міста провести її змістовний аналіз, визначити шляхи удосконалення та оптимізації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Задачі формування номенклатури показників розвитку маршрутних систем МГТ та дослідження їх впливу на ефективність роботи міського пасажирського транспорту і якість транспортних послуг були і є у центрі уваги фахівців з планування транспортної інфраструктури міст. Як свідчить аналіз публікацій [2,3], показники розвитку маршрутних систем МГТ на етапі вирішення задачі їх оптимального проектування нерідко виступають в якості складових її цільової функції або системи обмежень.

Попередніми дослідженнями встановлено, що кількість і конфігурація маршрутів, які утворюють маршрутну систему міста, здебільшого визначають такі показники ефективності та якості пасажирських перевезень, як пішохідна доступність транспортних ліній [4], прямолінійність сполучення [5], рівень пересадочності поїздок [6]. Крім того, трасування маршрутів по відношенню до основних напрямків пасажирських потоків впливають на вибір рухомого складу, ступінь ефективності його використання (за пасажиромісткістю та у часі) і частоту руху [1]. Ці складові безпосередньо впливають на витрати часу пасажирів на пересування. Таким чином, задача проектування та удосконалення маршрутної системи торкається як інтересів пасажирів, так і інтересів транспортних операторів.

Відзначимо, що міста та маршрутні системи їх МГТ, незважаючи на подібність, все ж є унікальними і відмінними одна від одної. Тому аналіз і удосконалення маршрутних систем у кожному місті потребують комплексного, і разом з тим, індивідуального підходу. При цьому цей підхід повинен базуватися на узагальненому досвіді та практиці, накопичених науковцями у галузі транспортного планування міст. Це підтверджується низкою досліджень проведених у різних містах та регіонах світу [7–10].

**Мета статті.** На підставі інформації про маршрутну систему міста Запоріжжя та результатів комплексного обстеження пасажирських потоків, проведеного у 2017 році, розрахувати показники її розвитку, встановити та проаналізувати їх вплив на результативні показники пасажироперевезень, якість транспортного обслуговування пасажирів та ефективність використання пасажирського рухомого складу. По результатах аналізу визначити основні напрямки удосконалення організації масових міських пасажирських перевезень у місті Запоріжжя.

**Результати досліджень.** Місто Запоріжжя є обласним центром України і, згідно ДБН 360-92\*\*

«Містобудування. Планування і забудова міських та сільських поселень», відноситься до групи крупних міських поселень. Площа міста у адміністративних границях складає 331,55 км<sup>2</sup>, чисельність наявного населення станом на 01.01.2017 року складало 750,685 тис. осіб (744,82 тис. осіб станом на 01.02.2018 р.). Адміністративно місто поділене на сім районів (Комунарський, Олександрівський, Вознесенівський, Заводський, Дніпровський, Хортицький, Шевченківський). Міський громадський транспорт представлений автобусним (що працює у звичайному, експресному режимі руху та режимі маршрутного таксі), тролейбусним та трамвайним видами транспорту.

На початку 2017 року у місті Запоріжжя сформувалася маршрутна система МГТ, що налічувала 92 автобусних маршрути та 14 маршрутів міського електричного транспорту (7 тролейбусних та 7 трамвайних маршрутів). На маршрутній мережі МГТ розташовані 537 зупинок (рис. 1).

По результатах комплексного обстеження пасажиропотоків 2017 року встановлено, що на маршрутах міста щоденно фактично працюють 1069 одиниць пасажирського рухомого складу, з яких 970 (90,7 %) – автобуси різної місткості, 44 (4,1 %) – тролейбуси, 55 (5,2 %) – трамвайні поїзди. У структурі пасажирського рухомого складу автомобільного транспорту переважають автобуси пасажиромісткістю до 22 пасажирів (835 од. або 86,1 %).

До основних показників, які характеризують розвиток маршрутної системи МГТ, відносяться:

- 1) середня довжина маршруту  $\bar{l}_m$ , км;
- 2) маршрутний коефіцієнт  $k_m$ ;
- 3) щільність маршрутної мережі  $\delta$ , км/км<sup>2</sup>;
- 4) ступінь прямолінійності маршрутів;
- 5) швидкість сполучення  $v_c$  км/год.



Рис. 1. Схема маршрутної мережі МГТ міста Запоріжжя

*Середня довжина маршруту* розраховується окремо за видами транспорту, що відрізняються

експлуатаційною швидкістю. Для автобусного транспорту Запоріжжя середня довжина маршруту складає  $\bar{l}_m^a = 16,88$  км, для міського електричного транспорту (тролейбус, трамвай)  $\bar{l}_m^e = 12,72$  км. Розподіл маршрутів МГТ Запоріжжя наведений на рис. 2.

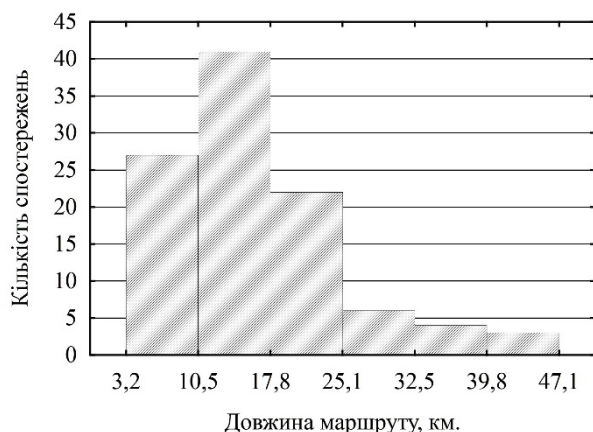


Рис. 2. Розподіл маршрутів МГТ Запоріжжя за довжиною

Довжина маршруту безпосередньо впливає на показники роботи транспортних підприємств: значення експлуатаційної швидкості і швидкості сполучення, ступінь використання пасажиромісткості рухомого складу, режими роботи водіїв та водійських бригад. Крім того, від довжини маршруту залежить регулярність руху на ньому і, таким чином, якість транспортних послуг. Короткі маршрути простіше в організації, економічно вигідніші, втім вони підвищують коефіцієнт пересадочності, мають відносно меншу експлуатаційну швидкість та ступінь використання пасажиромісткості рухомого складу. У протилежності їм, довгі маршрути збільшують безпересадочність сполучення, експлуатаційну швидкість та забезпечують менші експлуатаційні витрати на організацію руху [1].

Рекомендується вибирати довжину маршруту, що у будь-якому випадку не менше середньої дальності поїздки пасажирів, а максимальна та, разом з тим, оптимальна довжина маршруту повинна приблизно дорівнювати експлуатаційній швидкості [1].

*Маршрутний коефіцієнт* визначається як відношення сумарної довжини маршрутів  $L_\Sigma$  (км.) до довжини маршрутної мережі  $L_m$  (км.) [11]:

$$k_m = \frac{L_\Sigma}{L_m}. \quad (1)$$

Сумарна довжина маршрутів ГМТ м. Запоріжжя складає  $L_\Sigma = 1470,8$  км. при довжині

маршрутної мережі  $L_m = 296,9$  км, що дає значення маршрутного коефіцієнта  $k_m = 4,95$ . Маршрутний коефіцієнт характеризує ступінь дублювання маршрутів на маршрутній мережі міста. Велике значення маршрутного коефіцієнта, з одного боку, зменшує пересадочність поїздок, а з іншого, за незмінних умов, збільшує інтервали руху на маршрутах і, відповідно, тривалість очікування пасажирів посадки на зупинках. Значення маршрутного коефіцієнта мережі МГТ рекомендується приймати у межах  $k_m = 1,5 \dots 3,5$ .

*Щільність маршрутної мережі* дорівнює відношенню довжини маршрутної мережі  $L_m$  (км) до сельбищної площі міста  $F_c$  (км<sup>2</sup>) [11], тобто

$$\delta = \frac{L_m}{F_c}. \quad (2)$$

З урахуванням сельбищної площі м. Запоріжжя  $F_c = 190,1$  км<sup>2</sup>, маємо щільність маршрутної мережі  $\delta = 1,56$  км/км<sup>2</sup>. Цей показник визначає насиченість міської території лініями МГТ та середню дальність піших підходів пасажирів до них і, таким чином, безпосередньо впливає на тривалість пересування пасажирів у місті з використанням МГТ. Згідно ДБН 360-92\*\* «Містобудування. Планування та забудова міських та сільських поселень», щільність мережі ліній наземного МГТ на забудованих територіях міста повинна складати, як правило,  $\delta = 1,5 \dots 2,5$  км/км<sup>2</sup>.

*Ступінь прямолінійності маршрутів* характеризується коефіцієнтом непрямолінійності  $k_{nn}$ , який дорівнює відношенню довжини маршруту  $l_m$  (км) до довжини найкоротшої (повітряної) лінії, яка з'єднує його кінцеві зупинки  $l_{нов}$  (км) [11]:

$$k_{nn} = \frac{l_m}{l_{нов}}. \quad (3)$$

Розподіл маршрутів МГТ м. Запоріжжя за прямолінійністю показаний на рис. 3. Середній коефіцієнт непрямолінійності маршрутної мережі в цілому по місту складає  $k_{nn} = 1,62$ .

За рахунок підвищення прямолінійності трас маршрутів можуть бути суттєво зменшені витрати часу пасажирів на поїздку. Рекомендоване значення коефіцієнта непрямолінійності маршрутної мережі не перевищує  $k_{nn} = 1,2$  [11].

Швидкість сполучення  $v_c$  (км/год) визначає час, який пасажир витрачає на поїздку, і дорівнює середній швидкості, яку розвиває пасажирський транспортний засіб при русі за маршрутом. На величину швидкості сполучення впливає низка факторів, серед яких [11]: частота зупинок на маршруті (для здійснення пасажирообміну або

викликаних засобами регулювання дорожнього руху), тягово-динамічні якості рухомого складу та конструктивні особливості його пристроїв для посадки та висадки пасажирів, інтенсивність пасажирообміну, інтенсивність транспортного потоку та дорожні умови, досвід та психофізіологічний стан водія.

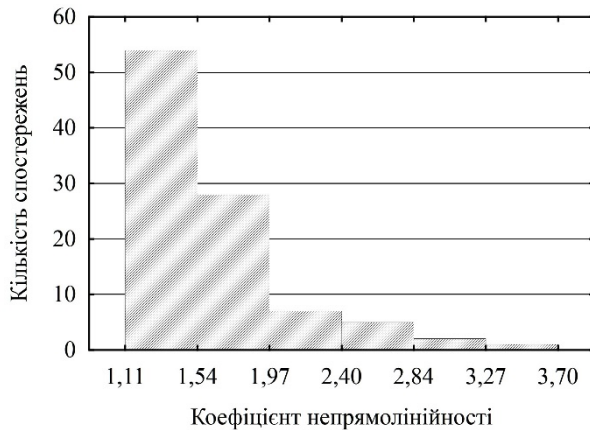


Рис. 3. Розподіл маршрутів МГТ Запоріжжя за коефіцієнтом непрямої лінійності

Розподіл маршрутів МГТ м. Запоріжжя за швидкістю сполучення наведений на рис. 4. Середнє значення швидкості сполучення в цілому по маршрутній системі дорівнює  $v_c = 21,5$  км/год. Згідно з оцінками швидкості сполучення [11] таке значення швидкості сполучення відноситься до категорії дуже великої.

ДБН 360-92\*\* рекомендує приймати швидкість сполучення для міського автобуса  $v_c = 17...20$  км/год, для тролейбуса  $v_c = 16...18$  км/год, для трамвая  $v_c = 15...17$  км/год. Фактичні значення, отримані в ході обстеження пасажиропотоків, дорівнюють: для автобуса  $v_c = 22,7$  км/год (нерідко за рахунок перевищення дозволеної швидкості та зниження безпеки дорожнього руху та перевезень пасажирів), для тролейбуса  $v_c = 15,6$  км/год, для трамвая  $v_c = 13,4$  км/год.

Приймаючи до уваги отримані показники розвитку маршрутної системи МГТ міста Запоріжжя на підставі їх аналізу можна зробити такі висновки:

1) маршрутна система МГТ міста Запоріжжя є надлишковою, зі значним дублюванням трас окремих маршрутів. За таких умов, в умовах конкурентної боротьби приватних перевізників, забезпечення прийнятної для пасажирів інтервалу руху на маршрутах призвело до суттєвого зменшення середньої пасажиромісткості використовуваних транспортних засобів. У той же час, щільність маршрутної мережі хоча і знаходиться у межах нормативних значень, все ж є замалою, що вказує на завищені витрати часу пасажирів на піший підхід до ліній та зупинок МГТ;

2) високий коефіцієнт непрямої лінійності маршрутної мережі свідчить про збільшення витрат пасажирів на поїздку. Втім, низька прямої лінійності сполучень частково пояснюється особливостями забудови території міста, яка насичена залізничними коліями, балками, ярами та розташуванням на двох берегах р. Дніпро з суттєво обмеженою кількістю транспортних зв'язків між ними. Однак необхідно зауважити, що непрямої лінійності маршрутної мережі в цілому компенсується високою середньою швидкістю сполучення на маршрутах. Остання забезпечується тягово-динамічними характеристиками переважаючої кількості рухомого складу малої пасажиромісткості, що працює у режимі маршрутного таксі.

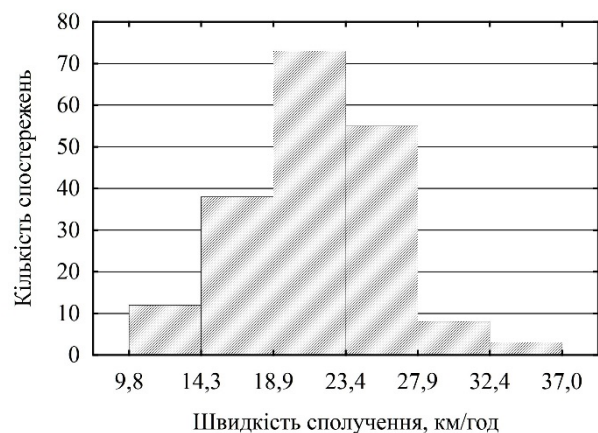


Рис. 4. Розподіл маршрутів МГТ Запоріжжя за швидкістю сполучення

До основних результативних показників пасажироперевезень, які характеризують ефективність маршрутної системи МГТ та якість надання транспортних послуг пасажиром, відносяться:

1) добовий обсяг перевезень пасажирів на маршрутній мережі міста в цілому та його розподіл по видах транспорту;

2) середня дальність маршрутної поїздки пасажиром  $l_{сер}$ , км;

3) інтервали руху на окремих маршрутах та на маршрутній мережі в цілому в середньому за добу та в години «пік»;

4) ступінь використання пасажиромісткості рухомого складу в середньому за добу та у години «пік».

По результатах обстеження пасажиропотоків на маршрутній мережі МГТ м. Запоріжжя протягом буднього дня тижня у квітні 2017 року встановлено, що загалом за день на громадському транспорті міста здійснюється  $Q_{доб} = 633708$  маршрутних поїздок, з яких 75,4 % припадає на автобусний, 10,8 % на тролейбусний та 13,8 % на трамвайний вид міського транспорту. У таблиці 1 наведені дані змінювання добового обсягу перевезень пасажирів по роках, у які проводились аналогічні обстеження.

Таблиця 1  
Динаміка змінювання добового обсягу перевезень пасажирів у місті Запоріжжя по результатах комплексних обстежень пасажиропотоків

Показник	Роки			
	1976	1982	1989	2017
1. Добовий обсяг перевезень МГТ разом, тис. пас., у тому числі:	1342,7	1388,3	1530,4	633,71
автобусами	545,1	549,9	624,7	477,9
тролейбусами	381,3	392,2	454,0	68,26
трамваями	416,3	446,2	451,7	87,58
2. Наявна чисельність мешканців міста, тис. осіб	780,7	824,0	883,9	750,7
3. Добова транспортна рухливість населення, поїздок/мешканця	1,719	1,685	1,731	0,844

Аналізуючи дані, наведені у таблиці 1 можна констатувати той факт, що останніми десятиліттями відбулося значне зменшення добового обсягу перевезень пасажирів та суттєвий перерозподіл частки виконуваних перевезень у бік автобусного транспорту. Основні причини цього – скорочення наявної чисельності населення міста та довжини мережі міського електричного транспорту, а також різке збільшення рівня автомобілізації населення.

У порівнянні з 1989 роком на сьогодні сумарна довжина тролейбусних і трамвайних маршрутів у місті Запоріжжя скоротилась з 311,6 км. до 183 км. (на 41,3 %), а щодобовий випуск рухомого складу зменшився з 280 од. до 99 од. (на 64,6 %). За той же час сумарна довжина автобусних маршрутів збільшилась з 775,8 км. до 1287,8 км. (на 66,0 %), а щодобовий випуск рухомого складу зріс більш ніж у тричі – з 303 од. до 970 од.

Рівень автомобілізації населення, який на початку 90-х років минулого століття в Україні оцінювався у 18 автомобілів на 1000 мешканців, станом на 2017 рік може бути оцінений величиною 200 автомобілів на 1000 мешканців [12], тобто зріс практично у 10 разів. Внаслідок цього добова кількість поїздок на МГТ, що припадає на одного мешканця міста, скоротилась більш ніж удвічі – з 1,731 (1989 р.) до 0,844 (2017 р.).

Середня дальність поїздки пасажирів розраховується як відношення транспортної роботи з перевезень пасажирів  $W$  (пас-км), виконаної на певному маршруті (групі маршрутів, на маршрутній мережі в цілому) протягом певного проміжку часу, до обсягу перевезень пасажирів на цьому маршруті за той же проміжок часу. Цей показник є визначальним при встановленні величини вартості проїзду пасажирів на маршруті та залежить від розмірів та планування міста, розподілу пасажиропотоків на маршрутній мережі МГТ та топології її розвитку.

У таблиці 2 наведені дані про добову транспортну роботу МГТ м. Запоріжжя та середню дальність маршрутної поїздки пасажирів у 1989 та 2017 роках.

Таблиця 2  
Транспортна робота МГТ Запоріжжя та середня дальність поїздки пасажирів у місті по роках

Показник	Роки			
	1976	1982	1989	2017
1. Добова транспортна робота МГТ разом, тис. пас.-км,	5 497	5 221	5 620	3 645
у тому числі:	2 568	2 415	2 724	3 100
автобусів	1 453	1 625	1 718	249,2
тролейбусів	1 476	1 181	1 178	295,6
трамваїв				
2. Середня дальність маршрутної поїздки пасажирів в цілому по мережі, км,	4,09	3,76	3,67	5,75
у тому числі:	4,71	4,39	4,36	6,49
автобусної	3,67	3,35	3,78	3,65
тролейбусної	3,67	3,35	2,61	3,38
трамвайної				

Як видно з таблиці 2, середня дальність маршрутної поїздки у місті Запоріжжя у за період з 1989 року до сьогодні зросла більш ніж у 1,5 рази. Це зростання, зумовлене збільшенням сельбищної території міста, перерозподілом місць прикладення праці відносно місць проживання, відбулося в основному за рахунок автобусних перевезень. Збільшенню середньої дальності поїздки пасажирів автобусами сприяв також розвиток маршрутної мережі та, відповідно, зменшення рівня пересадочності поїздок на цьому виді МГТ. У той же час, середня дальність поїздки пасажирів на міському електричному транспорті є значно меншою і практично не змінилася.

Інтервали руху на міських маршрутах, що визначаються як проміжок часу між послідовними відправленнями маршрутних транспортних засобів з зупинок, впливають на витрати часу пасажирів на очікування прибуття транспорту у місці посадки. Фактичні інтервали руху на маршрутах МГТ м. Запоріжжя, отримані по результатах комплексного обстеження пасажиропотоків 2017 року, наведені у таблиці 3.

Таблиця 3  
Інтервали руху на маршрутах МГТ міста Запоріжжя

Вид транспорту	Середній маршрутний інтервал руху, хв.	
	за добу	за години «пік»
Автобус	10,2	8,1
Тролейбус	27,6	18,5
Трамвай	19,8	13,1
В цілому по мережі	13,5	10,0

Очевидно, інтервали руху на автобусних маршрутах міста є цілком прийнятними та зручними для пасажирів і, при відсутності відмов у посадці

через нестачу вільних місць у салоні транспортних засобів, забезпечують пасажирів відносно невелику тривалість очікування. Втім, мережева частота руху маршрутного транспорту на центральних вулицях міста значно перевищує пропускну спроможність зупиночних пунктів і створює незручності при посадці пасажирів. Інтервали руху на мережі міського електричного транспорту, особливо на тролейбусній мережі міста слід визнати незадовільними.

Степінь використання пасажиромісткості рухомого складу характеризується коефіцієнтом використання пасажиромісткості рухомого складу  $\gamma$ , що дорівнює відношенню фактичної кількості пасажирів у салоні транспортного засобу  $q_{\phi}$  до його номінальної пасажиромісткості  $q_n$  [1]:

$$\gamma = \frac{q_{\phi}}{q_n} \quad (4)$$

Середньодобові значення коефіцієнта використання пасажиромісткості рухомого складу та ці ж значення за години «пік» на міських маршрутах МГТ м. Запоріжжя наведені у таблиці 4.

Таблиця 4

**Степінь використання пасажиромісткості рухомого складу на маршрутах МГТ міста Запоріжжя**

Вид транспорту	Середній коефіцієнт використання пасажиромісткості	
	за добу	за години «пік»
Автобус	0,71	0,83
Тролейбус	0,25	0,27
Трамвай	0,27	0,30
В цілому по мережі	0,59	0,69

Відзначимо, що коефіцієнти використання пасажиромісткості для автобусного транспорту є досить високими. Втім, з урахуванням того, що розрахунковий коефіцієнт використання пасажиромісткості усереднений по усім перегонам маршрутної мережі, на практиці як у години «пік», так і у інші години доби нерідко спостерігається переповнення салону транспорту пасажирами та перевезення останніх у незадовільних умовах. Відповідно, на найбільш завантажених перегонах маршрутів зростає кількість випадків відмови пасажирів у посадці, що збільшує їх тривалість очікування на зупинках та загальні витрати часу на пересування. Разом з тим, ефективність використання пасажиромісткості рухомого складу міського електричного транспорту є низькою. З урахуванням великих інтервалів руху, нерідко незадовільного технічного стану рухомого складу міського тролейбуса і трамвая, низьку надійність сполучення через стан транспорту, шляху та контактної мережі, можна констатувати факт, що привабливість міського електротранспорту для пасажирів є низькою. Через це їм користуються переважно пасажирів, що мають право

безкоштовного проїзду згідно чинного законодавства України.

Таким чином, аналіз результативних показників та умов пасажироперевезень МГТ міста Запоріжжя дає підстави зробити такі основні висновки:

1) добова транспортна рухливість пасажирів на МГТ міста Запоріжжя складає 0,844 поїздки на одного мешканця міста та зменшилась за останні десятиліття внаслідок зростання рівня автомобілізації населення. Одночасно відбулось збільшення частки обсягу перевезень, виконуваних автомобільним транспортом (автобусами) зі скороченням обсягу перевезень, довжини маршрутної мережі та випуску рухомого складу міського електричного транспорту;

2) середня дальність маршрутної поїздки пасажирів автобусами майже у два рази перевищує аналогічний показник для електротранспорту. Таким чином, автобусні перевезення є більш привабливими для пасажирів на відносно великі відстані, у той час як поїздки електротранспортом – на відносно короткі відстані;

3) інтервали руху на міських автобусних маршрутах є комфортним для пасажирів та забезпечують для останніх прийнятний час, що витрачається на очікування на зупинках. Інтервали руху на маршрутах міського трамвая слід визнати задовільними, а тролейбуса – незадовільними, що, у поєднанні з невисокою швидкістю сполучення, суттєво зменшує привабливість міського електротранспорту для пасажирів;

4) у той час, як рухомий склад автомобільного транспорту нерідко працює з перевантаженням та перевозить пасажирів у незадовільних умовах (особливо у години «пік»), пасажиромісткість рухомого складу міського електротранспорту використовується протягом доби вкрай низько.

Аналіз розвитку маршрутної системи МГТ міста Запоріжжя та результативних показників пасажирських перевезень у місті, отриманих в результаті комплексного обстеження пасажиропотоків, проведеного у 2017 році виявив, що вона має низку недоліків, що безпосередньо впливають на ефективність використання рухомого складу та якість транспортних послуг. Для їх усунення та удосконалення маршрутної системи МГТ по результатах обстеження пасажиропотоків пропонується такий комплекс заходів:

1) оптимізація маршрутної мережі, спрямована на зменшення ступеня дублювання маршрутів та збільшення прямолінійності поїздки;

2) приведення пасажиромісткості рухомого складу на автобусних маршрутах у відповідність до потужності пасажиропотоків на них шляхом заміни рухомого складу малої пасажиромісткості на рухомий склад середньої та великої пасажиромісткості для забезпечення належних умов перевезення пасажирів з прийнятним для них інтервалом руху;

3) оновлення рухомого складу міського електричного транспорту та збільшення кількості його випуску на лінію з одночасним забезпеченням належного стану контактної мережі, енергетичного господарства та трамвайної колії;

4) підвищення регулярності руху маршрутних транспортних засобів та контролю виконання графіків їх руху з запровадженням загальноміської диспетчеризації МГТ на базі систем GPS;

5) удосконалення інформаційного забезпечення пасажирів щодо розкладів руху на маршрутах та час прибуття транспортних засобів у режимі реального часу через супиночні інформаційні системи та мобільні додатки.

**Висновки.** На підставі проведеного аналізу сучасного стану розвитку маршрутної системи МГТ Запоріжжя, результативних показників пасажирських перевезень та ефективності використання пасажирського рухомого складу у місті на підставі результатів комплексного обстеження пасажирських потоків у місті у 2017 році, виявлено недоліки організації перевезень пасажирів та запропоновано комплекс заходів щодо її удосконалення, спрямованих на підвищення рівня якості надання транспортних послуг МГТ пасажиром.

#### Література

- Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. – М. : Высшая школа, 1980. – 535 с.
- Guihaire, V. Transit network design and scheduling: A global review / V. Guihaire, J. K. Hao // *Transportation Research Part A : Policy and Practice*. – 2008. – Vol. 42. – № 10. – P. 1251-1273.
- Kepaptsoglou, K. Transit route network design problem / K. Kepaptsoglou, M. Karlaftis // *Journal of transportation engineering*. – 2009. – Vol. 135. – № 8. – P. 491-505.
- Wu, C. Optimizing public transit quality and system access: the multiple-route, maximal covering/shortest-path problem / C. Wu, A. T. Murray // *Environment and Planning B : Planning and Design*. – 2005. – Vol. 32. – № 2. – P. 163-178.
- Monteiro F. B. A proposal of indicators for evaluation of the urban space for pedestrians and cyclists in access to mass transit station / F. B. Monteiro, V. B. G. Campos // *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. – 2012. – Vol. 54. – P. 637-645.
- Кузькін, О. Ф. Аналіз маршрутних мереж міського електричного транспорту методами теорії графів / О. Ф. Кузькін // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2016. – Т. 2. – № 4. – С. 19-25.
- Дудкин, Е. П. Анализ транспортной системы Санкт-Петербурга и возможности повышения в ней роли пригородных железных дорог / Е. П. Дудкин, Н. Е. Коклева, Н. В. Левадная // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. – 2004. – № 2. – С. 89-97.
- Le-Klähn, D. T. Analysis of visitor satisfaction with public transport in Munich / D. T. Le-Klähn, C. M. Hall, R. Gerike // *Journal of Public Transportation*. – 2014. – Vol. 17. – № 3. – P. 68-85.
- Hernández, D. Perceived vs. Actual Distance to Transit in Santiago, Chile / D. Hernandez, R. Witter // *Journal of Public Transportation*. – 2015. – Vol. 18. – № 4. – P. 16-30.
- Singh, S. K. Review of urban transportation in India / S. K. Singh // *Journal of public transportation*. – 2005. – Vol. 8. – № 1. – P. 79-97.
- Спирин, И. В. Перевозки пассажиров городским транспортом / И. В. Спирин. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 413 с.
- Шевченко, І. Ю. Регіональна диференціація автомобілізації населення України / І. Ю. Шевченко // *Економіка: реалії часу*. – 2015. – № 3(19). – С. 41-46.

#### References

- Efremov, I. S. Teorija gorodskih passazhirskih perezovok / I. S. Efremov, V. M. Kobozev, V. A. Judin. – M. : Vysshaja shkola, 1980. – 535 s.
- Guihaire, V. Transit network design and scheduling: A global review / V. Guihaire, J. K. Hao // *Transportation Research Part A : Policy and Practice*. – 2008. – Vol. 42. – № 10. – P. 1251-1273.
- Kepaptsoglou, K. Transit route network design problem / K. Kepaptsoglou, M. Karlaftis // *Journal of transportation engineering*. – 2009. – Vol. 135. – № 8. – P. 491-505.
- Wu, C. Optimizing public transit quality and system access: the multiple-route, maximal covering/shortest-path problem / C. Wu, A. T. Murray // *Environment and Planning B : Planning and Design*. – 2005. – Vol. 32. – № 2. – P. 163-178.
- Monteiro F. B. A proposal of indicators for evaluation of the urban space for pedestrians and cyclists in access to mass transit station / F. B. Monteiro, V. B. G. Campos // *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. – 2012. – Vol. 54. – P. 637-645.
- Kuz'kin, O. F. Analiz marshrutnih merezh mis'kogo elektrichnogo transportu metodami teorii grafiv / O. F. Kuz'kin // *Shidno-Cvroejs'kij zhurnal peredovih tehnologij*. – 2016. – T. 2. – № 4. – S. 19-25.
- Dudkin, E. P. Analiz transportnoj sistemy Sankt-Peterburga i vozmozhnosti povysheniya v nej roli prigorodnyh zheleznyh dorog / E. P. Dudkin, N. E. Kokleva, N. V. Levadnaja // *Izvestija Peterburgskogo universiteta putej soobshhenija*. – 2004. – № 2. – S. 89-97.
- Le-Klähn, D. T. Analysis of visitor satisfaction with public transport in Munich / D. T. Le-Klähn, C. M. Hall, R. Gerike // *Journal of Public Transportation*. – 2014. – Vol. 17. – № 3. – P. 68-85.
- Hernández, D. Perceived vs. Actual Distance to Transit in Santiago, Chile / D. Hernandez, R. Witter // *Journal of Public Transportation*. – 2015. – Vol. 18. – № 4. – P. 16-30.
- Singh, S. K. Review of urban transportation in India / S. K. Singh // *Journal of public transportation*. – 2005. – Vol. 8. – № 1. – P. 79-97.
- Spirin, I. V. Perevozki passazhirovo gorodskim transportom / I. V. Spirin. – M. : IKC «Akademkniga», 2004. – 413 s.
- Shevchenko, I. Ju. Regional'na dyferenciacija avtomobilizacii' naselelnja Ukrai'ny / I. Ju. Shevchenko // *Ekonomika: realii' chasu*. – 2015. – № 3(19). – S. 41-46.

**Кузькин А. Ф. Анализ маршрутной системы городского общественного транспорта Запорожья.**

*В статье выполнен анализ существующей маршрутной системы и структуры парка пассажирского подвижного состава городского общественного транспорта Запорожья (Украина). На основании результатов комплексного обследования пассажирских потоков установлены результативные показатели пассажирских перевозок и степень эффективности использования подвижного состава на маршрутах. Установлены недостатки пассажирской транспортной системы города и предложен комплекс мероприятий по ее совершенствованию с целью повышения уровня качества транспортных услуг, предоставляемых пассажирам.*

**Ключевые слова:** городской общественный транспорт, маршрутная система, качество перевозок.

**Kuz'kin O. Public transit system analysis in Zaporizhzhya city.**

*Investigation and analysis of public transit development and transit vehicle fleet structure in Zaporizhzhya city (Ukraine) are performed. The values of average route length, route coefficient, transit network density, route directness and commercial speed on the routes are calculated and their influence on the level of public transit service is analyzed. On the base of the passenger flows studies which carried out in 2017 the result indicators of public transportations (daily volume of public transportations, passengers' average trip length, and route headways) and transit vehicles capacity utilization efficiency are determined. The flaws of the present urban transit system are pointed out. The complex of improvements is suggested to increase the level of public transit service which includes transit network and transit fleet structure optimization, technical facilities of municipal electric transport renovations, increasing of service regularity and information providing support.*

**Key words:** urban public transit, route system, quality of transportations.

**Кузькін О. Ф.** – канд. техн. наук, доцент кафедри «Транспортні технології» Запорізького національного технічного університету, м. Запоріжжя, Україна.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 02.04.2018.

УДК 621.002

## ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ УЗГОДЖЕНОЇ РОБОТИ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ З ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ

Кузьменко С.В., Заверкін А.В.

## DETERMINATION OF MODE COORDINATED WORK OF HEATING SYSTEMS WITH HEAT ACCUMULATOR

Kuzmenko S., Zaverkin A.

*В статті отримані аналітичні залежності течії рідини в системі опалення в залежності від споживаної потужності і процесів теплопередачі в циліндричному трубопроводі, що розташований в теплоакumuлюючому пристрої.*

**Ключові слова:** система опалення, акумулятор теплоти, теплообмінник, течія, прикордонний шар, щільність, швидкість.

**Вступ.** Визначення переважної конструкції акумулятора теплоти, безпосередньо теплоакumuлюючого матеріала та його потрібної маси дозволяє забезпечити його застосування на пасажирському рухомому складі. Між тим слід приділити достатньої уваги на взаємодію акумулятора теплоти та системою опалення вагону, а саме режимів їх узгодженої роботи у взаємодії із теплофізичними властивостями теплоакumuлюючого матеріалу та рідиною системи опалення, а також конструктивними параметрами теплообмінного устаткування.

**Результати досліджень.** Потужність системи кондиціонування

$$N_k = c_p \Delta t G,$$

де  $c_p$  – теплоємність рідини;  $\Delta t$  – температурний напір рідини системи опалення;  $G$  – масова витрата рідини.

З урахування того, що масова витрата може бути визначена як:

$$G = \rho_p \bar{v}_p F,$$

де  $\rho_p$  – щільність рідини;  $\bar{v}_p$  – середня швидкість течії рідини;  $F$  – еквівалентна площа перетину трубопроводів системи опалення.

Таким чином,

$$N_k = c_p \Delta t \rho_p \bar{v}_p F,$$

звідкіля середня швидкість течії рідини в системі

$$\bar{v}_p = \frac{N_k}{c_p \Delta t \rho_p F}.$$

При умові ламінарної течії рідини в трубопроводі, розподіл швидкості [1] може бути представлений формулою:

$$v_p = v_{\max} \left(1 - \frac{2y}{d}\right)^2,$$

де  $v_{\max}$  – максимальна швидкість течії рідини;  $d$  – внутрішній діаметр трубопроводу;  $y$  – поточна координата.

Визначимо середню швидкість течії на підставі визначення її розподілу таки чином:

$$\begin{aligned} \bar{v}_p &= \frac{1}{d} \int_{-d/2}^{d/2} v_{\max} \left(1 - \frac{2y}{d}\right)^2 dy = \\ &= \frac{v_{\max}}{d} \left( y - \frac{2y^2}{d} + \frac{4y^3}{3d^2} \right) \Big|_{-d/2}^{d/2} = \frac{v_{\max}}{3}. \end{aligned}$$

Таким чином,

$$v_p = 3\bar{v}_p \left(1 - \frac{2y}{d}\right)^2.$$

Для можливості подальшого визначення в тепловому прикордонному шарі витрати рідини та переданої кількості теплоти, отримаємо залежність середньої швидкості рідини в тепловому прикордонному шарі наступним чином:

$$\begin{aligned} \bar{v}_\delta &= \frac{1}{\delta} \int_{-d/2}^{d/2} \left[ 3\bar{v}_p \left( 1 - \frac{2y}{d} \right)^2 \right] dy = \\ &= \frac{3\bar{v}_p}{\delta} \left( y - \frac{2y^2}{d} + \frac{4y^3}{3d^2} \right) \Big|_{-d/2}^{d/2} = 4\bar{v}_p \frac{\delta^2}{d^2}. \end{aligned}$$

Масова витрата рідини в тепловому прикордонному шарі визначається наступним чином:

$$G = \rho_p \bar{v}_\delta \left[ \frac{\pi d^2}{4} - \frac{\pi (d - \delta)^2}{4} \right] = \pi \rho_p \bar{v}_p \frac{\delta^3}{d^2} (2d - \delta).$$

Диференціал від залежності витрати рідини:

$$\begin{aligned} dG &= d \left[ \pi \rho_p \bar{v}_p \frac{\delta^3}{d^2} (2d - \delta) \right] = \\ &= 2\pi \left( \frac{\delta}{d} \right)^2 \rho_p \bar{v}_p (3d - 2\delta) d\delta. \end{aligned}$$

Визначимо середній температурний напір в середині теплового прикордонного шару:

$$\bar{\vartheta}_\delta = \frac{1}{\delta} \int_0^\delta \vartheta dy,$$

де  $\vartheta$  – поточний розподіл температурного напору в прикордонному шарі.

Якщо розглянути розподіл поточної температури із переведенням початку системи координат на стінку трубопроводу, то його аналітичне представлення [2] буде наступним:

$$\vartheta = \vartheta_c \left( 1 - \frac{y}{\delta} \right)^2,$$

де  $\vartheta_c$  – різниця температури між стінкою трубопроводу та рідиною за межами прикордонного шару.

Таким чином:

$$\bar{\vartheta}_\delta = \frac{1}{\delta} \int_0^\delta \vartheta_c \left( 1 - \frac{y}{\delta} \right)^2 dy = \frac{\vartheta_c}{3}.$$

Визначимо елементарну кількість теплоти, що приймає рідина в тепловому прикордонному шарі в наслідок теплоємності:

$$dQ = c_p \bar{\vartheta}_\delta dG.$$

Із урахуванням раніше визначених диференціала від витрати рідини та середнього температурного напору в тепловому прикордонному шарі отримуємо:

$$dQ = 2\pi c_p \frac{\vartheta_c}{3} \left( \frac{\delta}{d} \right)^2 \rho_p \bar{v}_p (3d - 2\delta) d\delta.$$

З іншого боку, елементарна кількість теплоти, що може бути переданою внаслідок тепловіддачі, визначається наступним чином:

$$dQ = \alpha \vartheta_c dF = \pi d \alpha \vartheta_c dx,$$

де  $\alpha$  – локальний коефіцієнт тепловіддачі.

Оскільки локальний коефіцієнт тепловіддачі визначається як [2]:

$$\alpha = -\frac{\lambda}{\vartheta_c} \left( \frac{d\vartheta}{dy} \right)_{y=0},$$

то похідна від зміни температури в прикордонному шарі:

$$\frac{d\vartheta}{dy} = \frac{d}{dy} \left[ \vartheta_c \left( 1 - \frac{y}{\delta} \right)^2 \right] = -2\vartheta_c \left( 1 - \frac{y}{\delta} \right).$$

Для умов поставленої задачі:

$$\left. \frac{d\vartheta}{dy} \right|_{y=0} = -\frac{2\vartheta_c}{\delta}.$$

Таким чином,

$$\alpha = \frac{2\lambda}{\delta},$$

та, відповідно, кількість теплоти:

$$dQ = \alpha \vartheta_c dF = 2\pi d \frac{\lambda}{\delta} \vartheta_c dx.$$

Прирівнювання правих частин, які визначають елементарну кількість теплоти, дозволяє визначити наступне рівняння:

$$2\pi c_p \frac{\vartheta_c}{3} \left( \frac{\delta}{d} \right)^2 \rho_p \bar{v}_p (3d - 2\delta) d\delta = 2\pi d \frac{\lambda}{\delta} \vartheta_c dx.$$

Розділяючи змінні в наведеному рівнянні, отримуємо:

$$\delta^3(3d - 2\delta)d\delta = 3 \frac{\lambda d^3}{c_p \rho_p \bar{v}_p} dx.$$

Інтегрування даного рівняння дозволяє визначити наступне:

$$\frac{\delta^4}{20}(15d - 8\delta) = 3 \frac{\lambda d^3}{c_p \rho_p \bar{v}_p} x + C.$$

На підставі того, що при  $x = 0$  товщина прикордонного теплового шару  $\delta = 0$ , то  $C = 0$ , рівняння прийме вигляд:

$$\frac{\delta^4}{20}(15d - 8\delta) = 3 \frac{\lambda d^3}{c_p \rho_p \bar{v}_p} x.$$

Прийнявши, що  $15d \gg 8\delta$ , то

$$\delta = 4 \sqrt[4]{\frac{4d^2 \lambda x}{c_p \rho_p \bar{v}_p}}.$$

Таким чином, локальний коефіцієнт тепловіддачі:  $\alpha = 2\lambda \sqrt[4]{\frac{c_p \rho_p \bar{v}_p}{4d^2 \lambda x}}$ .

При зіткненні теплових шарів  $\delta = d/2$ , тому мінімальне значення локального коефіцієнту тепловіддачі становить:

$$\alpha = \frac{4\lambda}{d}.$$

Довжина трубопроводу, яка характеризується зіткненням теплових шарів визначиться як:

$$x_{\max} = \frac{c_p \rho_p \bar{v}_p}{80\lambda} d^2.$$

На підставі [2] середній коефіцієнт тепловіддачі можна визначити як:

$$\bar{\alpha} = \frac{4}{3} \alpha_{x=x_{\max}} = \frac{16\lambda}{3d}.$$

Кількість теплоти, що передається від поверхні трубопроводу становить:

$$Q = \bar{\alpha} \pi d L \vartheta_c,$$

де  $L$  – довжина трубопроводу.

Із урахуванням визначення середнього коефіцієнта теплопередачі

$$Q = \frac{16}{3} \pi L \lambda \vartheta_c.$$

Прийнявши із конструктивних урахувань співвідношення довжини та діаметру трубопроводу в теплоакumuлюючому пристрої, на підставі

$$L = x_{\max} = \frac{c_p \rho_p \bar{v}_p}{80\lambda} d^2,$$

та з урахуванням

$$\bar{v}_p = \frac{N_{\kappa}}{c_p \Delta t_p F},$$

маємо:

$$L = \frac{N_{\kappa} d^2}{80\lambda \Delta t_p F}.$$

Таким чином, кількість теплоти, що передається до рідини в трубопроводі:

$$Q = \frac{\pi N_{\kappa} d^2}{15 \Delta t_p F} \vartheta_c.$$

Потрібна кількість трубопроводів у теплоакumuлюючому пристрої становить:

$$n = 15 \frac{\Delta t_p F}{\pi \lambda \vartheta_c N_{\kappa} d^2}.$$

**Висновки.** В результаті проведених досліджень отримані аналітичні залежності течії рідини в системі опалення пасажирського вагону в залежності від споживаної потужності, процесів теплопередачі в циліндричному трубопроводі, що розташований в теплоакumuлюючому пристрої. Ці залежності в кінцевому випадку дозволили розрахувати коефіцієнт тепловіддачі, споживану теплову потужність та потрібну кількість трубопроводів в пристрої акумулювання теплоти, який працює на нагрівання рідини системи опалення.

#### Л і т е р а т у р а

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука. – 1974. – 712 с.
2. Теплопередача: Учебник для вузов / Исаченко В.П. и др. – М.: Энергоиздат. – 1981. – 416 с.

#### R e f e r e n c e s

1. Shlihting G. Teoriya pogranychogo sloya. – М.: Nauka. – 1974. – 712 s.
2. Teploperedacha: Uchebnik dlya vuzov / Isachenko V.P. i dr. – М.: Energoizdat. – 1981. – 416 s.

**Кузьменко С.В., Заверкин А.В. Определение режимов согласованной работы системы отопления с тепловым аккумулятором**

*В статье получены аналитические зависимости течения жидкости в системе отопления в зависимости от потребляемой мощности и процессов теплопередачи в цилиндрическом трубопроводе, расположенном в теплоаккумулирующем устройстве.*

**Ключевые слова:** система отопления, аккумулятор теплоты, теплообменник, течение, пограничный слой, плотность, скорость.

**Kuzmenko S., Zaverkin A. Determination of mode coordinated work of heating systems with heat accumulator**

*In the article analytical dependences of fluid flow in the heating system are obtained, depending on the power consumed and the heat transfer processes in a cylindrical pipeline located in the heat storage device.*

**Keywords:** heating system, heat accumulator, heat exchanger, flow, boundary layer, density, speed.

**Кузьменко С.В.** – к.т.н., доцент, директор інституту транспорту і логістики СНУ ім. В.Даля.

**Заверкін А.В.** – к.т.н., доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту, підйомних та транспортних машин СНУ ім.В.Даля

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 05.03.2018.

УДК 338.33:656.611.2

## ОЦІНКА ПРОЕКТІВ ДИВЕРСИФІКАЦІЇ СУДНОПЛАВНОЇ КОМПАНІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

Лапкіна І.О., Ветошнікова М.А.

### EVALUATION OF PROJECTS OF SHIPPING COMPANY DIVERSIFICATION BY MEANS OF FUZZY THEORY

Lapkina I.O., Vetoshnikova M.A.

*У статті розглядається проблема багатокритеріальності оцінки інвестиційних проектів диверсифікації судноплавної компанії на етапі попереднього аналізу. Для вирішення цієї проблеми пропонується використання теорії нечітких множин, що дозволяє одночасно розглядати якісні та кількісні показники в прогнозованому діапазоні. В результаті здійснюється ранжування, а також складається список ефективних проектів, який виключає ті варіанти, що не відповідають стратегічним цілям розвитку компанії.*

**Ключові слова:** судноплавна компанія, інвестиційний проект, диверсифікація, інтегральна оцінка.

**Вступ.** У теорії інвестиційного менеджменту існує досить велика кількість різних методів оцінки ефективності інвестиційних проектів, кожен з яких має як свої переваги, так і свої недоліки.

Диверсифікацію слід розглядати як найбільш підходящий шлях для інвестування капіталу і зменшення ступеня ризику, особливо в тих випадках, якщо подальша експансія в основних сферах бізнесу обмежена. У сучасній літературі стратегію диверсифікованого зростання відносять до базисних або еталонних стратегій розвитку бізнесу [1].

**Постановка проблеми.** Для вибору оптимального варіанту диверсифікації судноплавної компанії (СК), що забезпечує сприятливу в цілому стратегічну позицію організації і підвищення її ефективності та конкурентоспроможності, необхідно розглянути множину альтернативних варіантів проекту створення нової стратегічної одиниці бізнесу (СОБ) [2].

Рішення про остаточний вибір варіанту проекту диверсифікації має ґрунтуватися на багатокритеріальній оцінці, побудованій на системі якісних та кількісних показників.

Для вирішення проблеми багатокритеріальності на етапі попередньої оцінки інвестиційних проектів пропонується використання

теорії нечітких множин. По-перше, це дозволяє одночасно розглядати як якісні, так і кількісні показники. По-друге, при прогнозі вихідних параметрів від особи, що приймає рішення (ОПР), потрібно не формувати точкові імовірнісні оцінки, а досить задати розрахунковий діапазон значень прогнозованих параметрів.

Одним з найважливіших факторів, який враховується в процесі відбору найкращого варіанту проекту, є фактор ресурсного забезпечення [3,4]. При цьому оцінюється потреба в різних видах ресурсів на всіх стадіях життєвого циклу. Оцінка проводиться не тільки з кількісної сторони, але і з якісної. А саме - доступність того чи іншого ресурсу проекту в необхідній кількості, відповідність ресурсів вимогам якості, яка потрібна в проекті та т. ін.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** В основу пропонованої методики покладена теорія нечітких множин, яка була розроблена Л. А. Заде. Ця теорія отримала свій розвиток в багатьох публікаціях зарубіжних і вітчизняних авторів, у тому числі присвячених обґрунтуванню та відбору найбільш доцільних варіантів проектів серед можливих альтернатив [5,6].

Використання цієї теорії для прийняття рішень про вибір найкращого проекту диверсифікації СК, що забезпечує збалансований розвиток компанії, раніше не розглядалося. Відзначимо, що в процесі вибору необхідно оцінювати ще не існуючі (майбутні) СОБ, характеристики яких мають прогнозовані значення для обраного горизонту розрахунку.

**Мета статті.** Мета статті полягає в розробці алгоритму процесу ранжирування проектів диверсифікації судноплавної компанії на основі багатокритеріальної оцінки. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити задачу розробки системи якісних і кількісних

Таблиця 1

Нечітка оцінка за показником «Доступність джерел ресурсного забезпечення проекту»

Питання	1- дуже низько				2- низько				3- середньо				4- високо				5-дуже високо				Кількість експертів
	0	0	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,9	0,7	0,9	1	1	
1. Чи доступні необхідні ресурси в потрібній кількості?									3				4				3				10
2. Чи можливі інші альтернативні способи залучення ресурсів?									4				4				2				10
3. Наскільки важлива відповідність характеристик ресурсів вимогам за якістю?									3				4				3				10
Кількість експертів, які поставили дану оцінку	0				0				10				12				8				30
Зважені оцінки	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	5	7	6	8,4	8,4	10,8	5,6	7,2	8	8	

характеристик проекту, встановити розрахунковий діапазон прогнозованих показників, визначити вагові коефіцієнти використовуваних критеріїв, розрахувати інтегральну оцінку.

**Результати досліджень.** Розглянемо етапи процесу ранжирування альтернативних варіантів А, В, С, D проекту диверсифікації судноплавної компанії з урахуванням фактору ресурсного забезпечення.

1. Розробка системи якісних характеристик проекту:

- 1.1. відповідність мети і стратегії підприємства;
- 1.2. ступінь синергізму продукту проекту з існуючим бізнесом СК;
- 1.3. доступність джерел ресурсного забезпечення проекту;
- 1.4. рівень інвестиційного ризику.

Для кожного показника розробляється список питань, які дозволяють оцінити важливість даної характеристики для успішної реалізації проекту.

2. Оцінка якісних показників з використанням методу експертних оцінок і методу нечітких множин.

На цьому етапі створюється експертна група у складі не менше 10 осіб висококваліфікованих фахівців різних структурних підрозділів («вага» експертів приймається однаковою). Для оцінки якісних показників приймається п'ятибальна шкала, причому кожному з балів відповідає трапецієвидне нечітке число, яке знаходиться на відрізку від 0 до 1 (табл.1).

Далі розраховується середня арифметична оцінка нечітких чисел по кожному *i*-му показнику

$$(i = \overline{1;n}) X_i = (X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, X_{i4})$$

(табл.2)

Таблиця 2

Середньоарифметичні оцінки якісних показників варіантів інвестиційного проекту

№	Назва показників	Варіанти інвестиційного проекту			
		A	B	C	D
1	Відповідність мети і стратегії підприємства	0,413	0,553	0,33	0,377
		0,613	0,753	0,53	0,557
		0,620	0,793	0,537	0,58
		0,807	0,91	0,73	0,753
2	Ступінь синергізму продукту проекту існуючим бізнесом СК	0,545	0,47	0,4	0,34
		0,745	0,67	0,6	0,54
		0,788	0,688	0,6	0,548
		0,903	0,853	0,79	0,733
3	Доступність джерел ресурсного забезпечення проекту	<b>0,487</b>	0,367	0,440	0,480
		<b>0,687</b>	0,567	0,640	0,680
		<b>0,713</b>	0,577	0,657	0,710
		<b>0,860</b>	0,760	0,820	0,850
4	Рівень інвестиційного ризику	0,360	0,32	0,45	0,54
		0,560	0,52	0,65	0,74
		0,560	0,52	0,665	0,775
		0,760	0,72	0,84	0,905

Отже, для показника «Доступність джерел ресурсного забезпечення проекту» загальна оцінка проекту А:  $X_3 = (0,487; 0,687; 0,713; 0,860)$ .

1 число:  $(0 + 0 + 3 + 6 + 5,6) / 30 = 0,487$ ;

2 число:  $(0 + 0 + 5 + 8,4 + 7,2) / 30 = 0,687$ ;

3 число:  $(0 + 0 + 5 + 8,4 + 8) / 30 = 0,713$ ;

4 число:  $(0 + 0 + 7 + 10,8 + 8) / 30 = 0,860$ .

Слід зазначити, що якісна оцінка показника «Доступність джерел ресурсного забезпечення проекту» можлива за кожним типом ресурсів (матеріальними, людськими, фінансовими, інформаційними).

3. Розробка системи кількісних показників оцінки проекту, заданих в числовому діапазоні.

Оцінка нечітким числом кожного  $i$ -го

показника  $(i = \overline{1; n})$   $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, X_{i4})$ . Нормування, тобто приведення цієї оцінки до безрозмірного вигляду - нечіткого числа, яке також знаходиться на відрізку від 0 до 1.

Розглянемо перший кількісний показник - «Критична маса стратегічної одиниці бізнесу (СОБ)». Це необхідні капіталовкладення для створення конкурентоспроможної СОБ певного розміру з урахуванням достатніх витрат на маркетинг, рекламу, обслуговування, подальший розвиток СОБ, а також можливі витрати на вихід з даної стратегічної області бізнесу. Інвестиції, необхідні для ефективного входу на ринок, повинні задовольняти обсягу ресурсів, що виділяються організацією для реалізації стратегії. Очікуваний розмір СОБ визначається на основі рішення керівництва про відносну конкурентну позицію, яку прагне зайняти компанія. Розмір СОБ можна позначити кількістю необхідних фахівців, устаткування, оргтехніки для освоєння планованого

обсягу роботи бажаної якості і кількості. Розрахунки представлені у таблиці 3

4. Знаходження відносної ваги кожного  $i$ -го

$$\left( \alpha_i \geq 0; \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1; i = \overline{1; n} \right)$$

показника <sup>3</sup> використанням методу парних порівнянь Сааті [7,8].

Ступінь узгодженості експертних оцінок характеризується коефіцієнтом конкордації (згоди)  $W$  (повинен бути більше 0,5).

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n \Delta R_i^2}{m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j}, \quad (1)$$

$$\Delta R_i = R_i - \overline{R}, \quad (2)$$

де  $m (j = \overline{1, m})$  - кількість експертів;

$n (i = \overline{1, n})$  - число аналізованих об'єктів (показників);

$T_j$  - визначається, якщо у експертів збіглися оцінки.

Розрахуємо коефіцієнт конкордації для нашої системи показників у таблиці 4.

Таблиця 3

Система кількісних показників оцінки варіантів проекту

№	Назва показників		Оцінка нечітким числом				Нормування оцінки			
			A	B	C	D	A	B	C	D
1	Критична маса стратегічної одиниці бізнесу (СОБ)	min. значення 450	610	10000	1042	600	0,738	0,045	0,432	0,750
			519	8500	884	510	0,867	0,053	0,509	0,882
			488	8000	832	480	0,922	0,056	0,541	0,938
			458	7500	780	450	0,983	0,060	0,577	1,000
2	Ресурси СК, необхідні для реалізації проекту	min. значення 300	15000	45000	4381	400	0,020	0,007	0,068	0,750
			12750	38250	3723	340	0,024	0,008	0,081	0,882
			12000	36000	3504	320	0,025	0,008	0,086	0,938
			11250	33750	3285	300	0,027	0,009	0,091	1,000
3	Планована собівартість одиниці транспортної послуги	min. значення 1895	2274	33600	541998	7864	0,833	0,056	0,003	0,241
			2085	30800	517362	7209	0,909	0,062	0,004	0,263
			1990	29400	492726	6553	0,952	0,064	0,004	0,289
			1895	28000	443453	6240	1,000	0,068	0,004	0,304
4	Прогнозований обсяг транспортних послуг	max. значення 6480	2000	5400	10	620	0,309	0,833	0,002	0,096
			2610	5670	20	1060	0,403	0,875	0,003	0,164
			3100	5940	30	1340	0,478	0,917	0,005	0,207
			3500	6480	40	1470	0,540	1,000	0,006	0,227

Таблиця 4

**Експертна оцінка показників методом парних порівнянь (результат обробки даних експертизи)**

№	Найменування показників	Вага	Сума рангів $R_i$	$\Delta R$	$\Delta R^2$
1	Відповідність мети і стратегії підприємства	0,17	22	-22,5	506,25
2	Ступінь синергізму продукту проекту з існуючим бізнесом	0,04	75	30,5	930,25
3	Доступність джерел ресурсного забезпечення проекту	0,13	34	-10,5	110,25
4	Рівень інвестиційного ризику	0,29	12	-32,5	1056,25
5	Критична маса СОБ	0,09	56	11,5	132,25
6	Ресурси СК, необхідні для реалізації проекту	0,12	38	-6,5	42,25
7	Планована собівартість одиниці транспортної послуги	0,11	44	-0,5	0,25
8	Прогнозований обсяг транспортних послуг	0,05	75	30,5	930,25
9	Сума	1	356	-	3708
10	Середнє значення суми рангів, $\bar{R}$	-	44,5	-	-
11	Коефіцієнт згоди W	-	-	-	<b>0,883</b>
12	Чисельник	-	-	-	44496
13	Знаменник	-	-	-	50400

Таблиця 5

**Зважені трапецієподібні значення показників комплексної оцінки варіантів проекту диверсифікації**

№	Найменування показників	Вага	A	B	C	D
1	Відповідність мети і стратегії підприємства	0,17	0,07021	0,09401	0,0561	0,06409
			0,10421	0,12801	0,0901	0,09469
			0,1054	0,13481	0,09129	0,0986
			0,13719	0,1547	0,1241	0,12801
2	Ступінь синергізму продукту проекту з існуючим бізнесом СК	0,04	0,0218	0,0188	0,016	0,0136
			0,0298	0,0268	0,024	0,0216
			0,03152	0,02752	0,024	0,02192
			0,03612	0,03412	0,0316	0,02932
3	Доступність джерел ресурсного забезпечення проектів	0,13	0,063	0,048	0,057	0,062
			0,089	0,074	0,083	0,088
			0,093	0,075	0,085	0,092
			0,112	0,099	0,107	0,111
4	Рівень інвестиційного ризику	0,29	0,1044	0,0928	0,1305	0,1566
			0,1624	0,1508	0,1885	0,2146
			0,1624	0,1508	0,19285	0,22475
			0,2204	0,2088	0,2436	0,26245
5	Критична маса СОБ	0,09	0,066	0,004	0,039	0,068
			0,078	0,005	0,046	0,079
			0,083	0,005	0,049	0,084
			0,088	0,005	0,052	0,090
6	Ресурси СК, необхідні для реалізації проекту	0,12	0,002	0,001	0,008	0,090
			0,003	0,001	0,010	0,106
			0,003	0,001	0,010	0,113
			0,003	0,001	0,011	0,120
7	Планована собівартість одиниці транспортної послуги	0,11	0,092	0,006	0,000	0,027
			0,100	0,007	0,000	0,029
			0,105	0,007	0,000	0,032
			0,110	0,007	0,000	0,033
8	Прогнозований обсяг транспортних послуг	0,05	0,015	0,042	0,000	0,005
			0,020	0,044	0,000	0,008
			0,024	0,046	0,000	0,010
			0,027	0,050	0,000	0,011

5. Агрегування нечітких якісних і кількісних оцінок з урахуванням «ваги» кожного з них та отримання загальної інтегральної оцінки проектів диверсифікації A, B, C, D за формулою (3).

$$X = \left( \sum_{i=1}^n \alpha_i X_{i1}; \sum_{i=1}^n \alpha_i X_{i2}; \sum_{i=1}^n \alpha_i X_{i3}; \sum_{i=1}^n \alpha_i X_{i4} \right) \quad (3)$$

Результати розрахунків представлені в таблицях 5,6.

Таблиця 6  
Загальна інтегральна оцінка проектів диверсифікації

Координати оцінки	Варіанти проекту			
	A	B	C	D
$X_1$	0,436	0,306	0,307	0,485
$X_2$	0,587	0,436	0,442	0,642
$X_3$	0,607	0,447	0,453	0,677
$X_4$	0,734	0,560	0,570	0,785

Зобразимо графічно трапецієвидні інтегральні оцінки альтернативних варіантів проекту диверсифікації СК. Як бачимо з графіків (рис.), найкращим варіантом є варіант D.

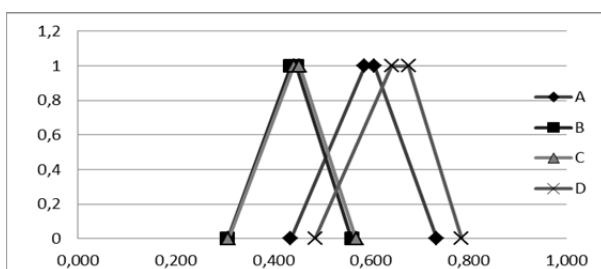


Рис. Трапецієвидна інтегральна оцінка варіантів проекту диверсифікації СК

6. Ранжування варіантів проекту шляхом порівняння нечітких чисел з використанням методу Чанга (можливі й інші методи).

Узагальнюючий критерій розраховується за формулою.

$$ch(X) = \frac{x_3^2 + x_3x_4 + x_4^2 - x_1^2 + x_1x_2 - x_2^2}{6} \quad (4)$$

Таблиця 7  
Ранжування варіантів проекту за критерієм Чанга

Показники	A	B	C	D
Узагальнюючий критерій Чанга - $ch(X)$	0,094	0,058	0,060	0,108
Ранг (пріоритет)	2	4	3	1

**Висновок.** В результаті багатокритеріальної оцінки варіантів проекту диверсифікації СК з використанням теорії нечітких множин отримана інтегральна трапецієвидна оцінка для кожного варіанту. Найкращий варіант проекту - D - був визначений на основі графічного відображення результатів розрахунків. Далі було проведено ранжування всіх варіантів проекту за критерієм Чанга: 1 місце - варіант D; 2 місце - варіант A; 3 місце - варіант C; 4 місце - варіант B.

Запропонована методика дозволяє вибрати найкращий варіант проекту диверсифікації

судноплавної компанії на базі багатокритеріальної оцінки та оцінити проекти створення майбутніх СОБ з використанням як якісних, так і кількісних характеристик проекту. Особі, що приймає рішення, надається можливість в якості вхідних параметрів використовувати діапазони прогностичних значень. Теорія нечітких множин надає можливість врахувати те, що більшість значень параметрів проекту мають властивість «розмитості», тобто доволі важко спрогнозувати їх точне значення. Такий підхід дозволяє зробити вибір найкращого варіанту проекту диверсифікації на попередньому етапі аналізу більш обґрунтованим з позиції відповідності стратегічним цілям компанії, її ресурсозабезпеченості та конкурентоспроможності.

### Література

1. Лапкина И. А. Стратегии диверсификации деятельности судоходных компаний / И. А. Лапкина, М. А. Ветошникова // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Збірн. наук. праць. – 2007. – № 12. – С. 192–203.
2. Лапкина И.А. Выбор оптимального направления диверсификации судоходной компании / Лапкина И.А., Ветошникова М.А. // Вестник Одесского национального морского университета: Сборник научных трудов. – Одесса: ОНМУ, 2010. - Вип.31 – С.149-159.
3. Лапкина И.О. Види ресурсів та їх залучення до проекту / І.О. Лапкина, Г.І. Брашовецька // Управління проектами та розвиток виробництва: Збірник наукових праць. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2014. – № 3 (51). – Луганськ, 2014. – С.97-104.
4. Лапкина И.О. Ресурсно-орієнтований підхід в методології управління проектами / Основні результати наукової діяльності Південного наукового центру: Зб. наук. праць. - Одеса: ОНМУ, 2017. - С.79-95.
5. Царьков И.Н. Применение теории нечетких множеств к задаче формирования портфеля проектов/ Царьков И.Н., Никонов И.М., Аньшин В.М.// Проблемы анализа риска. – 2008. - Том.5, №3. – С. 8-21.
6. Борискова Л.А. Совершенствование механизма предварительного отбора инновационных проектов / Борискова Л.А., Глебова О.В. // Журнал «Управление проектами» №3(16), 2009 г., - с.44-51.
7. Метод анализа иерархий. [Электронный ресурс] Режим доступа: [www.Wikipedia.org/Метод\\_анализа\\_иерархий](http://www.Wikipedia.org/Метод_анализа_иерархий)
8. Аналитическая иерархическая процедура Саати. [Электронный ресурс]- Режим доступа: [www.gorskiy.ru/Articles/Dmss/AHP.html](http://www.gorskiy.ru/Articles/Dmss/AHP.html)

### References

1. Lapkina I. A. Strategii diversifikacii dejatel'nosti sudohodnyh kompanij / I. A. Lapkina, M. A. Vetoshnikova // Metodi ta zasobi upravlinnja rozvitkom transportnih sistem: Zbirn. nauk. prac'. – 2007. – № 12. – S. 192–203.
2. Lapkina I.A. Vybora optimal'nogo napravlenija diversifikacii sudohodnoj kompanii / Lapkina I.A., Vetoshnikova M.A. // Vestnik Odesskogo nacional'nogo

- morskogo universiteta: Sbornik nauchnih trudov. – Odessa: ONMU, 2010. - Vip.31 – S.149-159.
3. Lapkina I.O. Vidi resursiv ta ih zaluchennja do proektu / I.O. Lapkina, G.I. Brashovec'ka // Upravlinnja proektami ta rozvitok virobництва: Zbirnik naukovih prac'. – Lugans'k: SNU im. V. Dalja, 2014. – № 3 (51). – Lugans'k, 2014. – С.97-104.
  4. Lapkina I.O. Resursno-orientovaniy pidhid v metodologii upravlinnja proektami / Osnovni rezul'tati naukoivo dij'al'nosti Pivdenного naukovoogo centru: Zb. nauk. prac'. – Odesa: ONMU, 2017. - S.79-95.
  5. Car'kov I.N. Primenenie teorii nechetkih mnozhestv k zadache formirovaniya portfelja proektov/ Car'kov I.N., Nikonov I.M., An'shin V.M.// Problemi analiza riska. – 2008. - Tom.5, №3. – S. 8-21.
  6. Boriskova L.A. Sovershenstvovanie mehanizma predvaritel'nogo otbora innovacionnyh proektov / Boriskova L.A., Glebova O.V. // Zhurnal «Upravlenie proektami» №3(16), 2009 g., - s.44-51.
  7. Metod analiza ierarhij. [Elektronnij resurs] Rezhim dostupu: [www.Wikipedia.org/Metod\\_analiza\\_ierarhij](http://www.Wikipedia.org/Metod_analiza_ierarhij)
  8. Analiticheskaja ierarhicheskaja procedura Saati. [Elektronnij resurs]- Rezhim dostupu: [www.gorskiy.ru/Articles/Dmss/AHP.html](http://www.gorskiy.ru/Articles/Dmss/AHP.html)

**Лапкіна І.А., Ветошнікова М.А. Оцінка проектів диверсифікації судохідної компанії з використанням теорії нечітких множин**

*В статті розглядається проблема многокритериальности оцінки інвестиційних проектів диверсифікації судохідної компанії на етапі передварительного аналізу. Для рішення цієї проблеми пропонується використання теорії нечітких множин, що дозволяє одночасно розглядати якісні та кількісні показники в прогнозованому діапазоні. В результаті проводиться ранжирование проектів, а також складається список*

*эффективных проектов, исключая те варианты, которые не соответствуют стратегическим целям развития компании.*

**Ключевые слова:** судохідная компания, инвестиційний проект, диверсифікація, інтегральна оцінка.

**Lapkina I.O., Vetoshnikova M.A. Evaluation of projects of shipping company diversification by means of fuzzy theory**

*The article considers the problem of multi-criteria estimation of investment projects of the shipping company diversification at the stage of preliminary analysis. The solving of this problem is based on the Fuzzy Logic Theory, that allows to consider the qualitative and quantitative indicators simultaneously in the predicted range. The overall integrated estimation for the projects of the shipping company development is obtained by aggregating qualitative and quantitative indicators by weighted coefficients. As the result, the projects are ranking, and the list of effective ones is drawn up, excluding those options that do not correspond to the company's strategic goals.*

**Keywords:** shipping company, investment project, diversification, integrated assessment.

**Лапкіна І.О.** – д.е.н., професор, завідувач кафедри "Управління логістичними системами і проектами" Одеського національного морського університету, e-mail: [lapkina@ukr.net](mailto:lapkina@ukr.net)

**Ветошнікова М.А.** – старший викладач кафедри "Управління логістичними системами і проектами" Одеського національного морського університету, e-mail: [marivet19@gmail.com](mailto:marivet19@gmail.com)

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 11.03.2018.

УДК 519.2

## СИСТЕМНЫЕ СВЯЗИ ПРОЕКТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ МОРСКИХ ТОРГОВЫХ ПОРТОВ

Леонтьева А.И.

### SYSTEM LINKS OF TECHNICAL DEVELOPMENT PROJECTS OF SEA TRADING PORTS' CONTAINER TERMINALS

Leontieva A.I.

*В статье установили системные связи проектов технического развития контейнерных терминалов морских торговых портов. Данные системные связи соответствуют системным связям контейнерного терминала, с одной стороны, как объекта транспортной инфраструктуры государства; с другой стороны, как имущественного комплекса, находящегося в управлении компании-оператора. Также, исходя из сущности технического развития, установлены системные связи соответствующих проектов с программами и портфелями различными по содержанию и уровню реализации.*

**Ключевые слова:** проект, программа, техническое развитие, система, связи

**Введение.** Техническое развитие является одной из важных составляющих развития предприятия. Особое значение техническое развитие приобретает в отраслях, для которых комплексы технических средств и используемые технологии определяют уровень производительности, себестоимость, и, как результат, конкурентоспособность [1]. К таким отраслям относится морской транспорт и его важная составляющая – портовые терминалы.

Специализация портовых терминалов определяется спецификой обслуживаемых грузов и, соответственно, судов, что проявляется в составе портового перегрузочного оборудования и используемых технологий.

Реализация технического развития осуществляется посредством соответствующих проектов, эффективное управление которыми должно учитывать отраслевую специфику данной категории проектов.

**Постановка проблемы.** Как известно, проекты могут являться элементами систем более высокого порядка – программ или портфелей проектов. Портфель проектов компании может включать в свою структуру проекты и программы различного содержания, поэтому проекты технического

развития как независимые элементы и как составляющие программ могут входить в состав портфелей.

Интерес для исследования представляет характер соотношения проектов технического развития и программ, портфелей различного вида, так как от характера данного взаимоотношения зависят процедуры отбора проектов, их ценность и особенности реализации (такие, например, как сроки, финансирование и т.д.).

В центре внимания настоящего исследования – проекты технического развития контейнерных терминалов. Таким образом, научный интерес представляет системная принадлежность проектов технического развития контейнерных терминалов как элементов различных видов портфелей и программ.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросы технического развития предприятий транспортной сферы рассматриваются в современных публикациях с различных точек зрения: эксплуатационной, технологической, экономической, правовой, маркетинговой, стратегического управления и т.д. Такое разнообразие подходов к данной проблеме определяется важностью уровня технического развития предприятия транспортного комплекса и его многоаспектностью.

Процессы управления техническим развитием для железнодорожного транспорта рассмотрены в работах [2,3]. Влияние технического развития на конкурентоспособность портовой сферы и уровень транзитного потенциала Украины определены в [4,5]. Эксплуатационная специфика различных вариантов обновления парка перегрузочного оборудования для портов рассмотрена в [6]; вопросы оптимизации структуры перегрузочной техники портовых терминалов исследованы в [7].

Тем не менее следует отметить лишь фрагментарное обращение к проблемам управления проектами развития портовых терминалов

(например, работа [8]) и к вопросам управления проектами технического развития терминалов (например, [1]).

Таким образом, практическое большинство задач управления проектами технического развития портовых терминалов, и, в частности, контейнерных терминалов, остаются не решенными.

В связи с вышесказанным, целью статьи является идентификация и содержательное описание системных связей проектов технического развития контейнерных терминалов морских торговых портов.

**Изложение основного материала.** Проанализируем на содержательном уровне системную принадлежность проектов технического развития контейнерных терминалов морских торговых портов.

Идентификацию системной принадлежности данной категории проектов проведем с точки зрения двух аспектов (рис. 1):

- с точки зрения проектного менеджмента в терминах категорий «проект, программа, портфель»;
- с точки зрения системной принадлежности объекта, подлежащего техническому развитию, - контейнерного терминала.



Рис. 1. Два подхода к идентификации системных связей проектов технического развития контейнерных терминалов морских торговых портов

Интегрированное применение двух указанных подходов позволит сформировать комплексное и наиболее полное представление системных взаимосвязей проектов технического развития контейнерных терминалов.

Согласно Кодексу торгового мореплавания Украины [9]: «...морський термінал - розташований у межах морського порту єдиний майновий комплекс, що включає технологічно пов'язані об'єкти портової інфраструктури, у тому числі причали, підйомно-транспортне та інші устаткування, які забезпечують навантаження-розвантаження та зберігання

вантажів, безпечну стоянку та обслуговування суден і пасажирів».

Контейнерный терминал, расположенный на территории морского торгового порта, является частью транспортной инфраструктуры страны, и может находиться в управлении как у частной компании портового оператора, так и у государственной компании.

Говоря о развитии контейнерного терминала, в том числе, о техническом развитии, в понятие «терминал» вкладывался смысл, указанный ранее согласно кодексу торгового мореплавания Украины. Тем не менее, такое понимание терминала является объектно-ориентированным, то есть характеризует терминал как объект управления. Субъектом управления терминала является портовый оператор, который осуществляет свою деятельность на основании заключенного договора.

При этом контейнерный терминал является частью производственной системы компании портового оператора.

Согласно [10] в производственной системе предприятия выделяются следующие подсистемы:

- социальная — комплекс отношений между людьми как организационное проявление системы;
- производственно-техническая — материальные средства: комплекс машин и оборудования, материалов, инструментов, энергии;
- подсистема информации — информационные элементы и их взаимосвязи.

Таким образом, материально-техническая база портового оператора является частью производственно-технической подсистемы.

С учетом специфики имущественных отношений в Украине морских торговых портов и операторов контейнерных терминалов, состав технических средств может принадлежать как государству, так и частному капиталу.

При этом в общем случае развитие комплекса технических средств может осуществляться как компаниями-операторами, так и государством. Во втором случае, проекты и программы технического развития могут являться частью государственных программ развития морских торговых портов или морского транспорта в целом.

Таким образом, в зависимости от ситуации, инициаторами рассматриваемой категории проектов, то есть субъектами, осуществляющими техническое развитие контейнерного терминала, может являться государство, портовый оператор, или привлекаемые одной или другой стороной сторонние инвесторы, преследующие различные цели данных инвестиционных вложений (рис.2).

То есть, варианты системной принадлежности проектов технического развития определяются вариантами принадлежности контейнерного терминала системам более высокого порядка. Основных их две — это транспортная инфраструктура государства и производственная система портового оператора, осуществляющего управление контейнерным терминалом.

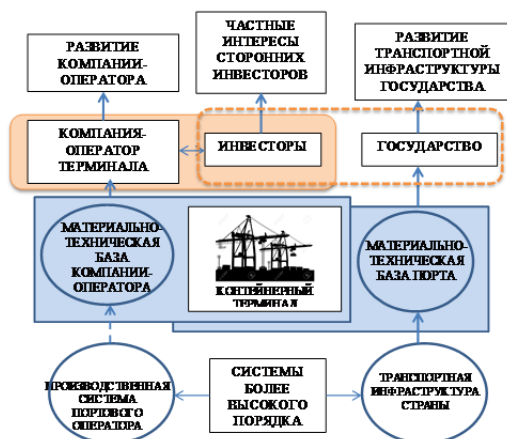


Рис. 2. Инициаторы проектов технического развития контейнерных терминалов

Далее идентифицируем системную принадлежность проектов технического развития контейнерных терминалов.

По своей сути проекты технического развития контейнерных терминалов связаны с развитием комплекса технических средств и используемых технологий в работе терминала. Техническое развитие является составляющей развития материально-технической базы терминала, которая является более широким понятием по своей сути и включает в себя, в частности, здания, гидротехнические сооружения, подъездные пути и т.п., то есть элементы инфраструктуры.

Таким образом, проекты технического развития могут являться составляющими программ технического развития или развития материально-технической базы контейнерного терминала. При этом проекты технического развития могут входить в программу развития материально-технической базы в качестве отдельных элементов или в составе подпрограмм (технического развития), рис.3.

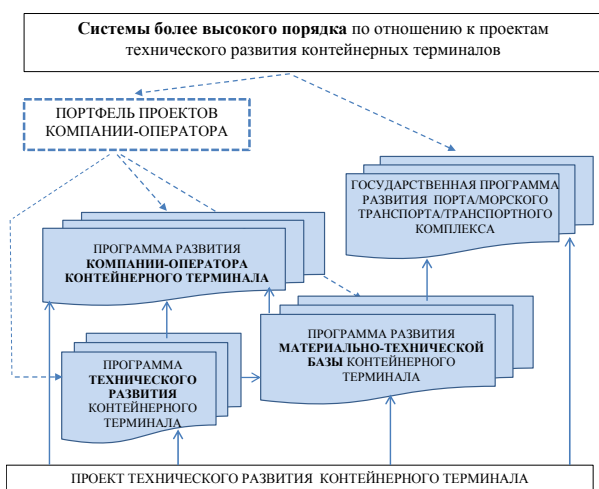


Рис. 3. Системная принадлежность проектов технического развития контейнерных терминалов

Поэтому, в свою очередь, программа развития материально-технической базы терминала может являться подпрограммой программы развития портового оператора, что является более широким понятием. Программы развития портовых операторов согласно [11] имеют в своем составе и социальную составляющую, и маркетинговую и т.п., то есть охватывают различные аспекты функционирования системы «контейнерный терминал».

**Выводы.** Таким образом, мы установили системные связи проектов технического развития контейнерных терминалов. Данные системные связи соответствуют системным связям контейнерного терминала, с одной стороны, как объекта транспортной инфраструктуры государства; с другой стороны, как имущественного комплекса, находящегося в управлении компании-оператора. Также, исходя из сущности технического развития, установлены системные связи соответствующих проектов с программами и портфелями различными по содержанию и уровню реализации. Представленные разработки предназначены для дальнейшего использования при формировании теоретической базы, а также методов и средств управления проектами технического развития контейнерных терминалов морских торговых портов.

#### Литература

1. Онищенко С. П. Структура и цели программ технического развития контейнерных терминалов морских торговых портов / С. П. Онищенко, А. И. Леонтьева // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2018. – № 1 (1277). – С. 39-43.
2. Хоменко Л.М. Управління процесами оновлення техніко-технологічної бази промислових підприємств (на прикладі ремонтних підприємств залізничного транспорту України): Автореф. дис... канд. екон. наук: 08.06.01 / Київський національний економічний ун-т. — К., 2004. — 18 с.
3. Соломніков І.В. Техніко-технологічний розвиток підприємств залізничного транспорту: проблеми та стратегічні пріоритети // Вісник економіки транспорту і промисловості. 2015. №52. – С.74-78.
4. Світові тенденції розвитку морських портів [Електронний ресурс] / С. Г. Нікулін, Н. В. Рошнін // Економіка: реалії часу. Науковий журнал. – 2015. – №4 (20). – С. 148-154.
5. Липинська О. А. Становлення та розвиток транзитного потенціалу України : монографія / О. А. Липинська. – Інститут проблем ринку та економіко-екологічних досліджень НАН України. – Одеса: ІПРЕД НАН України, 2012. – 396 с.
6. Пустовой В. Н., Андриенко А. О. Сравнительное исследование параметров портовых кранов для морских портов Украины // Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2008. – Вип.25. – С. 97-107.

7. Lapkina I. O., Malaksiano M. O., Malaksiano M. O. Optimization of the structure of sea port equipment fleet under unbalanced load // Aktual'ni Problemy Ekonomiky = Actual Problems in Economics. – 2016. – №. 183. – С. 364.
8. Андриевская В. А. Использование проектного потенциала в процессах управления проектами развития стивидорных компаний / В. А. Андриевская // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Стратегическое управление, управление портфелями, программами и проектами. – Харьков : НТУ "ХПИ". – 2015. – № 1 (1110). – С. 154-159.
9. Кодекс торговельного мореплавства України [Електронний ресурс] // zkon.rada.gov.ua/go/176/95-вр
10. Производственная система [Електронний ресурс] // <http://center-yf.ru/data/Menedzheru/proizvodstvennaya-sistema.php>
11. Онищенко С. П. Структура, цель, продукт и ценность программ развития предприятий / С.П.Онищенко, Е.С.Арабаджи // Вісник Одеського національного морського університету. 2011. № 33. С. 175-186.

#### References

1. Onyschenko S.P. The structure and objectives of the technical development programs for container terminals of sea trading ports / S.P. Onyshchenko, A.I. Leontieva // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic Management, Portfolio Management, Programs and Projects = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management: Sb. sciences Ave - Kharkiv: NTU "KhPI", 2018 - No. 1 (1277). - P. 39-43.
2. Khomenko L.M. Process management updating the technical and technological base of industrial enterprises (for example, repair enterprises of the railway transport of Ukraine): Author's abstract. Dis ... Cand. econ Sciences: 08.06.01 / Kyiv National Economic University. - K., 2004. - 18 p.
3. Solomnikov I.V. Technological and technological development of railway transport enterprises: problems and strategic priorities // Bulletin of economy of transport and industry. 2015. No. 52. - P.74-78.
4. World tendencies of development of sea ports [Electronic resource] / S.G. Nikulin, N.V. Roshchina // Economy: realities of time. Scientific Journal. - 2015 - # 4 (20). - P. 148-154.
5. Lipins'ka O. A. Restructuring and development of transit potential of Ukraine: monograph / O. A. Lipinska. - Institute for Market Problems and Economic and Environmental Studies of the National Academy of Sciences of Ukraine. - Odessa: IREPR NAS of Ukraine, 2012. - 396 pp.
6. Pustovoy V. N., Andrienko A. O. Comparative study of parameters of port cranes for sea ports of Ukraine // Bulletin of ONMU: Zb. sciences works. - Odessa: ONMU, 2008. - Vip.25. - P. 97-107.

7. Lapkina I.O., Malaksiano M.O., Malaksiano M.O. Optimization of the structure of the maritime port equipment fleet under unbalanced load // Actual Problems in Economics. - 2016. - No. 183. - P. 364.
8. Andriyevska V.A Using Project Potential in Stevedoring Companies Development Projects Management Processes / V.A Andriyevska // Vestnik Nat. tech Un "KhPI": Strategic management, portfolio management, programs and projects. - Kharkov: NTU "KhPI". - 2015. - No. 1 (1110). - P. 154-159.
9. The Code of Commercial Seafaring of Ukraine [Electronic resource] // zkon.rada.gov.ua/go/176/95-r
10. Production system [Electronic resource] // <http://center-yf.ru/data/Menedzheru/proizvodstvennaya-sistema.php>
11. Onyschenko S.P. Structure, purpose, product and value of enterprise development programs / S.P. Onyshchenko, E.S.Arabadzhy // Bulletin of the Odessa National Maritime University. 2011. № 33. С. 175-186.

#### Леонт'єва А.І. Системні зв'язки проектів технічного розвитку контейнерних терміналів морських торговельних портів.

*У статті встановлено системні зв'язки проектів технічного розвитку контейнерних терміналів морських торговельних портів. Дані системні зв'язки відповідають системним зв'язкам контейнерного терміналу, з одного боку, як об'єкта транспортної інфраструктури держави; з іншого боку, як майнового комплексу, що знаходиться в управлінні компанії-оператора. Також, виходячи із сутності технічного розвитку, встановлено системний зв'язок відповідних проектів з програмами і портфелями різних за змістом і рівнем реалізації.*

**Ключові слова:** проект, програма, технічний розвиток, система, зв'язки

#### Leontieva A.I. System links of technical development projects of sea trading ports' container terminals.

*The article has established the systems links of technical development projects for container terminals of sea trading ports. These system links correspond to the system connections of the container terminal, on the one hand, as an object of the state transport infrastructure; on the other hand, as a property complex managed by an operator company. Based on the essence of technical development, the system links of the relevant projects with programs and portfolios with different content and level of implementation were identified, as well.*

**Keywords:** project, program, technical development, system, links

**Леонт'єва А.І.** – аспірант, Одеський Національний Морський Університет.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 02.03.2018.

УДК [629.463.62:656.073.235]-047.58

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ВАГОНА- ПЛАТФОРМИ ЗЧЛЕНОВАНОГО ТИПУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПОРОМІ

Ловська А. О.

## MODELING THE DYNAMIC LOADING OF AN ARTICULATED WAGON-PLATFORM AT TRANSPORTATION ON A RAILWAY FERRY

Lovska A. O.

*Наведені результати математичного та комп'ютерного моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі морем. Визначено величини прискорень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи при коливаннях залізничного порому. Проведені дослідження сприятимуть створенню вагонів-платформ зчленованого типу нового покоління з покращеними техніко-економічними показниками та адаптованими до перевезення на залізничних поромках.*

**Ключові слова:** вагон-платформа, моделювання, навантаженість конструкції, прискорення, комбіновані перевезення.

**Вступ.** Географічне розміщення України на стику міжнародних транспортних коридорів зумовлює її участь у перевезеннях між країнами Європи та Азії. Для підвищення ефективності перевізного процесу набули поширення комбіновані транспортні системи, найбільш перспективними серед яких є залізнично-поромні та контейнерні.

На сьогоднішній день одним з найбільш затребуваних видів рухомого складу при комбінованих перевезеннях є вагони-платформи, а також вагони-платформи зчленованого типу або секційні. Конструкційною особливістю таких вагонів є те, що вони складаються з двох окремих секцій, які спираються на три візки. Україна також має досвід виготовлення та успішної експлуатації таких вагонів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження міцності вагона-платформи нового покоління з поворотною рамою для перевезення контейнерів та завантаження-розвантаження їх за системою ACTS наведені в [1]. Розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-платформи при навантаженні її контейнерами проведений за методом скінчених елементів в середовищі програмного забезпечення Nastran.

Визначення показників міцності вагона-

платформи для перевезення контейнерів та завантаження-розвантаження їх за системою ACTS проводиться в [2]. При цьому розрахунок на міцність проведений у статичі в середовищі програмного забезпечення Nastran. Чисельні значення розрахункових навантажень, які діють на вагон-платформу прийняті у відповідності до нормативів PNEN12663 та BN – 77/3532 – 40. Міцність вагона-платформи визначалася з урахуванням чотирьох схем навантажень її конструкції:

- стискуючих зусиль у 2 МН за осями буферів;
- стискуючих зусиль у 0,4 МН, прикладених за діагоналлю на рівні буферів;
- зусилля розтягування у 1 МН за осями буферів;
- вертикального інерційного навантаження, що діє на несучу конструкцію вагона-платформи з урахуванням прискорення 1,95 g.

Особливості дослідження динамічних якостей зчленованого вагона-платформи на математичних моделях розглядаються у [3]. В статті наведені оцінка власних форм коливань та стійкості незбуреного руху, дослідження динамічних якостей на нелінійній моделі зчленованого вагона-платформи.

Перспективи удосконалення несучих конструкцій кузовів вагонів на сучасному етапі розвитку розглянуті у [4, 5]. При цьому розрахунок на міцність несучих конструкцій кузовів вагонів проводився при нормативних експлуатаційних режимах навантаження.

Конструкційні особливості вагона-платформи для інтермодальних перевезень розглянуті у [6]. Описані загальні вимоги по організації технології інтермодальних перевезень, а також визначені їх переваги.

Важливо зазначити, що у розглянутих роботах питанню динамічної навантаженості несучих

конструкцій кузовів вагонів при перевезенні на залізничних поромках уваги не приділялося.

**Мета статті.** Метою роботи є висвітлення особливостей моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні задачі:

- математичне моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі;
- комп’ютерне моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі;
- перевірка адекватності розроблених моделей.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для визначення прискорень, як складових динамічного навантаження несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу, завантаженого контейнерами при перевезенні на залізничному поромі, складено математичну модель, яка враховує кутові переміщення елементів системи (“залізничний пором – вагон-платформа – контейнер”) навколо повздожньої осі (крен), як випадку найбільшої навантаженості несучої конструкції вагона, а також забезпечення його стійкості відносно палуби (рис. 1) [7, 8].

При визначенні моменту сил, що виникає між вагоном-платформою та палубою взята до уваги горизонтальна складова ваги брутто з урахуванням сили тертя між складовими вагона (буксовий вузол відносно осі колісної пари, рама візка відносно буксового вузла, переміщення п’ятника по підп’ятнику тощо [9]). При визначенні моменту сил між вагоном-платформою та контейнером до уваги прийнята горизонтальна складова ваги брутто контейнера, сили тертя між фітинговим упором та фітингом, а також геометрія фітингового упору.

Для розв’язання диференціальних рівнянь (1-3) складено програму розрахунку в середовищі пакету Mathcad [10, 11], для чого воно зводилося до нормальної форми Коші, після чого інтегрувалися за методом Рунге – Кутти.

Загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу, складала близько 0,4g.

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

$$I_{впф}^\theta \cdot \ddot{q}_2 = p'_{впф} \cdot \frac{h_{впф}}{2} + M_{впф}^\Pi + M_{впф}^K, \quad (2)$$

$$I_K^\theta \cdot \ddot{q}_3 = p'_K \cdot \frac{h_K}{2} + M_K^{впф}, \quad (3)$$

де  $q_1 \approx \theta_n$  – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздожньої осі залізничного порому;  $q_2 \approx \theta_e$  – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздожньої осі вагона-платформи;  $q_3 \approx \theta_x$  – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздожньої осі контейнера. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому.

**для залізничного порому:**

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

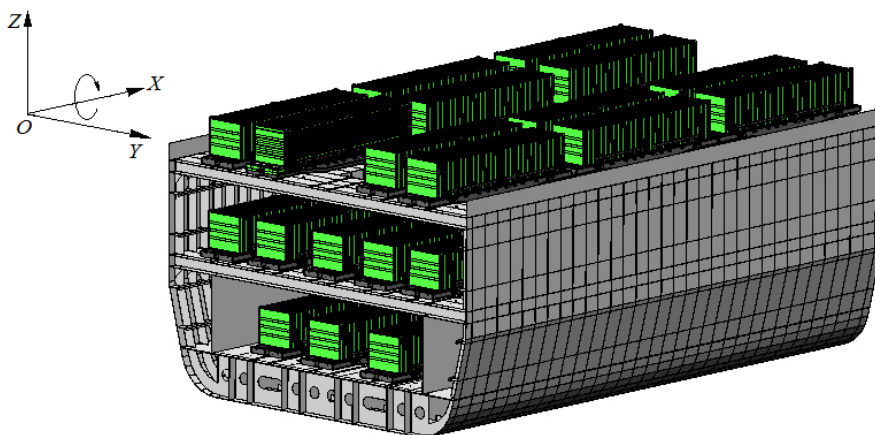


Рис. 1. Розміщення вагонів-платформ, завантажених контейнерами відносно палуб залізничного порому

**для вагона-платформи з контейнерами:**

$I_{впф}^0$  – момент інерції вагона-платформи;  $h_{впф}$  – висота бокової поверхні вагона-платформи;  $p'_{впф}$  – вітрове навантаження на бокову поверхню вагона-платформи;  $M_{впф}^I$  – момент сил, що виникає між вагоном-платформою та палубою залізничного порому при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі;  $M_{впф}^K$  – момент сил, що виникає між вагоном-платформою та контейнерами при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі;  $I_K^0$  – момент інерції контейнера;  $h_K$  – висота бокової поверхні контейнера;  $p'_K$  – вітрове навантаження на бокову поверхню контейнера;  $M_K^{впф}$  – момент сил, що виникає між контейнером та вагоном-платформою при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі.

Також дослідження динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі проводилося шляхом комп'ютерного моделювання за методом скінчених елементів, реалізованого в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks [12].

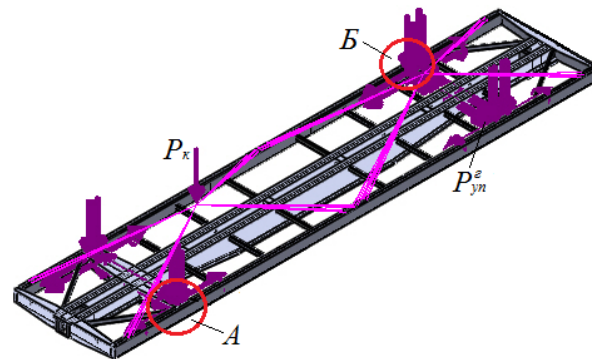
Розрахунок проведений стосовно вагона-платформи зчленованого типу, конструкційні особливості якого розглянуті у [13].

Закріплення моделі здійснювалося у зонах обпирання несучої конструкції на візки та робочі поверхні механічних упор-домкратів. Для цього на рамі вагона-платформи встановлювалися накладки круглої форми, діаметр яких дорівнює діаметру робочої поверхні упор-домкрата.

В якості матеріалу несучої конструкції вагона-платформи застосовано сталь марки 09Г2С зі значенням межі плинності 345 МПа та межі міцності 490 МПа [14, 15].

Враховано, що на несучій конструкції вагона-платформи розміщується чотири контейнери типорозміру 1СС, тобто по два на кожній секції.

При складанні моделі міцності несучої конструкції вагона-платформи до уваги прийняте вертикальне навантаження у зонах обпирання контейнерів на фітингові упори  $P_k$ , що розглянуто у вигляді дистанційного, рівнодіюча якого знаходиться у центрі ваги контейнера; горизонтальне, яке діє на фітингові упори вагона-платформи від фітингів контейнерів при їх кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі  $P_{yn}^z$ ; зусилля від ланцюгових стяжок на вузли для закріплення відносно палуби  $P_{лс}^i$ . Оскільки ланцюгова стяжка має просторове розміщення, то зусилля, що діє на вузол закріплення від неї розкладалося на три складові (рис. 2).



А (збільшено)

Б (збільшено)

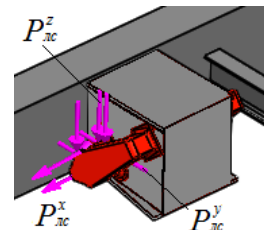
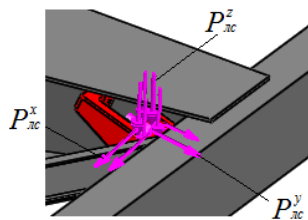


Рис. 2. Модель міцності несучої конструкції секції вагона-платформи зчленованого типу з вузлами для закріплення відносно палуби залізничного порому

Для визначення оптимальної кількості елементів сітки застосований графоаналітичний метод. Кількість вузлів сітки склала 148723, елементів – 462131. Максимальний розмір елементу дорівнює 200 мм, мінімальний – 40 мм. Максимальне співвідношення боків – 6182,6, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 13,4, більше 10 – 33,7. Мінімальна кількість елементів в колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7.

Результати комп'ютерного моделювання наведені на рис. 3, а, б.

При цьому встановлено, що максимальне значення прискорення, яке діє на секцію вагона-платформи зчленованого типу виникає у середній

частині основних повздовжніх балок рами та складає 3,42 м/с<sup>2</sup> (0,35g).

Для перевірки адекватності розроблених моделей використаний F-критерій [16]:

$$F_p = \frac{S_{ao}^2}{S_y^2}, \tag{4}$$

Дисперсія адекватності знаходилася за формулою:

$$S_{ao}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^p)^2}{f_i}, \tag{5}$$

де  $y_i^p$  – розрахункове значення величини, отриманої шляхом моделювання;

$f_i$  – кількість ступенів вільності.

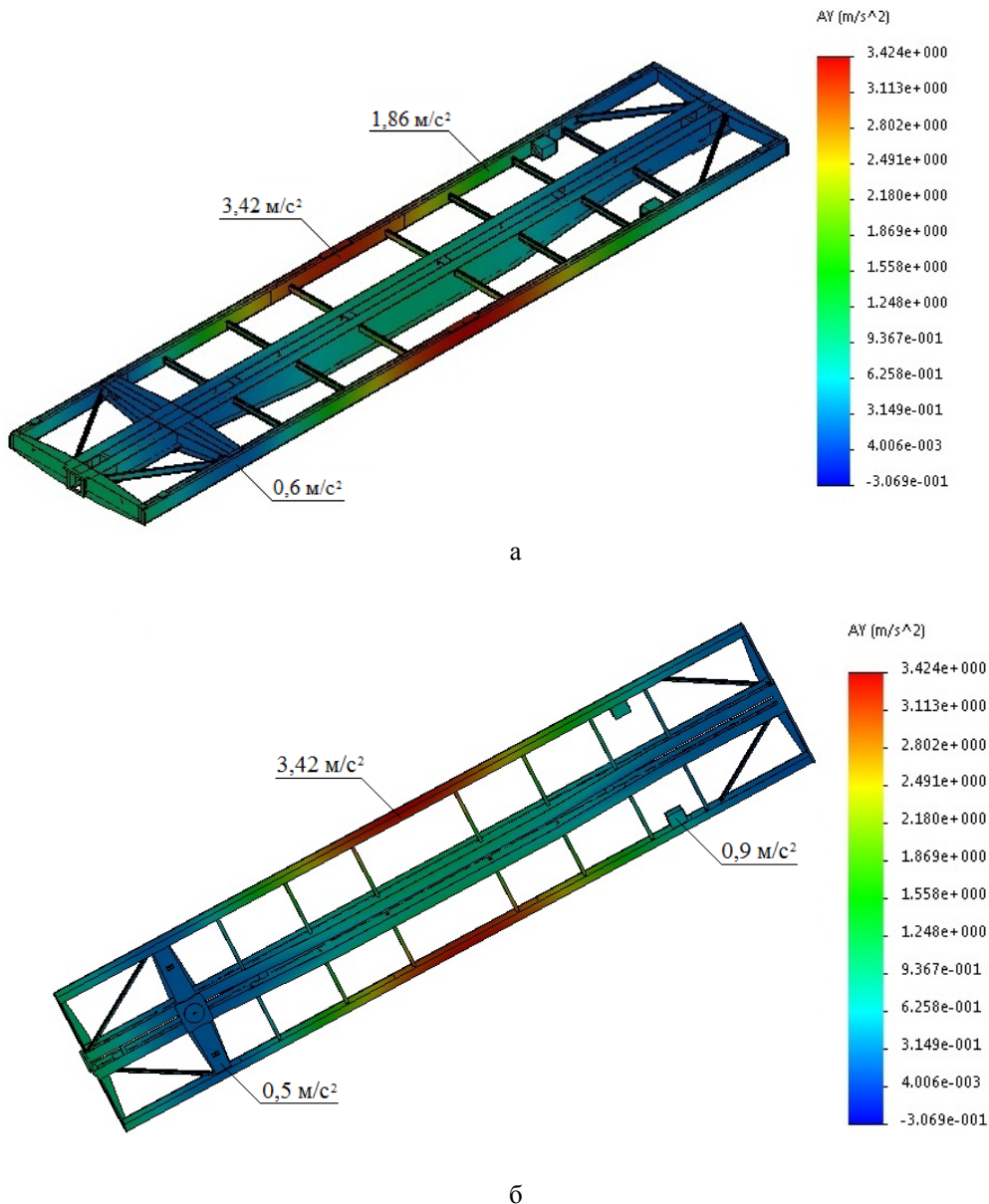


Рис. 3. Прискорення, які діють на несучу конструкцію секції вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі: а – вид збоку; б – вид знизу

$$f_i = N - q, \quad (6)$$

де  $N$  – кількість дослідів в матриці планування;

$q$  – кількість коефіцієнтів рівняння.

Дисперсія відтворюваності визначалася за формулою:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n S_i^2, \quad (7)$$

де  $S_i^2$  – дисперсія в кожній строці, де проводилися паралельні експерименти.

Встановлено, що модель, яка розглядається, є лінійною та характеризує зміну прискорень несучої конструкції вагона-платформи від кута крену залізничного порому. При цьому кількість ступенів вільності при  $N = 5$  буде складати  $f_1 = 3$ .

При визначенні адекватності моделі з урахуванням наявності зазорів між фітінговими упорами та фітінгами встановлено, що при дисперсії відтворюваності  $S_y^2 = 0,12$  та дисперсії адекватності  $S_{ав}^2 = 0,51$ , фактичне значення  $F$ -критерію  $F_p = 4,24$ , що менше табличного значення критерію  $F_t = 5,41$ . Отже гіпотеза про адекватність розробленої моделі не заперечується. Похибка апроксимації при цьому склала 5,37%.

## 6. Висновки

1. Проведені дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами при перевезенні на залізничному поромі шляхом математичного моделювання. Загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу зчленованого типу, склала близько 0,4g;

2. Дослідження динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі проведено також шляхом комп'ютерного моделювання. Встановлено, що максимальні прискорення виникають у середній частині основних повздовжніх балок рами вагона-платформи та складають 3,42м/с<sup>2</sup> (0,35g);

3. Результати перевірки адекватності розробленої моделі дозволили зробити висновок, що гіпотеза про адекватність не заперечується;

4. При проектуванні вагонів-платформ нового покоління для перевезення з'ємних транспортних одиниць та контейнерів необхідно враховувати уточнені величини прискорень, які можуть діяти на них при експлуатації не тільки відносно рейкових колій, а і при перевезенні на залізничному поромі, що дозволить забезпечити міцність їх несучих конструкцій при експлуатації в напрямку міжнародних транспортних коридорів.

## Література

- 1 Karol, Chlus. Dynamic analysis of railway platform chassis model [Text] / Karol Chlus, Wieslaw Krason // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2011. – Vol. 18, No. 2. – P. 93 – 100.
- 2 Karol, Chlus. Numerical standard tests of railway carriage platform [Text] / Karol Chlus, Wieslaw Krason // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2012. – Vol. 19, No. 3. – P. 59 – 64.
- 3 Рудакова, Е. А. Исследование динамических качеств сочлененного вагона-платформы на математических моделях / Е. А. Рудакова, А. М. Орлова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 23. – С. 85 – 88.
- 4 Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model [Text] / O.V. Fomin // Metallurgical and Mining Industry. – 2015, №1. – P. 45 – 48.
- 5 Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas [Text] / M. Kelrykh, O. Fomin // Metallurgical and Mining Industry. – 2014, №6. – P.64 – 67.
- 6 Mirosław, Nader. Kolejowy wagon transportowy jako nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne do przewozu naczep siodłowych i zestawów drogowych dla transportu intermodalnego [Text] / Mirosław Nader, Marian Sala, Jarosław Korzeb, Arkadiusz Kostrzewski // Logistyka. – 2014. – №4. – P. 2272 – 2279.
- 7 Ловська, А. О. Дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи з контейнерами при перевезенні на залізничному поромі / А. О. Ловська // Залізничний транспорт України – 2017. – № 2. – с. 16 – 20.
- 8 Ловська, А. О. Визначення навантаженості контейнерів у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом / А. О. Ловська // Зб. наук. праць. ДНУЗТа: ДПТ. – 2017. – Вип. 6 (72) – с. 49 – 60.
- 9 Конструирование и расчет вагонов / В. В. Лукин, Л. А. Шадур, В. И. Котуранов, А. А. Хохлов, П. С. Анисимов. – Москва : УМК МПС России, 2000. – 731 с.
- 10 Дьяконов, В. MATHCAD 8/2000: специальный справочник В. Дьяконов. – СПб: Питер. – 2000. – 592 с.
- 11 Кирьянов, Д. В. Mathcad 13 [Текст] / Д. В. Кирьянов. – СПб.: БХВ – Петербург. – 2006. – 608 с.
- 12 Алямовский, А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов [Текст] / А. А. Алямовский. – М.: ДМК. – 2007. – 784 с., ил. (Серия “Проектирование”).
- 13 Ловська А. О. Визначення показників міцності несучих конструкцій кузовів вагонів-платформ зчленованого типу при перевезенні на залізничних пороммах [Текст] / А. О. Ловська // Зб. наук. праць. ДЕУТ: ДЕУТ. – 2017. – Вип. 31. – с. 82 – 92.
- 14 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст] / М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ. – 1996. – 319 с.
- 15 Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. ГОСТ 33211-2014. – [Действителен от 22.12.2014] – М.: Стандартиформ, 2016. – 54 с.
- 16 Чернова Н. И. Математическая статистика [Текст] / Н. И. Чернова. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск. – 2007. – 148 с.

## References

- 1 Karol, Chlus. Dynamic analysis of railway platform chassis model [Text] / Karol Chlus, Wieslaw Krason // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2011. – Vol. 18, No. 2. – P. 93 – 100.
  - 2 Karol, Chlus. Numerical standard tests of railway carriage platform [Text] / Karol Chlus, Wieslaw Krason // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2012. – Vol. 19, No. 3. – P. 59 – 64.
  - 3 Rudakova, E. A. Issledovanie dinamicheskikh kachestv sochlenennogo vagona-platformy na matematicheskikh modelyakh / E. A. Rudakova, A. M. Orlova // Visn. Dnipropetr. nats. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazaryana. – Dnipropetrovsk, 2008. – Vip. 23. – S. 85 – 88.
  - 4 Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model [Text] / O.V. Fomin // Metallurgical and Mining Industry. – 2015, №1. – P. 45 – 48.
  - 5 Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas [Text] / M. Kelrykh, O. Fomin // Metallurgical and Mining Industry. – 2014, №6. – P.64 – 67.
  - 6 Mirosław, Nader. Kolejowy wagon transportowy jako nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne do przewozu naczeł siodłowych i zestawów drogowych dla transportu intermodalnego [Text] / Mirosław Nader, Marian Sala, Jarosław Korzeb, Arkadiusz Kostrzewski // Logistyka. – 2014. – №4. – P. 2272 – 2279.
  - 7 Lovska, A. O. Doslidzhennya dinamichnoyi navantazhenosti vagona-platformi z konteynerami pri perevezenni na zaliznichnomu poromi / A. O. Lovska // Zaliznichniy transport Ukrayini – 2017. – № 2. – s. 16 – 20.
  - 8 Lovska, A. O. Vznachennya navantazhenosti konteyneriv u skladi kombinovanih poyizdiv pri perevezenni zaliznichnim poromom / A. O. Lovska // Zb. nauk. prats. DNUZTA: DIIT. – 2017. – Vip. 6 (72) – s. 49 – 60.
  - 9 Konstruirovaniye i raschet vagonov / V. V. Lukin, L. A. Shadur, V. I. Koturanov, A. A. Hohlov, P. S. Anisimov. – Moskva : UMK MPS Rossii, 2000. – 731 s.
  - 10 Dyakonov, V. MATHCAD 8/2000: spetsialnyiy spravochnik V. Dyakonov. – SPb: Piter. – 2000. – 592 s.
  - 11 Kiryanov, D. V. Mathcad 13 [Tekst] / D. V. Kiryanov. – SPb.: BHV – Peterburg. – 2006. – 608 s.
  - 12 Alyamovskiy, A. A. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Inzhenernyiy analiz metodom konechnykh elementov [Tekst] / A. A. Alyamovskiy. – M.: DMK. – 2007. – 784 s., il. (Seriya “Proektirovaniye”).
  - 13 Lovska A. O. Vznachennya pokaznikov mitsnosti nesuchih konstruktsiy kuzoviv vagoniv-platform zchlenovanogo tipu pri perevezenni na zaliznichnih poromah [Tekst] / A. O. Lovska // Zb. nauk. prats. DETUT: DETUT. – 2017. – Vip. 31. – s. 82 – 92.
  - 14 Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyih dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyih) [Tekst] / M.: GosNIIV – VNIIZhT. – 1996. – 319 s.
  - 15 Vagonyi gruzovyye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. GOST 33211-2014. – [Deystvitelen ot 22.12.2014] – M.: Standartinform, 2016. – 54 s.
  - 16 Chernova N. I. Matematicheskaya statistika [Tekst] / N. I. Chernova. – Novosibirsk: Novosib. gos. un-t. Novosibirsk. – 2007. – 148 s.
- Ловская А. А. Моделирование динамической нагруженности вагона платформы сочлененного типа при перевозке на железнодорожном пароме**
- Приведены результаты математического и компьютерного моделирования динамической нагруженности вагона-платформы сочлененного типа при перевозке на железнодорожном пароме морем. Определены величины ускорений, действующие на несущую конструкцию вагона-платформы при колебаниях железнодорожного парома. Проведенные исследования будут способствовать созданию вагонов-платформ сочлененного типа нового поколения с улучшенными технико-экономическими показателями и адаптированными к перевозке на железнодорожных паромах.*
- Ключевые слова:** вагон-платформа, моделирование, нагруженность конструкции, ускорения, комбинированные перевозки.
- Lovska A. O. Modeling the dynamic loading of an articulated wagon-platform at transportation on a railway ferry**
- The results of mathematical and computer simulation of the dynamic loading of an articulated wagon-platform are shown at transportation on a railway ferry by sea. The values of the accelerations acting on the load-carrying structure of the wagon –platform are determined at the railway ferry oscillations. The conducted researches will contribute to the creation of new generation wagon-platforms with improved technical and economic indicators and adapted to transportation on railway ferries.*
- Keywords:** wagon-platform, modeling, structural loading, acceleration, combined transport.
- Ловська А. О.** – к.т.н., доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: alyonalovskaya.vagons@gmail.com.
- Рецензент:* д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**
- Стаття подана 02.03.2018.

УДК 62-597.3

## ГАЛЬМІВНА КОЛОДКА ТА ШЛЯХИ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

Могила В.І., Алдокімов М.Г

### BRAKE SHOE AND WAYS TO IMPROVE

Mogila V.I., Aldokimov M.G.

*У даній статті розглянуті методи удосконалення гальмівної колодки. Наведено особливості різновидів гальмівної колодки та матеріалу з яких вони виготовлені, а також конструкторсько-технологічна зміна властивостей.*

**Ключові слова:** залізничний рухомий склад, гальмівна колодка, охолодження, фрикційна якість, експлуатаційні характеристики, надійність та довговічність.

**Введення.** Існує багато новітніх розробок які відносяться до рухомого складу. Велику роль відіграють нові пропозиції щодо гальмівної системи, але основною проблемою є удосконалення гальмових колодок, що є важливою та актуальною.

**Постановка проблеми.** Надійна робота гальмівного обладнання дозволяє підвищити швидкість та безпеку руху транспортного засобу. Використання передових технологій, особливо в гальмівній системі, сприяє ресурсозбереженню при експлуатації рухомого складу. Від матеріалу і конструкційних особливостей гальмівних колодок в значній мірі залежить ефективність роботи всієї гальмівної системи. Проблема досягнення максимального ефекту полягає в суперечливості вимог, яким повинні відповідати конструктивні елементи гальм. Наприклад, одним з основних параметрів фрикційних елементів гальмівної системи є коефіцієнт тертя - використання фрикційних матеріалів з високим коефіцієнтом тертя може приводити до підвищеного зносу трибоконтакту елементів взаємодії, а з низьким – до зниження ефективності гальмування, збільшення величини гальмівного шляху. Відповідно при проектуванні, виготовленні та експлуатації необхідно проводити оцінку найвигіднішого матеріалу й конструкції з урахуванням економічної ефективності та зменшення ризику виникнення аварійної ситуації від ненадійної роботи гальм. (2)

**Ціль статті.** Аналіз шляхів удосконалення гальмівної колодки та пропозиція для практичної реалізації.

**Результати досліджень.** В даному випадку було розглянуто два напрямки удосконалення гальмівної колодки.

Першим напрямком удосконалення є заміна матеріалу з якого виготовляються гальмівні колодки.

Гальмівні колодки поділяють на категорії за типом матеріалу, з якого вони зроблені, і формою виконання. Відповідно до першої в нашій країні випускаються такі види колодок: чавунні стандартні, композиційні та чавунні з підвищеним вмістом фосфору (фосфористий) і секційні. (3)

*Чавунні стандартні* колодки застосовують на пасажирських вагонах, що звертаються зі швидкостями до 120 км / год, і локомотивах. До переваг цих фрикційних елементів відносяться хороше відведення виділяється при гальмуванні тепла і відсутність впливу вологи на коефіцієнт тертя. У той же час такі колодки мають істотно нестабільний, коефіцієнт тертя, знижується зі зростанням швидкості. Це, зокрема, призводить до необхідності застосування на швидкісному рухомому складі регуляторів сил натискання колодок залежно від швидкості руху. Крім того, чавунні колодки швидко зношуються, що вимагає великого обсягу робіт по заміні і регулюванні важільних передач. (3)

*Композиційні* гальмівні колодки застосовують на всіх вантажних, а також на пасажирських вагонах, які експлуатуються при швидкостях понад 120 км/ч. Їх виготовляють за певною технологією з асбокаучукових матеріалів з додаванням бариту, сажі і вулканизуючого складу методом напресування на металевий каркас. Вони в 3-5 разів більш зносостійкий, ніж чавунні, що відповідно знижує обсяг робіт по заміні і регулюванню важільних передач, і володіють підвищеними стабільністю і величиною коефіцієнта тертя щодо швидкості руху. Це збільшує гальмівну ефективність поїздів, полегшує ТРП і зменшує витрату стисненого повітря, витраченого на

гальмування завдяки знизеним зусиллям, що розвиваються в ній, поліпшує керуваність поїздів.(2)

До недоліків цих колодок відносяться поганий відвід тепла і, як наслідок, несприятливі температурні режими на поверхні катання коліс, що викликають їх пошкодження у вигляді наварів, зрушень металу, мікротріщин і т. д. Їх не застосовують на бандажних (локомотивних) колесах з причини перегріву, ослаблення і можливого сповзання бандажа. Крім цього, при зволоженні, особливо в зимовий період через заметілей і снігопадів, композиційні колодки звожуються і замерзають, що вимагає періодичного включення гальм для їх просушування. (1)

*Чавунні колодки з підвищенням вмістом фосфору* (до 1,5 %) на 25-30% більш зносостійкі, ніж стандартні, володіють більш високим і стабільним коефіцієнтом тертя, але іскрять при гальмуванні. З цієї причини їх не застосовують на рухомому складі з дерев'яними конструкціями і використовують в основному на електропоїздах.(4)

Секційні чавунні колодки на вагонах і локомотивах, що рухаються у поїздах зі швидкістю більше 120 км/год і оснащених швидкісними регуляторами натиснення.(4)

Фірмою «Lombard Industrial» (Чехія) розроблені і випускаються секційні металокерамічні гальмові колодки. За розмірами вони мають довжину 250 мм, ширину 80 мм і товщину 60 мм (для локомотивів) та довжину 330 мм, ширину 80 мм і товщину 55 мм (для вагонів). Ці колодки взаємозамінні з секційними (дві короткі колодки в одному гальмовому башмаку) чавунними, використовуваними на пасажирських вагонах міжнародного сполучення габариту RIC і на чеських електровозах типу ЧС. Колодка виготовляється з бронзово-графітового матеріалу «Діафрікт-К4» з високим вмістом керамічних компонентів і штучного графіту. Для швидкого досягнення повного контакту гальмової колодки з колесом на ній є зовнішній шар завтовшки 3 мм з бронзово-графітового фрикційного матеріалу зниженої зносостійкості, але хорошої гальмівної ефективності для швидкого припрацювання до поверхні кочення колеса.(4)

На даний момент найбільш розповсюдженні в використанні композиційні гальмівні колодки, так як вони мають більш високий коефіцієнт тертя, менше зусилля натискання і зносостійкість, в кілька разів більш високий термін служби, менша вага, вартість, а також забезпечують безшумне і плавне гальмування поїзда. (2)

Другим напрямком є конструкторсько-технологічна зміна властивостей гальмівної колодки.

До конструкторсько-технологічних властивостей входять: зміна форми, розмірів, зміна гнучкості, ваги, властивостей вихідного матеріалу з метою одержання виробу відповідного до заданих вимог. Всі ці зміни значно покращують колодку, збільшують надійність, міцність, зменшують знос.

Але основною проблемою залишається охолодження гальмівних колодок.

Тому Східноукраїнським національним університетом ім. В.Даля було запропоновано удосконалення гальмівної колодки, а саме вирішенням проблеми її охолодження.

Відомо, що гальмівна колодка залізничного рухомого складу, складається з тіла гальмівної колодки та вушка. [ГОСТ 1205-73].

Поставлена задача вирішується тим, що в гальмівній колодці було зроблену порожнину, котра заповнена декількома теплоносіями з різними теплофізичними характеристиками пов'язаними температурою кипіння, сублімацією, кристалізацією і пароутворенням завдяки ефекту фазових переходів.

В процесі тертя (гальмівна колодка – колесо) гальмування, гальмівна колодка нагрівається. При зміні критичних температур охолоджуючі рідини котрі знаходяться в порожнині гальмівної колодки починають послідовне включення своїх властивостей.

Гальмівна колодка з багатоконпонентною начинкою дозволить зменшити температуру контактних поверхонь колодки, тим самим скоротити її знос, руйнування та підвищити її надійність.

**Висновок.** Запропонований варіант гальмової колодки з інтенсивним охолодженням дозволить зменшити витрати на матеріал гальмівної колодки, збільшиться довговічність, надійність, та зменшиться знос колодок.

#### Л і т е р а т у р а

1. Б.А.Ширяев. Производство тормозных колодок из композиционных материалов для железнодорожных вагонов. М. Химия, 1982 г. – 87 с.
2. Галай Э.И. Тормоза локомотивов и вагонов: проблемы и перспективы: Учебн. пособие. – Гомель: Изд-во БелИИЖТ, 1992. – 71 с.
3. Крылов В.И., Крылов В.В. Автоматические тормоза подвижного состава: Учебник для учащихся техникумов ж.-д. трансп.- 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Транспорт, 1983.-360 с., ил., табл.
4. Красиков Г.В. Повышение ресурса чугунных тормозных колодок локомотива: Молодой ученый. — 2011.—№2.Т.1.—С.35-38.

#### R e f e r e n c e s

1. B. A. Shiryayev. Manufacture of brake pads made of composite materials for railway cars. M. Chemistry, 1982 – 87 p.
2. Galay E.I. Brake locomotives and cars: problems and perspectives: Training. allowance - Gomel: Publishing house of BelIIZhT, 1992. - 71 p.
3. Krylov VI, Krylov V.V. Automatic rolling stock brakes: Textbook for students of technical schools of railway. trans. 4 th ed., pererab. And add - M .: Transport, 1983.- 360 pp., Ill., Table.
4. .Krasikov G.V. Increase in the resource of the cast-iron brake pads of the locomotive — 2011. — №2. Т.1. — С.35-38

**Могіла В.І., Алдокімов М.Г Тормозная колодка и пути ее усовершенствования.**

*В данной статье рассмотрены методы совершенствования тормозной колодки. Приведены особенности разновидностей тормозной колодки и материала из которых они изготовлены, а также конструкторско-технологическая изменение свойств.*

**Ключевые слова:** железнодорожный подвижной состав, тормозная колодка, охлаждения, фрикционная качество, эксплуатационные характеристики, надежность и долговечность.

**Mogila V.I., Aldokimov M. G Brake shoe and ways to improve it**

*In this article methods of improving the brake pad. The features of varieties of brake pad and material from which they are made, as well as design and technological change of properties are given.*

**Keywords:** railway rolling stock, brake pad, cooling, friction quality, performance, reliability and durability.

**Могіла В.І.** – к.т.н., проф. Кафедри залізничного автомобільного транспорту, підйомних і транспортних систем СНУ ім. В.Даля

**Алдокімов М.Г.** – аспірант

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 07.03.2018.

УДК 620.1.08

## РОЗРОБКА ТЕНЗОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОТКОБАЗОВИХ БУДІВЕЛЬНИХ ТА ДОРОЖНИХ МАШИН

Мусаєв З.Р.

### DEVELOPMENT OF A TENSOMETRIC SYSTEM FOR THE STUDY OF SMALL-SIZED CONSTRUCTION AND ROAD MACHINERY

Musaiev Z.R.

*Актуальність роботи пов'язана із тенденцією розвитку інформаційних технологій та впровадженні їх у дослідження робочих процесів машин та механізмів. Робота є частиною комплексного дослідження, присвяченого проектуванню та дослідженню пристрою запису сигналів від датчиків, встановлених на металоконструкції дорожніх машин.*

*Ключові слова:* тензометрична система; плата введення; ацп; мікросхема; вимірювальний комплекс.

**Вступ.** Робота присвячена створенню плати введення для оцифровки сигналів, що надходять від тензорезисторів.

ЕОМ можуть успішно взяти на себе управління експериментом. Вони можуть бути ефективні при підготовці звітів і документації як компоненти вбудованої підсистеми. У багатьох випадках на комп'ютери можливо покласти підтримку бази експериментальних даних.

Персональні ЕОМ можуть виступати в якості технічного засобу для побудови інформаційно-пошукових, бібліографічних та експертних систем.

Ефективність застосування електронних машин в автоматизації наукових досліджень полягає в тому, що в кілька разів скорочується цикл досліджень (експериментів) за рахунок прискорення підготовки і проведення експерименту, оперативного використання результатів експрес-аналізу, проведеного в реальному масштабі часу, скорочення часу обробки та систематизації даних, зменшенні числа помилок при вимірі і обробці, збільшується також точність результатів і їх достовірність, підвищується якість та інформативність експерименту за рахунок збільшення числа контрольованих параметрів і більш ретельній обробці даних.

**Аналіз публікацій.** Розробка нової тензометричної системи дозволяє значно спростити процес дослідження, та як наслідок, суттєво прискорити обробку отриманих даних.

Удосконалення цілого ряду типових вимірювальних систем зустрічається у працях багатьох вчених, таких як: І. А. Радкевича, В.Н. Задкова, В. А. Махеда, Н. А. Виноградова, Г. А. Фомина, А. Кобаяси, С. О. Hulse та ін.

**Мета і постановка задачі.** Метою роботи є підвищення ефективності і скорочення строків проектування БДМ за рахунок використання автоматизованої системи наукових досліджень (АСНД).

**Програмне забезпечення автоматизованих експериментальних систем.** Поява швидкодіючих, малогабаритних ЕОМ з досить великими пристроями, що запам'ятовують уможливило впровадження систем збору, оперативної обробки, накопичення результатів наукових досліджень, управління експериментом. Одночасно з'ясувалося, що розвиток робіт з програмного забезпечення АСНД явно відстає від прогресу технічних засобів в таких системах. Вартість розробки програм становить все більшу частку загальних витрат на створення АСНД. Саме тому, особливо важливим є завдання підвищення ефективності програмного забезпечення. Для вирішення цього завдання в процесі проектування систем необхідно знати і правильно використовувати вже наявні програмні засоби: операційні системи, системи управління базами даних, пакети прикладних програм.

Новостворювана частина програмного забезпечення повинна задовольняти ряду вимог, в тому числі, виконувати задані умови по вибору функцій, що реалізуються, швидкодії, обсягу використовуваної оперативної пам'яті, надійності, мобільності. Програма повинна вміти підтримувати діалог з користувачем на мові, близькій до природної мови предметної області досліджень, і представляти інформацію у вигляді, зручному для інтерпретації (таблиці, графіки, зображення).

Для зменшення витрат на розробку прикладного програмного забезпечення

використовують інструментальні програмні засоби. При цьому знижуються витрати і на супровід ПЗ. Це особливо важливо в АСНД, де програмне забезпечення в процесі експлуатації постійно модифікується і розширюється.

**Пристрій плати введення.** Плата введення складається з 25 мікросхем, які напаяні на ній і з'єднані між собою проводами, а також є два роз'єми Ш 1 і Ш 2, що показано на рис. 1.

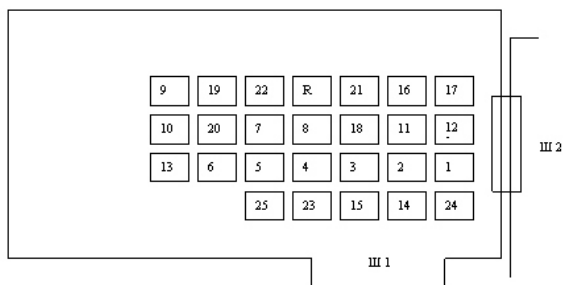


Рис. 1. Вид на плату введення

1-мікросхема D1-K555 ЛА2; 2-мікросхема D2-K555 ЛА2; 3-мікросхема D3-K555 ЛН1; 4-мікросхема D4-K555 ЛА1; 5-мікросхема D5-K155 ЛА1; 6-мікросхема D6-K155 АГ3; 7-мікросхема D7-K555 ЛА3; 8-мікросхема D8-K555 ТМ2; 9-мікросхема D9-K555 ТМ2; 10-мікросхема D10-K155 ІД4; 11-мікросхема D11-K155 ЛА11; 12-мікросхема D12-K555 ТМ7; 13-мікросхема D13-K555 ЛЕ1; 14-мікросхема D14-K555 ІР22; 15-мікросхема D15-K555 ІР22; 16-мікросхема D16-K561 КР2; 17-мікросхема D17-K561 КР2; 18-мікросхема D18-K555 ЛН1; 19-мікросхема D19-K555 ЛН1; 20-мікросхема D20-K555 ЛН1; 21-мікросхема D21-K544 УД2А; 22-мікросхема D22-K1113 ПВ1; 23-мікросхема D23-K1006 ВІ1; 24-мікросхема D24-K1533 АП6; 25-мікросхема D25-K1006 ВІ1

Як видно, з (рис. 1), в основному застосовуються мікросхеми серії 555. Відмінною особливістю даної серії є її порівняно висока швидкодія, що пов'язана із застосуванням діодів Шотткі, і мала споживана потужність. Ці діоди формуються за допомогою створення контакту між базовою металізацією і колекторною областю п-типу кожного транзистора ТТЛ-схеми, в результаті чого утворюється діодна структура метал-кремнію, що підключається до колектора. Такий діод має більш низьке пряме падіння напруги, ніж кремнієвий р-п перехід, і практично не містить не основних носіїв. Діоди Шотткі, які є елементами нелінійного зворотного зв'язку, відбирають надлишковий струм бази, запобігаючи насичення транзисторів. У зв'язку з цим в транзисторах не відбувається надмірного накопичення заряду, що призводить до зменшення часу перемикання ТТЛ-схеми. Напруга між колектором і емітером відкритого транзистора в схемах з діодами Шотткі дорівнює різниці між падінням напруги на переході база-емітеру (кремнієвий перехід) і падінням напруги на переході метал-напівпровідник (діод Шотткі), що призводить до деякого збільшення

напруги на виході в стані логічного «0» в порівнянні з інтегральними мікросхемами серії 155, і його максимальна величина становить 0.5В.

Десятикратне збільшення номіналів резисторів в порівнянні з серією 155 призводить до зменшення споживаної потужності.

**Опис використовуваних мікросхем.** Схема К155 ІД4 являє собою два двухразрядних дешифратора. Дешифратори мають два загальних керуючих входи D1 і D2, по два стробіруючих входи V1, V2 і V3, V4, а також по чотири виходи А0-А3 і В0-В3 на кожен дешифратор.

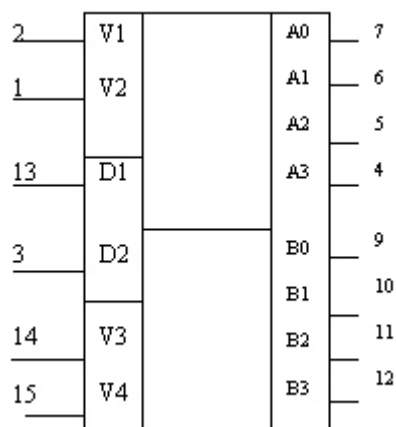


Рис. 2. Умовне позначення мікросхеми К155 ІД4

Мікросхема К155 АГ3 складається з двох незалежних схем одновібраторів, кожен з яких містить тригер-формувавч, тригер Шмітта і керуючі елементи.

Кожен одновібратор має два інформаційних входи А і В, вхід установки в «0» R прямиий і інверсний виходи Q і Q1, а також виходи С і RC для підключення часових елементів.

Запуск одновібратора здійснюється негативним перепадом напруги на вході А чи позитивним перепадом на вході В. При подачі на один з інформаційних входів імпульсу, що запускає відбувається перезаряд ємності С. Час перезарядження ємності залежить від зовнішніх часових компонентів R і С і визначає тривалість імпульсу на виході. Даний цикл повторюється кожного разу при наявності на вході імпульсу, що запускає.

Особливістю схеми К155 АГ3 є робота її в режимі повторного запуску, що дозволяє утримувати одновібратор в активному стані наступним запускаючим імпульсом, не чекаючи повернення його в початковий стан. Це дає можливість збільшити тривалість вихідного імпульсу, так як одновібратор перекладається в активного стану першим, а повертається в початковий стан після закінчення останнього запускаючого імпульсу.

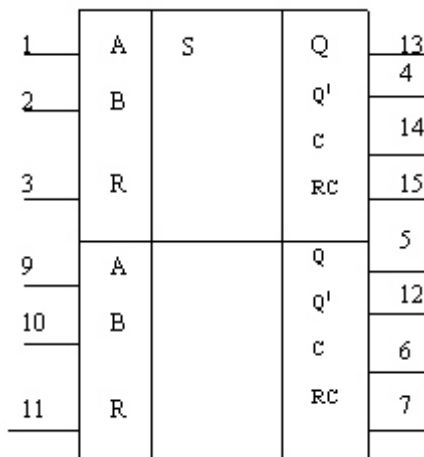


Рис. 3 Умовне позначення схеми K155 АГ3

Мікросхема K555 ТМ2 являє собою два тригери типу D, що перемикаються по позитивному фронту. Кожен тригер має інформаційний вхід D, установчі входи R і S, тактовий вхід C, прямий Q і інверсний Q1 виходи. Рівень логічного «0» на вході S встановлює тригер в одиночний стан. Інформація з входу D передається на вихід в момент переходу тактового імпульсу C зі стану логічного «0» в стан логічної «1». При цьому на вхід R повинен бути поданий рівень логічного «1».

Коли на тактовому вході C постійний рівень логічного «0» або логічної «1», то сигнал з інформаційного входу D не передається на вихід.

У даній статті приведено лише кілька використаних мікросхем з описом їх технічних характеристик, загальне число мікросхем сягає 25, всі вони напаяні на платі введення і з'єднані між собою в одну електричну схему.

Як було сказано раніше, всі 25 мікросхем напаяні на платі введення і з'єднані між собою в одну електричну схему, а фотографія зовнішнього вигляду плати введення представлена на рис. 4.

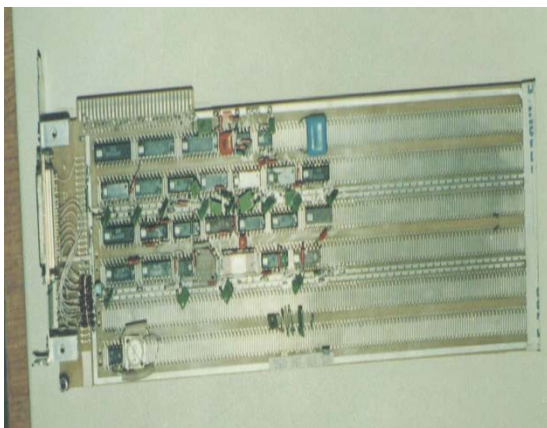


Рис. 4. Зовнішній вигляд плати введення

На початку передбачалося використовувати промислові АЦП, але в зв'язку з їх високою вартістю

і деякими іншими особливостями було прийнято рішення спроектувати плату самостійно.

Плата складається з наступних блоків

1. Комутатор восьми аналогових входів на один вихід D 17.

2. Буферний підсилювач D 21.

3. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) D 22.

4. Регістр даних отриманих з АЦП D 15.

5. Регістр номера каналу D 12, D11.1, D 11.2, D 11.3.

6. Автомат АЦП D 19, D 4.2, D 5.2, D 9, D 7.3.

7. Регістр стану D 14.

8. Автомат обміну з шиною ISA D 18.1, D 18.2, D 18.3, D 18.4, D 8.2, D 5, D 6, D 10, D 3.5, D 3.6, D 7.1, D 7.2, D 11.3, D 18.5, D 18.6, D 20.1, D20.2.

9. Дешифратор адреси D 1, D 2, D 3.1, D 3.2, D 3.3, D 3.4, D 4.1.

10. Схема формування готовності D 8.1, D 13.2, D13.3, D 13.4.

11. Генератор 1 КГц D 25.

12. Генератор тестових імпульсів D 23.

Для програміста доступні на платі три регістра:

– регістр N каналу (адреса DFFFE16) для запису N каналу;

– регістр даних (адреса DFFFF16) для зчитування даних АЦП;

– регістр стану (адреса DFFFE16) для зчитування стану.

На початку читається регістр стану – визначається, чи з'явилася тимчасова мітка 1КГц. Якщо з'явилася, то в регістр N каналу записується нуль, тобто нульовий канал. Комутатор пропускає на вхід підсилювача і далі на АЦП сигнал нульового каналу. Запускається автомат АЦП і на виході АЦП через 30 мкс, з'являється код, і він записується в регістр даних. Після зчитування з комп'ютера регістра даних в регістр N каналу записується код 1, тобто код нового каналу, для якого все повторюється. Це ж повторюється для всіх восьми каналів. Лічені вісім байт даних, записуються в ОЗУ комп'ютера. Знову очікується поява мітки 1 КГц і знову зчитуються вісім байт відповідні восьми вхідних сигналів.

Раз в 1мСек - 8 байт.

Раз в 1 сек - 8000 байт.

Раз в 1 хв - 480000 байт.

У міру заповнення ОЗУ необхідно скидати інформацію з ОЗУ на вінчестер (накопичувач на жорсткому магнітному диску). На вході перед аналоговим комутатором знаходиться схема діодних обмежувачів. Обмежувачі не пропускають на входи комутаторів сигнали вище +12 і нижче 0 В. Аналоговий комутатор D 17 – мікросхема K561КП2 – восьмивходовий аналоговий комутатор включений по схемі роботи з однополярним вхідним напруженням. Прохідний опір відкритого каналу близько 200 Ом. Для вибору потрібного каналу необхідно подати двійкового коду на ніжки 9, 10, 11 (9 - старший розряд коду N каналу). Мікросхема D

12 перетворює логічні рівні ТТЛ (регістра N каналу) в рівні "0" - 0В, "1" - + 12В для D 17. Все повторюється, поки не будуть заповнені 80 тисяч осередків пам'яті ОЗУ комп'ютера (версія V5), або 480 тисяч осередків пам'яті ОЗУ (версія V6).

Лабораторні експерименти показали працездатність даного пристрою і придатність для досліджень навантажень в металоконструкціях.

**Висновок.** Автоматизація експерименту дослідження дозволяє:

- в кілька разів скоротити цикл експериментів;
- збільшити точність результатів і їх достовірність;

- підвищити якість та інформативність експерименту;

- посилити контроль над ходом експерименту і можливість його оптимізації;

- результати експериментів структуруються і виводяться оперативно в найбільш зручній для оператора формі;

- приймати інформацію від датчиків стану середовища і об'єкта;

Велике значення має також програмне забезпечення АСНД

Тому можна зробити наступні висновки:

- Комп'ютери, можуть успішно взяти на себе управління експериментом;

- Вони можуть бути ефективні при підготовці звітів і документації як компоненти вбудованої підсистеми;

- На комп'ютери можливо покласти підтримку бази експериментальних даних;

#### Література

1. Гурко О.Г. Дослідження параметрів руху автогідропідіймача з обертальними зчленуваннями / О.Г. Гурко, Ю.О. Доля // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2016. – №2 . – С. 121–127.
2. Alexander Gurko, Oleg Sergiyenko, et al. Guaranteed Control of a Robotic Excavator During Digging Process. SciTePress, Colmar, France (2015), Vol. 2, pp. 52–59.
3. Писарчук О.О. Технологія ситуаційного структурно-параметричного синтезу складної інформаційно-керуючої системи / О.О.Писарчук. // Збірник наукових праць ЖВІ ДУТ. - Вип. 9, С.56-61.
4. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. // М. : Наука, 1986. – 288 с.
5. Амелин В.М. Электронные системы управления и контроля строительных и дорожных машин / В.М. Амелин, Ю.М. Иньков, В.И. Марсов. // М.: Интекст, 1998. – 134 с.
6. Махеда В. А. Тензометрический метод измерения деформаций / В. А. Махеда // Самара, СГАУ 2011. – 57 с.
7. Виноградова Н.А. Научно- методические основы построения АСНИ. / Н.А. Виноградова, А.А. Есюткин, Г.Ф. Филаретов. // М.:МЭИ, 1989, - 84стр.

8. Виноградова Н. А. Автоматизированные системы научных исследований / Н.А. Виноградова, А.А. Есюткин, Г.Ф. Филаретов. // М.: МЭИ, 1990, -87 стр.

#### References

1. Gurko O.G. Doslidzhennja parametriv ruhu avtogi-dropidijmacha z obertal'nymy zchlenuvannjamy / O.G. Gurko, Ju.O. Dolja // Novi materialy i tehnologii' v metalurgii' ta mashynobuduvanni. – 2016. – №2 . – S. 121–127.
2. Alexander Gurko, Oleg Sergiyenko, et al. Guaranteed Control of a Robotic Excavator During Digging Process. SciTePress, Colmar, France (2015), Vol. 2, pp. 52–59.
3. Pysarchuk O.O. Tehnologija situacijnogo strukturno-parametrychnogo syntezy skladnoi' informacijno-kerujuchoi' systemy / O.O.Pysarchuk. // Zbirnyk naukovyh prac' ZhVI DUT. - Vyp. 9, S.56-61.
4. Pospelov D. A. Situacionnoe upravlenie: te-orija i praktika / D. A. Pospelov. // M. : Nauka, 1986. – 288 s.
5. Amelin V.M. Jelektronnye sistemy upravlenija i kontrolja stroitel'nyh i dorozhnyh mashin / V.M. Amelin, Ju.M. In'kov, V.I. Marsov. // M.: Intekst, 1998. – 134 s.
6. Maheda V. A. Tenzometricheskij metod izmerenija deformacij / V. A. Maheda // Samara, SGAU 2011. – 57 s.
7. Vinogradova N.A. Nauchno- metodicheskie osnovy postroenija ASNI. / N.A. Vinogradova, A.A. Esjutkin, G.F. Filaretov. // M.:MJeI, 1989, - 84 str.
8. Vinogradova N. A. Avtomatizirovannye sistemy nauchnyh issledovanij / N.A. Vinogradova, A.A. Esjutkin, G.F. Filaretov. // M.: MJeI, 1990, -87 str.

#### Мусаев З.Р. Разработка тензометрической системы для исследования короткобазных строительных и дорожных машин

*Актуальность работы связана с тенденцией развития информационных технологий и внедрения их в исследование рабочих процессов машин и механизмов. Работа является частью комплексного исследования, посвященного проектированию и исследованию устройства записи сигналов от датчиков, установленных на металлоконструкции дорожных машин.*

**Ключевые слова:** тензометрическая система; плата ввода; АЦП; микросхема; измерительный комплекс.

#### Musaiev Z.R. Development of a tensometric system for the study of small-sized construction and road machinery

*Topicality of the research is explained by the tendency of using information technologies and their implementation in the process of designing working machines and mechanisms. The work is part of a comprehensive study devoted to the design and investigation of a device for recording signals from sensors installed on the metal structures of road vehicles.*

**Keywords:** strain gauge system; input board; chip; measuring complex.

**Мусаєв З. Р.** – аспірант кафедри «Будівельні та дорожні машини» Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Рецензент: д.т.н., проф. Горбунов М.І.

Стаття подана 09.04.2018.

УДК 629.463.32

## УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КІНЦЕВИХ ОПОРНИХ ПРИБОРІВ ВАГОНІВ-ЦИСТЕРН

Павлюченко М.В., Бобрицький С.В., Сумцов А.Л.

### IMPROVING THE BRACKET SUPPORT STRUCTURES OF TANK WAGONS

Pavliuchenkov M., Bobrytskyi S., Sumtsov A.

*Для перевезення небезпечних вантажів на залізничному транспорті застосовуються вагони-цистерни. Внесенням конструктивних змін може бути досягнутий ефект зниження максимальних напружень, а за рахунок цього і покращення техніко-економічних показників вагона-цистерни. Для дослідження напружено-деформованого стану цистерни створена розрахункова скінченно-елементна модель. Вона використана для чисельних досліджень по виявленню найбільш раціональної конструкції кінцевого опорного пристрою. Для найефективнішого варіанту проведено порівняння з існуючою конструкцією. Показано закони зміни жорсткостей в радіальному напрямку та закони зміни контактної тиску. Конструкція з запропонованим удосконаленням перевірена на спектр навантажень згідно з нормативними документами.*

**Ключові слова:** вагон-цистерна, котел, метод скінченних елементів, опорний пристрій, напружено-деформований стан, еквівалентні напруження, контактний тиск.

**Вступ.** Для перевезення небезпечних вантажів на залізничному транспорті застосовуються вагони-цистерни, за допомогою яких нафтопродукти безпечно та якісно доставляються замовнику. Умови експлуатації транспортних засобів пред'являють підвищені вимоги до міцності існуючих і нових конструкцій цистерн. Роботи по прогнозуванню, усуненню слабких місць і продовженню терміну служби резервуарних вагонів повинні виконуватися з урахуванням нових досягнень в області дослідження міцності, безвідмовності і довговічності [1, 2].

Дослідження, які проводилися провідними організаціями в галузі рухомого складу, свідчать, що напруження обумовлені дією опорного тиску складають 70-90 % від максимальних напружень, які виникають в котлі цистерни [3]. Спостереження показують, що на котлах цистерн для рідких вантажів, тріщини оболонки в опорних зонах починають проявлятися з особливою інтенсивністю після 10-12 років експлуатації [4]. Тріщини, як правило, мають утомний характер.

Нині в конструкції вагонів практично повністю використаний простір габариту по ширині та висоті, тому подальше збільшення об'єму кузова можливо лише за рахунок збільшення його довжини, що призводить до збільшення тари вагона та до зменшення вантажопідйомності при збереженні осьового навантаження.

$$P \leq q_o m_o - T ; \quad (1)$$

де  $P$  – вантажопідйомність вагона, т;  
 $q_o$  – допустиме осьове навантаження вагона, т;  
 $m_o$  – кількість осей вагона, шт;  
 $T$  – тара вагона, т.

Так як добуток  $q_o m_o$  не може перевищувати свого максимального значення, тому подальше збільшення вантажопідйомності можливе лише за рахунок зменшення тари вагона.

Аналіз результатів дослідження структури матеріалоемності конструкції вагонів-цистерн вказує на доцільність зниження загальної матеріалоемності вагону-цистерни за рахунок зниження маси окремого вузла вагону. Це потребує проведення оптимізаційного проектування елементів конструкції окремого вузла вагону за критерієм мінімальної матеріалоемності та перевірки конструкції вагону-цистерни на міцність.

**Мета статті.** Внесенням конструктивних змін, які спрямовані на перерозподіл навантажень і напружень у небезпечних зонах може бути досягнутий ефект зниження максимальних напружень, а за рахунок цього і покращення техніко-економічних показників вагона-цистерни. Завданням дослідження є: запропонувати варіанти удосконалення конструкції кінцевих опорних пристроїв котла вагона-цистерни; виконати оптимізацію геометричних розмірів складових опорного пристрою вагона-цистерни з метою зниження матеріалоемності, визначити напружено-деформований стан (НДС) запропонованих кінцевих

опорних пристроїв та кузова вагона-цистерни взагалі на спектр навантажень згідно з нормативними документами.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сьогодні метод скінченних елементів є одним з найбільш ефективних чисельних методів дослідження міцності і деформативності вагонів-цистерн [5]. Для проведення досліджень НДС цистерни створена розрахункова скінченно-елементна модель (РСЕМ) [6]. Для перевірки адекватності РСЕМ результати розрахунку на моделі порівнювались з аналітичними та експериментальними значеннями.

У рамній конструкції вітчизняних вагонів-цистерн кріплення котла на рамі здійснюється в середніх і кінцевих його частинах. По кінцях котел спирається на дерев'яні бруски, які розташовані у лежнях кінцевих опорних пристроїв. Кінцеві опорні пристрої розташовані на шворневих балках. Шворневі балки виконані у вигляді коробчастого перерізу змінної висоти по довжині. Опори під лежні виконані зварною конструкцією із металевих листів у вигляді відкритої коробки, для жорсткості якої вертикальні листи пов'язані усередині діафрагмами.

Контактний тиск від опорного пристрою на оболонку безпосередньо залежить від зміни жорсткості опори в радіальному напрямку. У більш жорсткішій опорі відбувається «відрив» оболонки в середній частині і тому навантаження переміщується до кінців опори в радіальному напрямку. Жорсткість (контактний тиск) опорного пристрою повинна зменшуватись від середини до кінців в радіальному напрямку.

Недоліком наявної опори є її жорсткість. У конструктивному виконанні опори присутні три горизонтальних пояси, які між собою посилені двома вертикальними. Така схема є досить жорсткою, незалежно від товщини листів, які використовуються. При навантаженні в вертикальних і горизонтальних листах конструкції опори виникають напруження набагато менші в порівнянні з місцями з'єднання шворневої балки з хребтовою, швелерів з вертикальними діафрагмами. Також є невелика так звана «робоча площа» опирання котла на опору. Ширина площі відповідає відстані між вертикальними діафрагмами. Діафрагми розташовані перпендикулярно до твірної котла, тому в опорних місцях з'являються концентратори напружень. У зв'язку з високими напруженнями в котлах цистерн в опорних місцях спостерігаються відхилення від правильної геометричної форми – вм'ятини. Ці вм'ятини часом настільки великі, що спостерігається опускання консольної частини оболонки до торкання з хребтовою балкою.

Для розв'язання поставленої задачі виконано дослідження для пошуку оптимальної конструкції опорного пристрою, запропоновано нові варіанти

конструкцій [7, 8, 9] та визначено найбільш ефективнішу конструкцію (рис. 1).

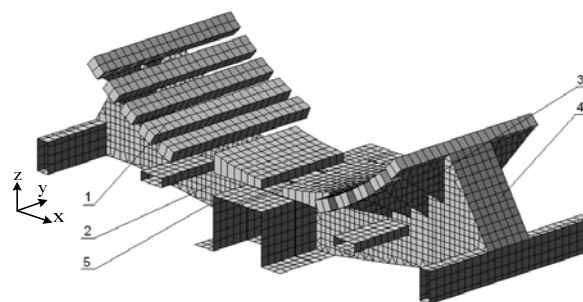


Рис. 1. Схема консольного опорного пристрою:  
1 – опорний елемент; 2 – діафрагма; 3 – ребро жорсткості;  
4 – похилий лист; 5 – шворневий лист

Для визначення закону розподілу опорного тиску від опорного пристрою на котел цистерни проведено зміни в РСЕМ вагонів-цистерн. У зонах контакту оболонки з опорними брусками між ними введені двовузлові стержневі скінченні елементи. При розрахунку РСЕМ вагонів-цистерн отримані значення поздовжніх зусиль у стержневих елементах, на основі яких побудовані залежності зусиль у стержнях від місця їх розташування в коловому напрямку. На основі отриманих даних визначений закон розподілу опорного тиску в середній частині опорного пристрою в напрямку твірної котла цистерни (рис. 2).

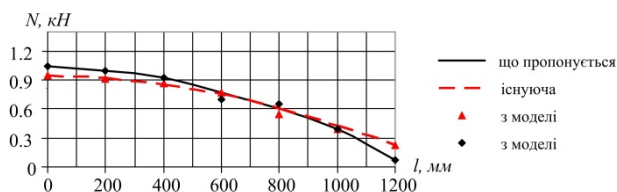


Рис. 2. Графік залежності опорного тиску в коловому напрямку в середній частині кінцевого опорного пристрою

Отримано закони зміни жорсткостей у радіальному напрямку та закони зміни контактного тиску. У запропонованому варіанті вони більше зменшуються до своїх кінців, що позитивно впливає на НДС котла цистерни.

Конструкція з запропонованим удосконаленням перевірена на навантаження згідно з I та III розрахунковими режимами [10]. Аналіз результатів показує, що максимальні напруження не перевищують допустимі.

Для всіх типів вагонів при проектуванні необхідно враховувати основні розрахункові сили, які прикладають до вагону при його ремонті. Результати розрахунку для запропонованої конструкції показують, що максимальні еквівалентні напруження (рис. 3) не перевищують допустимі значення, а найбільші знаходяться в межах 250 МПа (рис. 3, в).

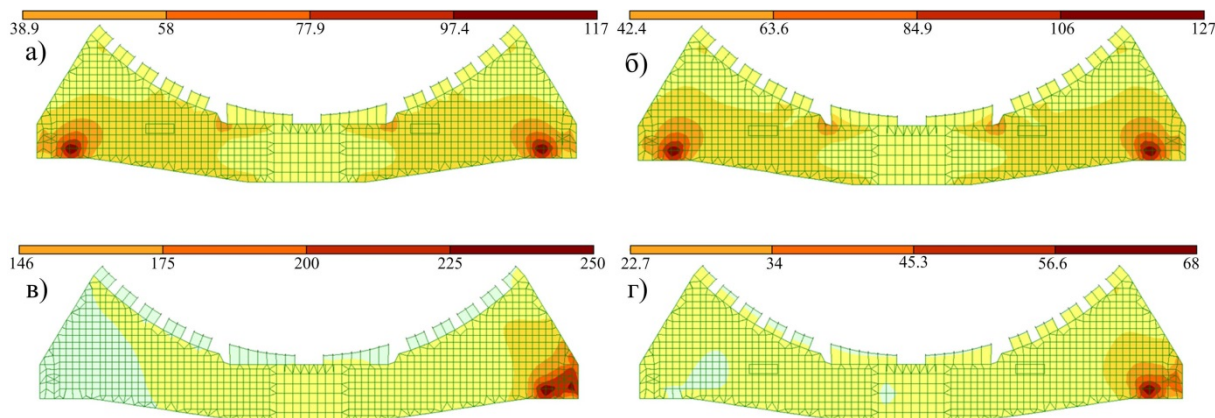


Рис. 3. Результати еквівалентних напружень в консольній опорі при різних варіантах обпирання рами вагона-цистерни: а – підйом завантаженого вагона під кінці шворневої балки з одного боку рами вагона; б – підйом завантаженого вагона під кінці шворневих балок з обох боків рами вагона; в – підйом завантаженого вагона під один кінець шворневої балки; г – підйом порожнього вагона під кінці шворневих балок, розташованих по діагоналі

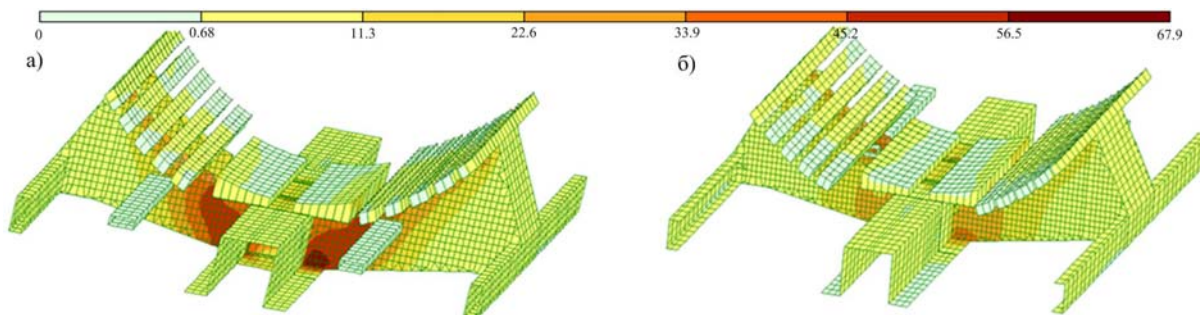


Рис. 4. Ізополя еквівалентних напружень в кінцевій опорі з урахуванням динамічної дії в вертикальній площині при завантаженому кузові та швидкості руху 100 км/год: а – вид з боку автозчепи; б – вид з середньої частини вагону

Для проведення розрахунків на динамічні навантаження, на основі досвіду розроблених моделей [11, 12] в програмному продукті Mathcad створена математична модель. Для спрощення моделі прийнято, що котел цистерни повністю заповнений рідким вантажем. Величина максимальних амплітуд приймається у залежності від стану колії. По результатам розрахунків отримані графіки залежності прискорень кузова від часу.

При розрахунках для урахування інерційних добавок від вертикальних коливань мас вагону – кузова вагона-цистерни – в ПК «Ліра» задаються характеристики для розрахунку на динамічні дії. Вибирається найменшання дії – «акселерограма» – та вводяться дані графіку залежності прискорення кузова в центрі мас від часу. Після закінчення розрахунків, програма вибирає форми коливань, при яких виникають найбільші напруження. Наступним кроком є опція складання напружень від дії статичних та динамічних навантажень, в результаті отримаємо сумарні еквівалентні напруження (рис. 4). Аналіз результатів показує, що максимальні напруження від вертикальних коливань мас вагону становлять 68 МПа і не перевищують допустимі значення, які дорівнюють 195 МПа.

**Висновки.** Перспективним напрямком поліпшення техніко-економічних показників вагона-цистерни є удосконалення конструкції кінцевих опорних пристроїв на основі результатів досліджень впливу контактного тиску та жорсткості опорних пристроїв на НДС кузова вагона-цистерни. Перевірена конструкція з запропонованим удосконаленням на спектр навантажень згідно з нормативними документами. Результати проведених досліджень, запропоновані та обґрунтовані конструкції опорного пристрою вагона-цистерни рекомендовано для практичного використання ТОВ «Головним спеціалізованим конструкторським бюро вагонобудування ім. В.М. Бубнова».

**Л і т е р а т у р а**

1. Fomin O. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties / A. Lovska, O. Plakhtii, V. Nerubatskyi // Natsional'nyi Hirnychi Universytet. Naukovi Visnyk – vol. 6, 2017 – pp. 89-96.
2. Zaripov Ramis. Research Opportunities to Improve Technical and Economic Performance of Freight Car through the Introduction of Lightweight Materials in their Construction / R. Zaripov, P. Gavrilovs // 10th International Scientific Conference Transbaltica 2017:

- Transportation Science and Technology – Procedia Engineering – Vol. 187, 2017 – pp.22-29.
3. Котуранов В.Н. Нагруженность элементов конструкции вагонов / В.Н. Котуранов. – М.: Транспорт, 1991. – 238 с.
  4. Boyko A. Influence of barrel damages on life time of tank wagon / A. Boyko // 8th International DAAAM Baltic Conference: "Industrial Engineering 19-21 April 2012, Tallinn, Estonia. – pp. 21-26.
  5. Razaghi Reza. Investigating the effect of sloshing on the energy absorption of tank wagons crash // R. Razaghi, M. Sharavi, M. Feizi / Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering – Vol.39, No2, 2015 – pp.187-200.
  6. Павлюченков М.В. Скінченно-елементна модель вагона-цистерни для оцінювання напружено-деформованого стану / М.В. Павлюченков // Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту: зб. наук. праць. / Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 108. – С. 131–135.
  7. Ломотько Д.В. Компьютерное моделирование опорных устройств вагонов-цистерн / Д.В. Ломотько, Г.Л. Ватуля, М.В. Павлюченков // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012: сб. науч. тр. SWorld. – Одесса: Транспорт, 2012. – Том 2. – С. 42-46.
  8. Мартинов І.Е. Оптимізація опорного пристрою вагона-цистерни / І.Е. Мартинов, М.В. Павлюченков // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип 138. – С. 221–225.
  9. Павлюченков М.В. Рационалізація конструкції опорних пристроїв вагонів-цистерн для рідких вантажів / М.В. Павлюченков // Наука и прогресс транспорта: вестник Днепропетровского национального университета же-лезнодорожного транспорта. – Дніпропетровськ: ДПТ, 2014. – №1 (49). – С. 151–159.
  10. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам / Минск: Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации.
  11. Богомаз Г.И. Динамика железнодорожных вагонов-цистерн / Г.И. Богомаз. – Киев: Наук. думка, 2004. – 223 с.
  12. Дьомін Ю.В. Основи динаміки вагонів: навчальний посібник / Ю.В. Дьомін, Ю.Г. Черняк. – К.: КУЕТТ, 2003. – 270 с.
  4. Boyko A. Influence of barrel damages on life time of tank wagon / A. Boyko // 8th International DAAAM Baltic Conference: "Industrial Engineering 19-21 April 2012, Tallinn, Estonia. – pp. 21-26.
  5. Razaghi Reza. Investigating the effect of sloshing on the energy absorption of tank wagons crash // R. Razaghi, M. Sharavi, M. Feizi / Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering – Vol.39, No2, 2015 – pp.187-200.
  6. Pavliuchenkov M.V. Finite element model of the tank wagon for stress deformed state estimation / M.V. Pavliuchenkov // Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnogo transportu. Kharkiv: UkrDAZT, 2009. – Issue 108. – pp. 131 – 135.
  7. Lomotko D.V. Computer simulation of the support device of rail tank cars / D.V. Lomotko, G.L. Vatulja, M.V. Pavliuchenkov // Sovremennyye problemy i puti ih resheniya v nauke, transporte, proizvodstve i obrazovanii'2012: Sbornik nauchnykh trudov SWorld. - Odessa: Transport, 2012. – Vol. 2. – pp. 42-46.
  8. Martynov I.E. Optimization of the support structure of a tank wagon / I.E. Martynov, M.V. Pavliuchenkov // Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnogo transportu. Kharkiv, UkrDAZT, 2013. – Issue 138. – pp. 221 – 225.
  9. Pavliuchenkov M.V. Rationalization of support structures of tank wagons for liquids / M.V. Pavliuchenkov // Nauka i progress transporta: Vestnik Dnepropetrovskogo natsionalnogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta. Dnipropetrovsk, DIIT, 2014. – Issue №1 (49). – pp. 151 – 159.
  10. GOST 33211-2014. Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam / Minsk: Evraziyskiy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii.
  11. Bogomaz G.I. Dynamics of rail tank wagons / G.I. Bogomaz // Kiev, Nauk. dumka, 2004. – 223 p.
  12. Diomin Yu.V. Basics of wagon dynamics: tutorial / Yu.V. Diomin, Yu.V. Cherniak // Kyiv, KUETT, 2003. – 270 p.

### References

1. Fomin O. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties / A. Lovska, O. Plakhtii, V. Nerubatskyi // Natsional'nyi Hirnychi Universytet. Naukovyi Visnyk – vol. 6, 2017 – pp. 89-96.
2. Zaripov Ramis. Research Opportunities to Improve Technical and Economic Performance of Freight Car through the Introduction of Lightweight Materials in their Construction / R. Zaripov, P. Gavrilovs // 10th International Scientific Conference Transbaltica 2017: Transportation Science and Technology – Procedia Engineering – Vol. 187, 2017 – pp.22-29.
3. Koturanov V.N. Loading upon wagon structure elements / V.N. Koturanov // Moscow, Transport Publ., 1991. – 238 p.

### Павлюченков М.В., Бобрицкий С.В., Сумцов А.Л. Усовершенствование конструкции концевых опорных устройств вагонов-цистерн.

*Для перевозки опасных грузов на железнодорожном транспорте применяются вагоны-цистерны. Внесением конструктивных изменений может быть достигнут эффект снижения максимальных напряжений, а за счет этого и улучшение технико-экономических показателей вагона-цистерны. Для исследования напряженно-деформированного состояния цистерны создана расчетная конечно-элементная модель. Она применена для численных исследований по выявлению наиболее рациональной конструкции концевого опорного устройства. Для наиболее эффективного варианта проведено сравнение с существующей конструкцией. Показано законы изменения жесткостей в радиальном направлении и законы изменения контактного давления. Конструкция с предложенным усовершенствованием проверена на спектр нагрузок в соответствии с нормативными документами.*

**Ключевые слова:** вагон-цистерна, котел, метод конечных элементов, опорное устройство, напряженно-деформированное состояние, эквивалентные напряжения, контактное давление.

**Pavliuchenkov M.V., Bobrytskyi S.V., Sumtsov A.L.  
Improving the bracket support structures of tank wagons.**

*Structural changes aimed at redistribution of loads and stresses in vulnerable areas can contribute to reduction in the maximum stresses.*

*During long operating time the most vulnerable structural areas of light oil tank wagons have been identified. The researches provided by leading companies in the field of rolling stock testify that stresses exerted by support pressure amount to 70-90% out of the maximum stresses in the tank.*

*A disadvantage of the existing support is its stiffness, whereas the tank surface is very flexible. Structurally, the support has three horizontal belts reinforced with two vertical ones. The design is rather rigid regardless of thickness of the sheets used. Under loading in vertical and horizontal sheets of the support structure there appear stresses considerably lower compared to those in areas where the bolster beam joins with the center sill, and the channel beams join with the vertical diaphragms. The deformed tank in the areas of bracket support structures is greatly under the influence of the law of external load (contact pressure) distribution. The contact pressure from the support structures on the surface is immediately depends on rigidity change in supports in radial direction.*

*On observing features of structural design development for Ukrainian and foreign tank wagons, patent and bibliographical analysis of engineering solutions, three variants of support structures have been proposed.*

*The choice of the most efficient design for the support structure was made on the base of the stressed-state tank wagon analysis and the deformation analysis conducted directly for support structures in the support area.*

*The most efficient variant was chosen by comparing with the existing structure. Laws of stiffness change in radial direction and laws of contact pressure change have been demonstrated. The improved structure has been checked by a load spectrum according to the normative documents.*

**Keywords:** *tank wagon, barrel, finite element method, support structure, stress-strain state, equivalent stresses, contact pressure.*

**Павлюченко М.В.** – к.т.н., асистент кафедри будівельної механіки та гідравліки Українського державного університету залізничного транспорту. 61050, м. Харків, майд. Фейєрбаха, 7. E-mail: [misha\\_83@ukr.net](mailto:misha_83@ukr.net)

**Бобрицький С.В.** – к.т.н., доцент кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: [bobrytskyi@kart.edu.ua](mailto:bobrytskyi@kart.edu.ua)

**Сумцов А.Л.** – к.т.н., старший викладач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: [sumtsov@kart.edu.ua](mailto:sumtsov@kart.edu.ua)

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 20.03.2018.

УДК 62-597.6

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ГАЛЬМОВОЇ СИСТЕМИ

Полупан Є.В., Шевченко С.І., Полупан Ю.В.

### INCREASE THE EFFICIENCY OF BRAKING AUTOBILES BY IMPROVING THE BRAKING SYSTEM

Polupan E., Shevchenko S., Polupan J.

*У статті розглянуто питання підвищення ефективності і надійності вузлів і деталей автомобілів, спрямоване на інтенсифікацію їх продуктивності. Виконано аналіз теплової навантаженості гальм автомобілів. Запропоновано модель розрахунку об'ємної теплової навантаженості фрикційних накладок гальм вантажних автомобілів. Наведено рекомендації спрямовані на підвищення ефективності гальмування автомобілі.*

**Ключові слова:** автомобіль, гальмо, фрикційні накладки, теплове навантаження,

**Вступ.** Однією з найважливіших завдань промисловості є підвищення економічності виробництва, якості продукції і, як наслідок, технічного рівня технологічного обладнання всіх видів виробництва. Успішне вирішення цього завдання залежить від розвитку нової техніки, а також від розробки, впровадження та освоєння в стислі терміни нових конструкцій промислового обладнання і транспортних засобів.

Підвищення ефективності і надійності вузлів і деталей автомобілів, спрямоване на інтенсифікацію їх продуктивності, є однією з основних задач машинобудування. Збільшення продуктивності механізмів і машин при експлуатації призводить до того, що їх вузли і деталі неминуче піддаються впливу значних навантажень і енергій. При цьому, погашення останніх в свою чергу призводить до розсіювання механічної енергії в теплову в малих обсягах вузла тертя, що неминуче веде до нагрівання його пар тертя. Тому до одним з відповідалних і найбільш навантажених вузлів автомобілів відносяться гальмівні пристрої, що забезпечують безпеку в експлуатації і в значній мірі впливають на рівень надійності. Циклічне підвищення температури пар тертя при роботі гальма викликає незворотні зміни мікроструктури пар тертя, що сприяють утворення тріщин, крім того, виділення теплоти в зоні тертя гальмівного вузла

сприяє розм'якшенню фрикційних матеріалів, наслідком чого є різке падіння коефіцієнта тертя і надійності гальма.

Тенденція до зменшення конструктивних обсягів гальмівних механізмів, що отримала велике поширення в останні роки, призводить до різкого зниження інтенсивності охолодження їх фрикційних вузлів. Все це призводить до нерівномірного зносу пар тертя, значного падіння коефіцієнта тертя, підвищених температур гальм автомобілів, а в підсумку, до їх нестабільної роботи.

**Постановка проблеми.** З аналізу практики експлуатації автомобілів можна зробити висновок, що одним з найбільш вразливих місць серед механізмів є гальмівні пристрої. Робота гальмівних пристроїв відрізняється надзвичайною різноманітністю умов і факторів, що впливають на знос і довговічність їх фрикційних елементів.

На підставі фундаментальних досліджень гальмівних пристроїв механізмів і машин, проведених багатьма вченими, можна зробити висновок, що рішення проблеми створення надійної фрикційної пари сучасних високонантажених гальм механізмів і машин можливо тільки при застосуванні більш теплостійких матеріалів і при одночасній розробці конструкцій гальм, що забезпечують освіту найменших температур нагрівання поверхонь тертя.

Таким чином, актуальними є завдання розробки нових фрикційних матеріалів, що забезпечують стабільні показники роботи гальмівного пристрою і досить невисокі температури тертя.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним з основних явищ, які супроводжують фрикційні взаємодія в гальмах, є нагрів пар тертя. Практично вся механічна енергія, що поглинається гальмом, перетворюється в тепло. Температура, що розвивається на поверхні тертя, є комплексною

характеристикою енергонавантажності гальма [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9], більш загальною порівняно з окремо взятими параметрами режиму роботи, такими як швидкість ковзання, тиск, коефіцієнт тертя.

Надійність роботи гальмівного пристрою в основному визначається температурним полем фрикційної пари [10, 11]. Це пов'язано з тим, що фрикційно-зносні характеристики фрикційних матеріалів значною мірою залежать від температури. У більшості фрикційних матеріалів зі збільшенням температури коефіцієнт тертя зменшується, а знос зростає [30]. Характер зміни фрикційно-зносних властивостей різних матеріалів істотно залежить від граничного значення температури, при якому відбувається різке збільшення інтенсивності зносу і зміна коефіцієнта тертя. У зв'язку з цим температуру нагрівання використовують як критерій навантаженості гальма. Причому для гальмівних пристроїв найдоцільніше в якості такого критерію розглядати температуру поверхні тертя [12].

**Мета статті.** В роботі зроблено спробу розробки математичної моделі розрахунку об'ємного теплового стану фрикційної накладки гальма автомобіля.

**Результати досліджень.** Відомо, що від режиму силової навантаженості гальмівних пристроїв в значній мірі залежать їх основні параметри, питомі тиску, коефіцієнти тертя, гальмівні моменти, деформації та коливання гальмівних шківів і колодок з накладками, температура поверхонь тертя, інтенсивність теплообміну, довговічність пар тертя і ін. Тому оцінка силової навантаженості робочих деталей гальмівних пристроїв є дуже важливим етапом перед проектуванням нових або удосконаленням старих конструкцій.

Дослідження, присвячені аналізу силової навантаженості гальмівних пристроїв, проводилися в роботах [12, 13], де переважно розглядалися двоклодкові барабанні гальмівні пристрої, які отримали широке розповсюдження в машинобудуванні. Згідно з цим питомий тиск виникаючий між колодкою та гальмом дорівнює:

$$q = \frac{u}{\mu \cdot r \cdot 2 \cdot \sin \omega^2},$$

Коли обидві колодки працюють однаково, окружна сила тертя однієї колодки.

$$u = \frac{M_t}{\mu \cdot r^2}$$

Призначення і широка область використання різних механізмів і машин багато в чому визначають різноманітність режимів роботи гальмівних пристроїв.

Розрізняють три можливі режими роботи механізмів, машин і їх гальмівних пристроїв: короткочасний, тривалий і повторно-короткочасний режим.

Найбільш складні умови експлуатації гальмівних пристроїв зустрічаються в механізмах, що працюють в повторно-короткочасному режимі [12], таких як автомобілі. Робота даних машин обумовлена дискретною дією механізмів і проявляється у формі випадкових повторюваних гальмувань різної енергонавантажності. Такий режим роботи найбільш характерний для гальмівних пристроїв автомобілів працюючих у важких умовах.

Дискретність роботи самого гальмівного пристрою характеризується величиною тимчасового інтервалу між двома послідовними гальмуваннями. При роботі гальмівних пристроїв величини пауз приймають ряд випадкових значень, які характеризуються певними статистичними оцінками.

Існуючі норми поділяють весь спектр можливих умов роботи гальмівних пристроїв на вісім груп згідно з групами класифікації.

Ці норми визначають лише середнє значення числа гальмування механізму і не враховують розсіювання даних характеристик. Очевидно, що повторно-короткочасний режим роботи гальмівних пристроїв є найбільш важким, тому що силові навантаження і напруги, що виникають при роботі гальма, повторюються, а температурні навантаження і напруги накопичуються від циклу до циклу, приводячи до постійного зростання температур в зоні контакту орієнтовно за законом, близькому до експоненціального, до моменту досягнення теплового балансу фрикційного вузла. При цьому в зоні контакту виникають максимальні температури, які викликають значне падіння коефіцієнта тертя в зоні тертя фрикційного матеріалу з контртілом, і знижують ресурс роботи пари тертя. Однак надійність роботи гальмівних пристроїв і ресурс їх пари тертя визначається не тільки режимом роботи і навантаженістю, але і впливом навколишнього середовища, в якій вони експлуатуються. Таким чином, гальмівні пристрої, що працюють в повторно-короткочасному режимі, експлуатуються в найбільш складних умовах, що характеризуються максимальними навантаженнями і температурами.

При гальмуванні процес тертя гальмівної накладки і контртіла відбувається в точках фактичного контакту. Сумарна площа цих точок контакту становить лише незначну частку геометричної площі, що перекривається гальмівний накладкою. Так як виділення тепла відбувається лише в точках фактичного контакту, щільності теплових потоків і температурні спалахи в них можуть досягати досить великих величин, що викликають світіння поверхні тертя і перехід металу в цих точках в пластичний стан. При цьому відбувається деформація металу або його швидкий

знос, і місце температурної спалаху переміщається відповідно до зміни контактних питомих тисків.

Поширення теплового потоку на всю геометричну площу тертя відбувається поблизу поверхні тертя, і його щільність різко знижується в порівнянні з точками фактичного контакту, набуваючи значення, відповідні геометричні розміри контактуючих тіл. Відповідно змінюється і температура в поверхневих шарах.

Температурне поле накладки слід оцінювати виходячи з щільності теплового потоку, розподіленого по всій геометричній площі підведення тепла. Це дає деяке осередненне значення температури на поверхні тертя. У поєднанні з оцінкою величини температурних спалахів осередненним значенням температури на поверхні може служити критерієм для визначення напруженого стану контртіла і умов роботи фрикційного матеріалу.

Знаходження об'ємного температурного поля твердого тіла володіє кінцевими розмірами, досить складне завдання. Однак внутрішній обсяг майже будь-якого твердого тіла можна представити у вигляді перетину ряду площин і елементарних поверхонь, що в свою чергу полегшує вирішення поставленого завдання. На рис. 1 показана розрахункова схема для визначення об'ємного температурного поля фрикційного матеріалу гальмівного пристрою, що працює в повторно-короткочасному режимі. Згідно розрахунковій схемі рішення поставленого завдання можна представити як добуток безрозмірних температур безмежної труби і двох безмежних пластин:

$$\tau_1 = \theta_{r1} \cdot \theta_b \cdot \theta_l \cdot \tau_n \quad (1)$$

$$\tau_1 = \theta_{r2} \cdot \theta_b \cdot \theta_l \cdot \tau_n'$$

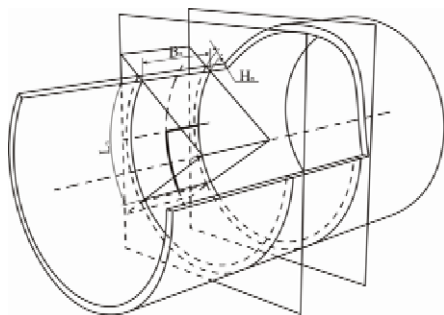


Рис.1. Розрахункова схема для визначення об'ємного температурного поля фрикційного матеріалу гальма що працює в повторно-короткочасному режимі

Згідно [2] поширення тепла в матеріалі накладки і контртіла можна досліджувати без урахування їх кривизни на підставі однорідного рівняння теплопровідності для тертя двох напівобмежених тіл,

$$q \frac{d(\Delta\tau)}{dt} = a \cdot \frac{d^2(\Delta\tau)}{dh^2} \quad (2)$$

де  $\Delta\tau$  - підвищення температури на глибині  $h$  від поверхні тертя;

$t$  - поточне значення часу.

Для умови, коли на одиниці поверхні рівномірно нагрітого тіла ( $h=0$ ) в початковий момент часу ( $t=0$ ) виділяється кількість тепла  $q$ , рішення рівняння має вигляд [2],

$$\Delta\tau = \frac{\bar{q}}{\sqrt{\pi \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot c \cdot \sqrt{t_T}}} \cdot e^{-\frac{h^2}{4a \cdot t_T}} \quad (3)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності,  
 $\gamma$  - питома вага нагрівається матеріалу,  
 $c$  - питома теплоємність матеріалу,  
 $t_T$  - час гальмування,

$a = \frac{\lambda}{\gamma \cdot c}$  - коефіцієнт температуропровідності.

При рівномірно уповільненому русі для періоду нагріву в процесі гальмування кількість тепла, що виділяється на одиниці поверхні в одиницю часу, може бути представлено прямою лінією графіка, зображеного на рис. 2.

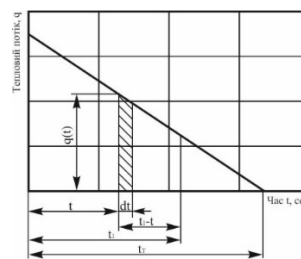


Рис. 2. Зміна щільності теплового потоку в залежності від часу

Виходячи з рис. 2 і попереднього рівняння можна записати зміну температури  $d(\Delta\tau)$  до моменту часу  $t_1$ , яке викликається кількістю тепла  $q(t)dt$ , що виділяється на одиниці поверхні:

$$d(\Delta\tau) = \frac{q(t) \cdot dt}{\sqrt{\pi \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot c \cdot \sqrt{t_1 - t}}} \cdot e^{-\frac{h^2}{4a \cdot (t_1 - t)}} \cdot dt \quad (4)$$

де  $t_1$  - значення часу, при якому визначається температура.

З урахуванням віддачі тепла з поверхні тертя в навколишнє середовище маємо,

$$q(t) = q_a \cdot \left(1 - \frac{t}{t_T}\right) - \alpha \cdot \Delta\tau_n \quad (5)$$

де  $q_a = \frac{\alpha_N \cdot B_T \cdot v_0 \cdot A}{F}$  - кількість тепла, що виділяється на одиниці поверхні в одиницю часу (щільність теплового потоку) на початку процесу підвищення температури;

$\alpha$ - коефіцієнт тепловіддачі з поверхні тертя в навколишнє середовище;

$\Delta\tau_n$  - надлишкова температура поверхні, на якій виділяється тепло;

$N_\alpha$  - коефіцієнт розподілу теплових потоків;

$B_T$  - дотична гальмівна сила;

$v_0$  - початкова швидкість гальмування;

$A$  - термічний еквівалент роботи;

$F$  - площа поверхні, на якій виділяється тепло.

На підставі вище приведених рівнянь отримуємо диференціальне рівняння для визначення температури нагрівання накладки [2]

$$d(\Delta\tau) = \frac{q_a \cdot \left(1 - \frac{t}{t_B}\right) - \alpha \cdot \Delta\tau_n}{\sqrt{\pi \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot c} \cdot \sqrt{t_1 - t}} \cdot e^{-\frac{h^2}{4a(t_1-t)}}, \quad (6)$$

Для виявлення реальної картини розподілу температурного поля на поверхні фрикційного матеріалу виразимо щільність теплового потоку через реальний розподіл питомого тиску між колодкою і контртілом,

$$q_a = \frac{M_t \cdot l \cdot \alpha_N \cdot v \cdot (K \cdot \cos \beta + \sin \beta) \cdot A}{4 \cdot K \cdot r_0^2 \cdot f \cdot \sin \omega} \quad (7)$$

де  $M_t$  - гальмівний момент;

$l$  - нескінченно мала довжина накладки;

$N_\alpha$  - коефіцієнт розподілу теплового потоку для накладки;

$v$  - швидкість ковзання тертьових поверхонь;

$K$  - коефіцієнт пропорційності;

$A$  - механічний еквівалент теплової роботи;

$r_0$  - радіус контр тіла;

$\omega$  - повний кут обхвату накладкою контр тіла;

$\beta$  - поточний кут обхвату.

Вектор приросту температури точок накладки в напрямку обертання контртіла враховуємо шляхом введення параметра  $J$ , який отримуємо з рівняння балансу енергій. Згідно рис 3 можна записати

$$\rho \cdot dF \cdot h \cdot C_N \cdot d\tau = q_a \cdot dF \cdot dt \quad (9)$$

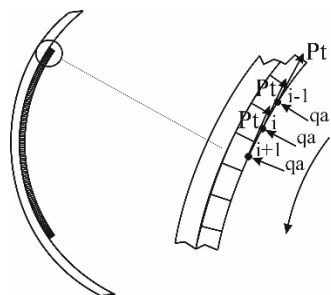


Рис. 3. До знаходження вектора приросту температури на поверхні фрикційного матеріалу

Після перетворення отримуємо:

$$J = \frac{\tau_H + \frac{q_a \cdot t}{\rho \cdot h \cdot C_N}}{\tau_1}, \quad (10)$$

де  $t_1$  - температура першої точки накладки з боку входу контртіла.

Безрозмірний температурний коефіцієнт нагріву накладки в процесі тертя  $\theta_{r1}$  отримуємо розділивши підвищення температури  $\Delta\tau$  в процесі нагрівання пари тертя ( $t_1 < t_0$ ) розраховане інтегруванням лівої частини рівняння (6) в межах від 0 до  $\Delta\tau$  а правої частину - від 0 до  $t$ , при  $t = t_1$ , враховуючі вираз 7 та 10 отримуємо на температуру початку процесу нагрівання:

$$\theta_{r1} = \frac{\frac{q_a \cdot J}{\sqrt{\pi \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot c}} \cdot \left( \left( 2 - \frac{4}{3} \cdot \frac{t}{t_T} - \frac{1}{3} \cdot \frac{h^2}{a \cdot t_T} \right) \times \right.}{\tau_H} \times \sqrt{t} \cdot e^{-\frac{h^2}{4a \cdot t}} - h \cdot \sqrt{\frac{\pi}{a}} \times \left. \times \left( 1 - \frac{t}{t_T} - \frac{1}{6} \cdot \frac{h^2}{a \cdot t_T} \right) \times \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{h}{\sqrt{4 \cdot a \cdot t}} \right) \right) \right)}{\tau_H} \quad (11)$$

Для обліку втрат теплоти з бічних поверхонь визначимо коефіцієнти зміни безрозмірної температури  $\beta_\theta$  і  $\lambda_\theta$  по ширині і довжині накладки, при цьому зручно представити накладку у вигляді розгортки представляє собою пластину товщиною  $H_n$ , довжиною  $L_n$  і шириною  $B_n$ . Внаслідок цього завдання стає симетричним щодо поздовжньої і поперечної осі накладки і можна розглядати чверть накладки з шириною  $B_n/2$ , довжиною  $L_n/2$  і товщиною  $H_n$ . Тоді відповідно для охолодження (нагрівання) необмеженої пластини маємо:

$$\theta_b = \frac{\left( \frac{\mu_n}{b \cdot (\mu_n + \sin \mu_n \cdot \cos \mu_n)} \times \sum_{n=1}^{n \rightarrow \infty} \left( \int_{-b}^{+b} F(b)_{t=0} \cdot \cos \left( \mu_n \cdot \frac{2 \cdot b}{B_n} \right) \cdot db \right) \times \cos \left( \mu_n \cdot \frac{2 \cdot b}{B_n} \right) \cdot e^{-\mu_n^2 \cdot \frac{a \cdot t}{B_n^2}} \right)}{\tau_H} \quad (12)$$

$$\theta_l = \frac{\left( \frac{\mu_n}{l \cdot (\mu_n + \sin \mu_n \cdot \cos \mu_n)} \times \sum_{n=1}^{n \rightarrow \infty} \left( \int_{-l}^{+l} F(l)_{t=0} \cdot \cos \left( \mu_n \cdot \frac{2 \cdot l}{L_n} \right) \cdot dl \right) \times \cos \left( \mu_n \cdot \frac{2 \cdot l}{L_n} \right) \cdot e^{-\mu_n^2 \frac{a \cdot t}{L_n^2}} \right)}{\tau_H} \quad (13)$$

де  $\int_{-b}^{+b} F(b)_{t=0} \cdot \cos \left( \mu_n \cdot \frac{2 \cdot b}{B_n} \right) \cdot dB$  - функція розподілу температури по ширині накладки в початковий момент часу;

$\int_{-l}^{+l} F(l)_{t=0} \cdot \cos \left( \mu_n \cdot \frac{2 \cdot l}{L_n} \right) \cdot dL$  - функція розподілу температури по довжині накладки в початковий момент часу.

Поширення тепла по глибині матеріалу накладки і контргіла в період природного охолодження, поверхонь що труться дорівнює:

$$\theta_{r1,r2} = \frac{\left( \sum_{n=1}^{n \rightarrow \infty} \frac{2}{r_0^2 \cdot (J_0^2(\mu_n) + J_1^2(\mu_n))} \times \left( \int_0^{r_0} r \cdot F(r)_{t=0} \cdot J_0 \cdot \left( \mu_n \cdot \frac{r}{r_0} \right) \cdot dr \right) \times J_0 \cdot \left( \mu_n \cdot \frac{r}{r_0} \right) \cdot e^{-\mu_n^2 \frac{a \cdot t}{r_0^2}} \right)}{\tau_H} \quad (14)$$

де  $\int_0^{r_0} r \cdot F(r)_{t=0} \cdot J_0 \cdot \left( \mu_n \cdot \frac{r}{r_0} \right) \cdot dr$  - функція розподілу температури по глибині накладки в початковий момент часу.

Коефіцієнти безрозмірною температури  $\theta_b$  і  $\theta_l$  визначаються за виразами (12), (13) з новими розподілами початкової температури вздовж і впоперек накладки, які фактично є розподілами температури в кінцевий період часу попереднього етапу процесу гальмування.

Наведений вище алгоритм розрахунку повторюється n-ну кількість разів з відповідними початковими вхідними параметрами до моменту досягнення теплового балансу, при якому кількість поглиненої енергії, яка виділяється при гальмуванні, дорівнює кількості енергії, що виділилася в навколишнє середовище. На рис. 4, 5 показано розподіл температури поверхні тертя для асфобрикційного матеріалу EM-2, що має такі характеристики:  $\lambda=0,00011$  ккал/м·с·°C,  $\Gamma=2000$  кг/м<sup>3</sup>,  $3=0,0245$  ккал /кг·°C , І нового фрикційного матеріалу з характеристиками:  $\lambda=0,0024$  ккал/м·с·°C,  $\Gamma=1750$  кг/м<sup>3</sup>,  $c=0,71$  ккал/кг·°C, Після здійснення 96

гальмувань. З правого боку наведені експериментальні, а з лівого - теоретично отримані дані температурного стану фрикційного матеріалу гальмівного пристрою, що працює в повторно короткочасному режимі.

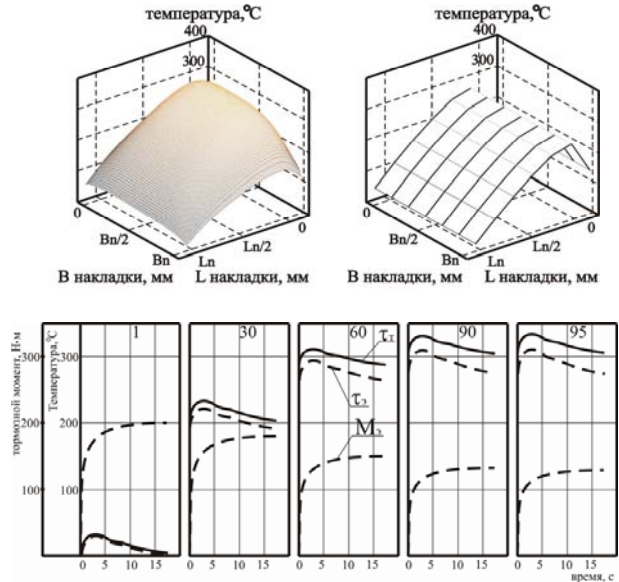


Рис. 4. Результати теоретичного та експериментального дослідження об'ємного температурного стану фрикційного матеріалу EM-2 гальмівного пристрою що працює, в повторно-короткочасному режимі;  
 — — — — — теоретично результати,  
 - - - - - експериментальні результати

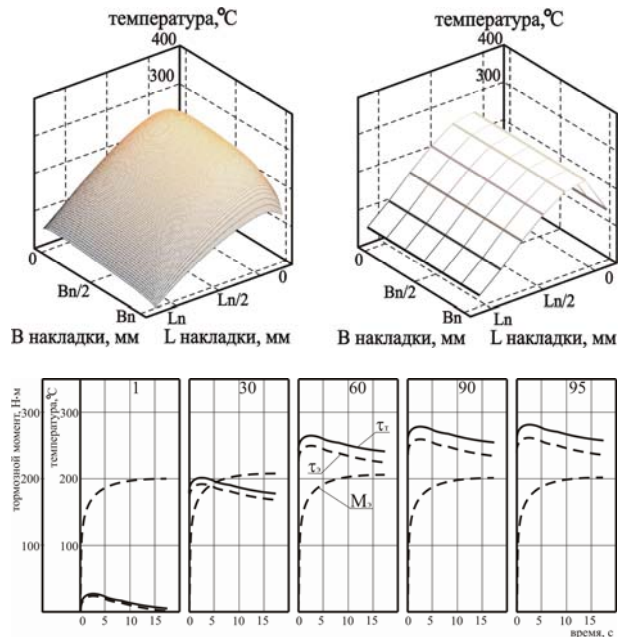


Рис. 5. Результати теоретичного розрахунку об'ємного температурного стану фрикційного матеріалу з поліпшеними теплофізичними параметрами гальмівного пристрою, що працює в повторно-короткочасному режимі;  
 — — — — — теоретично результати,  
 - - - - - експериментальні результати

Таким чином, при проектуванні нових фрикційних матеріалів, знаючи основні геометричні параметри гальмівних пристроїв, режими роботи механізмів і умови охолодження, можна здійснити підбір раціональних теплофізичних параметрів фрикційного матеріалу, які б забезпечували більш сприятливі теплові умови роботи фрикційного вузла гальмівного пристрою. Переймаючись різними теплофізичними параметрами існуючих фрикційних матеріалів, дана методика розрахунку з достатньою точністю дозволяє визначити характер розподілу температурного поля за обсягом фрикційного вузла і температуру теплового балансу. Що в свою чергу дає можливість зробити висновки про придатність того чи іншого фрикційного матеріалу для застосування в новому проектованому або в уже існуючому гальмівному пристрої.

**Висновок.** На підставі дослідження умов роботи вантажних автомобілів уточнена закономірність нестационарного режиму зміни температури, поверхонь гальма що труться, яке працює у повторно-короткочасному режимі, за рахунок виділення основних процесів теплообміну, що виникають на всіх етапах одного циклу роботи гальмівного пристрою. Отримано аналітичний вираз щільності теплового потоку при реальному розподілі питомої тиску в зоні контакту поверхонь тертя і вектора приросту температури уздовж поверхні тертя. На основі загальної теорії теплопровідності, розроблена математична модель об'ємного температурного стану фрикційного матеріалу гальмівного пристрою, що працює в повторно-короткочасному режимі, що враховує відмінність його теплофізичних параметрів за різними напрямками.

#### Література

- Германчук Ф. К. Долговечность и эффективность тормозных устройств.- М.: Машиностроение, 1973.- 176 с.
- Иноземцев В. Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава.-М.: Транспорт, 1979. – 424 с., ил. табл. – Библиограф.: с. 422.
- Костерин Ю. И. Некоторые методические вопросы натуральных испытаний автомобильных тормозных накладок // Расчёт и испытание фрикционных пар: Сб. науч. работа. – М.: Машиностроение, 1974.
- Крагельский И. В., Добычин М. М. Комбалов В. С. Основы расчётов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. - 523 с.
- E. Fitzer, The future of carbon-carbon composites, Carbon, v.25, №2, 1987, p.p 13-190.
- E. Bruneton, B. Narcis and A. Oberlin, Carbon-carbon composites prepared by a rapid densification prose: 1. Syntesis and phisico-chemical data, Carbon, v.35, №10-11, 1997, p.p. 1593-1599.
- V.A. Gurin. Researches and development of the production technologies of brake discs for aircraft, crucibles, tubes, thin walled cylinders, cones and other technological rigging for the electrothermal equipment. STCU, project 293-technical report on stage 4, 1997, p.p. 1-49.
- Berg Ю., Калининский А. Испытания тормозных накладок из композиционных материалов // ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ МИРА. – 1985. – №6. – С. 39-42.
- Цудзимура Т. И др. Тормозные колодки из специального чугуна // ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ МИРА. – 1992. – №6. – С. 30-34.
- Гинзбург А. Г., Чичинадзе А. В. Исследование зависимости коэффициента трения от температуры при нестационарном режиме трения // Расчет и моделирование режима работы тормозных и фрикционных устройств: Сб. науч. работ. – М., Нука, 1974. – С. 24-28.
- Крагельский И. В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. -480 с.
- Тормозные устройства: [Справочник] / М. П. Александров, А. Г. Лысяков, В. Н. Федосеев, М. В. Новожилов; Под общ. ред. М. П. Александрова. – М.: Машиностроение, 1985. –312 с., ил.
- Иноземцев В. Г. Тепловые расчёты при проектировании и эксплуатации тормозов. – М.: Транспорт, 1966, -40 с.

#### References

- Germanchuk FK Durability and efficiency of braking devices.- М.: Mashinostroenie, 1973.-176 p.
- Inozemtsev VG Brakes of railway rolling stock. -М.: Transport, 1979. - 424 p., Ill. Table. - Bibliography.: p. 422.
- Kosterin Yu. I. Some methodical questions of full-scale tests of automobile brake linings // Calculation and testing of friction pairs: Sat. sci. Job. - Moscow: Mashinostroenie, 1974.
- Kragelskiy IV, Dobychin MM Kombalov VS The basics of calculations for friction and wear. - Moscow: Mechanical Engineering, 1977. - 523 p.
- E. Fitzer, The future of carbon-carbon composites, Carbon, v.25, No. 2, 1987, pp. 13-190.
- E. Bruneton, B. Narcis and A. Oberlin, Car-bon-carbon composites prepared by a rapid densification: 1. Syntesis and phisico-chemical data, Carbon, v.35, No. 10-11, 1997, pp 1593-1599.
- V.A. Gurin. Researches and development of the production technologies for brake discs for air-craft, crucibles, tubes, thin walled cylinders, cones and other technological rigging for the electrothermal equipment. STCU, project 293-technical report on stage 4, 1997, p.p. 1-49.
- Berg Yu., Kalinkovsky A. Tests of tormo-patches from composite materials // RAILWAYS OF THE WORLD. - 1985. - №6. - P. 39-42.
- Tsudzimura T. et al. Brake pads made of special cast iron // RAILWAYS OF THE WORLD. - 1992. - № 6. - P. 30-34.
- Ginzburg, AG and Chichinadze, AV, Investigation of the friction coefficient versus temperature for a nonstationary friction regime, in Calculation and Modeling of the Operating Conditions of Braking and Frictional Devices: Sat. sci. works. - М., Нука, 1974. - P. 24-28.
- Kragelsky I. V. Friction and wear. - Moscow: Mashinostroenie, 1968. -480 p.
- Brake devices: [Reference book] / MP Aleksandrov, AG Lysyakov, VN Fedoseev, MV Novozhilov; Under the Society. Ed. MP Aleksandrova. - М.: Mechanical Engineering, 1985. -312 p., Ill.
- Inozemtsev VG Thermal calculations in the design and operation of brakes. - Moscow: Transport, 1966, -40 p.

**Полупан Е.В., Шевченко С.И. Полупан Ю.В.  
Повышение эффективности торможения автомобилей  
путем совершенствования тормозной системы**

*В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности и надежности узлов и деталей автомобилей, направленное на интенсификацию их производительности. Выполнен анализ тепловой нагруженности тормозов автомобилей. Предложена модель расчета объемной тепловой нагруженности фрикционных накладок тормозов грузовых автомобилей. Приведены рекомендации направлены на повышение эффективности торможения автомобиля.*

**Ключевые слова:** автомобиль, тормоз, фрикционные накладки, тепловую нагрузку.

**Polupan E., Shevchenko S. Polupan J. Improvement  
of efficiency of braking of cars by increasing the brake  
system**

*The article considers the issues of increase of efficiency and reliability of units and parts of cars, aimed at intensifying their productivity. You-konano analysis of thermal load of brakes of auto-mobiles. The model of calculation of volumetric teplovoy load of friction pads of brake cars of trucks is proposed. The recommendations are directed to increase the efficiency of braking the car.*

**Keywords:** car, brakes, friction masonry, thermal load.

**Полупан Є.В.** – к.т.н., доц. кафедри «Залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин» СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

**Шевченко С.І.** – к.т.н., доц. кафедри «Залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин» СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

**Полупан Ю.В.** – к.т.н., доц. кафедри «Програмування та математики» СНУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 22.03.2018.

УДК 656.073.28

## ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ В МІЖМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ

Потаман Н.В., Варнаков В.І.

### DETERMINATION OF THE RATIONAL TECHNOLOGY OF CARGO DELIVERY IN THE INTERCITY

Potaman N., Varnakov V.

*В процесі проведення досліджень щодо вибору раціональної технології доставки вантажів було встановлено функціональний взаємозв'язок між загальними витратами та параметрами системи доставки, розроблені регресійні моделі залежності витрат від параметрів об'єкта дослідження для кожної з запропонованих технологій доставки, визначено області ефективного використання різних технологій доставки вантажів в міжміському сполученні, при яких значення загальних витрат мінімальне, запропоновано методичку визначення економічної ефективності від впровадження отриманих результатів для кожного учасника процесу доставки.*

**Ключові слова:** витрати, транспортно-технологічна схема, регресійна модель, технологія.

**Вступ.** Сучасну місію транспортування в системі логістичного сервісу можна коротко сформулювати таким чином: «доставляти потрібний товар необхідної якості і кількості в заданий час з оптимальними витратами». У структурі логістичних витрат транспортні витрати складають значну долю – 20 – 40 % і більше, тому оптимізація рішень в транспортуванні дозволить логістичному менеджеру отримати значну економію витрат. Для кожного конкретного випадку доставки вантажу може бути розроблена раціональна технологічна схема перевезень [1].

**Постановка проблеми.** Технологічний процес сучасного транспортного виробництва має являти собою єдину, чітко послідовну систему взаємозалежних операцій, що регламентують усі без винятку дії з переміщення вантажів у відправника, при транспортуванні та споживача [2]. Від технології й відповідно її організації залежать економічна ефективність виробництва. Процес доставки вантажів автомобільним транспортом може бути економічно вигідним, якщо він буде спроектований з урахуванням специфіки роботи відправників і споживачів вантажу на базі кращих досягнень зарубіжного й вітчизняного досвіду,

науки і техніки, а його функціонування мінімально відхилятиметься від проектних параметрів [3].

Для забезпечення конкурентоспроможності автомобільних перевезень необхідна їх оптимізація, але не на останньому етапі доставки вантажів автомобільним транспортом, а по всьому маршруту, за рахунок об'єднання всіх учасників перевезення єдиною технологією. У більшості випадків неузгодженість дій призводить до простоїв транспортних засобів, не повного використання вантажності автомобілів, та відповідно до додаткових витрат.

**Аналіз публікацій.** Питанням підвищення ефективності доставки вантажу, обліку і оптимізації витрат на доставку вантажів приділяли увагу у своїх наукових працях такі учені, як А.Н. Горяїнов [4], В.С. Лукинський [5], М.А. Кристофер [6], Нагорний Є.В. [7], Джонсон Жс.С. [8], Северин О.О. [9] та інші. При огляді літературних джерел встановлено, що основним засобом вдосконалення процесу доставки вантажу є ряд підходів по вибору раціонального технологічного процесу перевезень продукції, яка дозволяють створити модель процесу доставки, але при цьому для одержання конкретних практичних результатів потрібне проведення трудомістких експериментальних досліджень. При цьому в даній області теоретичних досліджень можна визначити, що значна кількість досліджень не розглядають такі поняття, як технологія доставки, матеріалопотік та загальні витрати на доставку, як одну цілісну систему.

**Мета дослідження.** Вибір раціональної технології доставки тарно-штучних вантажів на основі мінімальних витрат на доставку.

**Результати досліджень.** На підставі аналізу існуючих технологій доставки вантажів в міжміському сполученні було виділено наступні елементи системи доставки – це формування транспортного пакету, подача рухомого складу, страхування вантажу, оформлення перевізних

документів, навантаження, транспортування, розвантаження. Кожному елементу системи відповідає показник, що дає можливість охарактеризувати процес доставки вантажу. Для проведення дослідження пропонуються для розгляду наступні технологічні схеми доставки вантажу в міжміському сполученні.

Згідно першої схеми (**ВВ-П-ВО**), між вантажовідправником (ВВ) та вантажоодержувачем (ВО) існує інформаційний зв'язок без використання посередників. Вантажовідправник подає заявку до перевізника (П) на здійснення перевезення його рухомим складом. Перевізник виконує переміщення матеріального потоку від вантажовідправника до вантажоодержувача.

Згідно другої схеми (**ВВ-П-Е-ВО**), інформаційний обмін між вантажовідправником (ВВ) і вантажоодержувачем (ВО) і перевізником (П) здійснює експедитор (Е). Перевізник з власним рухомим складом переміщує матеріальний потік від вантажовідправника до вантажоодержувача.

Згідно третьої схеми (**ВВ-П-Е-Т-ВО**), інформаційний потік між учасниками координує експедитор (Е). Перевізник (П) 1 з власним рухомим складом переміщує матеріальний потік від вантажовідправника (ВВ) до терміналу (Т), де відбувається перерозподіл вантажу. Перевізник 2 з власним рухомим складом здійснює подальше переміщення матеріального потоку від терміналу до вантажоодержувача (ВО).

Загальні витрати складаються з наступних показників

$$V_{заг} = V_{ВВ} + V_{П} + V_{Е} + V_{Т} + V_{ВО}, \quad (1)$$

де  $V_{заг}$  – загальні витрати на доставку, грн.;  $V_{ВВ}$  – витрати вантажовідправника, грн.;  $V_{П}$  – витрати перевізника, грн.;  $V_{Е}$  – витрати експедитора, грн.;  $V_{Т}$  – витрати терміналу, грн.;  $V_{ВО}$  – витрати вантажоодержувача, грн.

Згідно схеми взаємодії учасників транспортного процесу при доставці вантажів за участю перевізника з власним рухомим складом витрати для вантажовласника будуть розраховуватись за наступною формулою

$$V_{ВВ} = V_{форм.тр.п.} + V_{оф.док.} + V_{пр.н.} + V_{заморож.кап.}, \quad (2)$$

де  $V_{форм.тр.п.}$  – витрати на формування транспортного пакету, грн.;  $V_{оф.док.}$  – витрати на оформлення документів, грн.;  $V_{пр.н.}$  – витрати на простій при навантаженні, грн.;  $V_{заморож.кап.}$  – витрати внаслідок заморожування капіталу, грн.

Витрати перевізника складатимуть

$$V_{П} = V_{тр.} + V_{стр} + V_{под.РС}, \quad (3)$$

де  $V_{тр.}$  – витрати на транспортування, грн.;  $V_{стр}$  – витрати на страхування, грн.;  $V_{под.РС}$  – витрати на подачу рухомого складу, грн.

Витрати вантажоодержувача будуть розраховуватись за формулою

$$V_{ВО} = V_{пр.р.} + V_{розф.тр.п.}, \quad (4)$$

де  $V_{пр.р.}$  – витрати на розвантаження, грн.;  $V_{розф.тр.п.}$  – витрати на розформування транспортного пакету, грн.

Згідно схеми взаємодії учасників транспортного процесу за участю перевізника з власним рухомим складом та експедитора, витрати для вантажовласника будуть розраховуватись

$$V_{ВВ} = V_{форм.тр.п.} + V_{пр.н.} + V_{заморож.кап.}, \quad (5)$$

Витрати для перевізника

$$V_{П} = V_{тр.} + V_{под.РС}, \quad (6)$$

Витрати для експедитора

$$V_{Е} = V_{оф.док.} + V_{стр} + V_{н}, \quad (7)$$

де  $V_{н}$  – витрати на координацію учасників процесу доставки і пошук рухомого складу, грн.

Згідно схема взаємодії учасників транспортного процесу за участю двох перевізників з власним рухомим складом, терміналом та експедитором витрати для вантажовласника будуть розраховуватись за формулою (5). Витрати для перевізника будуть розраховуватись

$$V_{н} = V_{тр.до т.} + V_{тр.після т.}, \quad (8)$$

де  $V_{тр.до т.}$  – витрати на транспортування до терміналу, грн.;  $V_{тр.після т.}$  – витрати на транспортування після терміналу, грн.

Витрати експедитора розраховуються за формулою (7). Витрати на терміналі розраховуються наступною формулою

$$V_{т} = V_{зб} + V_{пр} + V_{розф.тр.п.} + V_{форм.тр.п.}, \quad (9)$$

де  $V_{зб}$  – витрати на зберігання вантажу, грн.;  $V_{пр}$  – витрати на простій під навантаженням-розвантаженням, грн.

Для реалізації експериментальних досліджень було сконструйовано програмний код на мові програмування C#, який дозволяє проводити розрахунок загальних витрат на доставку вантажів по кожній запропонованій в роботі технологічній схемі. Блок-схема алгоритму вибору раціональної технології доставки вантажів в міжміському сполученні за критерієм найменших витрат на доставку представлена на рисунку 1.

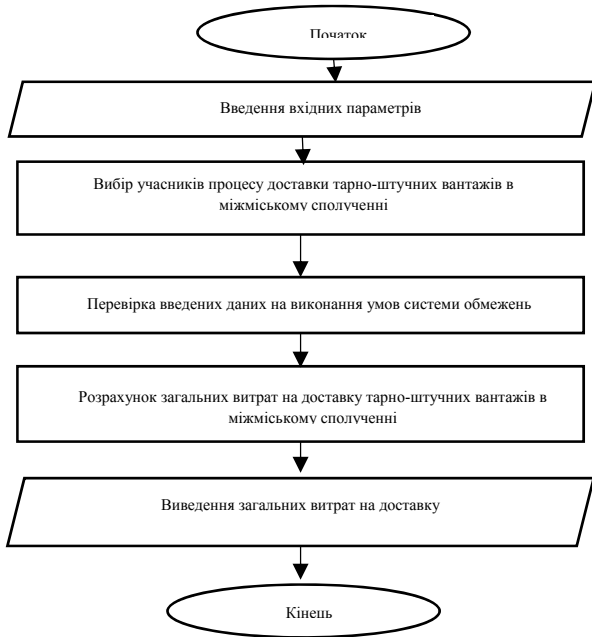


Рис. 1. Блок-схема алгоритму вибору раціональної технології доставки вантажів в міжміському сполученні

Метою експерименту в даній роботі є визначення закономірностей впливу параметрів системи доставки на витрати на доставку вантажів в міжміському сполученні. Аналізуючи математичні моделі загальних витрат ймовірно визначили наступні фактори, що впливають на витрати: розмір замовлення, т; кількість заявок, що поступають, од.; відстань доставки, км. Враховуючи кількість факторів, яка впливає на кінцевий результат і рекомендації відносно вимог до планів, є доцільним використовувати план повнофакторного експерименту.

Визначення закономірностей впливу параметрів системи можливо розраховувати за допомогою декількох способів. Найбільш простим є «регресійний», тобто розрахунок шляхом екстраполяції від досягнутого рівня. Для знаходження коефіцієнтів регресії використовувався метод найменших квадратів. Результатом проведеного експерименту є регресійні рівняння для кожної з запропонованих технологічних схем (таблиця).

Таблиця

**Регресійні рівняння для кожної з запропонованих схем**

Схема доставки	Отримане рівняння
ВВ-П-ВО	$B_{заг} = 96,93 \cdot g^{0,25} \cdot N^{0,42} \cdot L^{0,13}$
ВВ-П-Е-ВО	$B_{заг} = 199,21 \cdot g^{0,23} \cdot N^{0,35} \cdot L^{0,11}$
ВВ-П-Е-Т-ВО	$B_{заг} = 190,98 \cdot g^{0,25} \cdot N^{0,42} \cdot L^{0,14}$

Отримані регресійні моделі мають достатню адекватність, для того щоб забезпечити необхідну для практичних розрахунків точність та отримати рішення щодо вибору раціональної технології доставки вантажів.

На рисунках 2–4 представлено графіки залежності загальних витрат на доставку вантажів в міжміському сполученні від вхідних параметрів моделі, а саме розміру замовлення, кількості заявок, що поступають та відстані доставки.

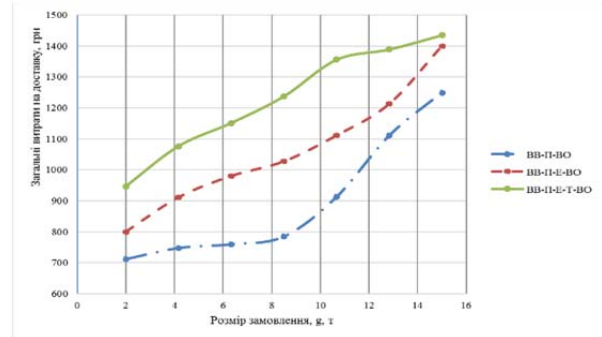


Рис. 2. Графік залежності загальних витрат від розміру замовлення для трьох схем доставки вантажів в міжміському сполученні

Аналізуючи графік залежності загальних витрат від розміру замовлення для трьох схем доставки вантажів в міжміському сполученні можна зробити наступний висновок, що при розмірі замовлення від 2т до 15т доцільно використовувати схему взаємодії учасників транспортного процесу при доставці вантажів за участю перевізника з власним рухомим складом (ВВ-П-ВО).

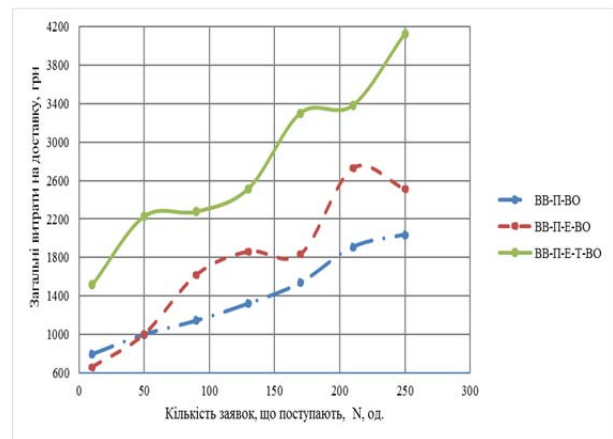


Рис. 3. Графік залежності загальних витрат від кількості заявок, що поступають для трьох схем доставки вантажів в міжміському сполученні

Згідно графіку залежності загальних витрат від кількості заявок, що поступають, можна зробити висновок, що від 10 до 50 заявок доцільно використовувати схему взаємодії учасників транспортного процесу за участю перевізника з власним рухомим складом та експедитора (ВВ-П-Е-ВО), а від 50 та більше заявок доцільно використовувати схему взаємодії учасників транспортного процесу за участю перевізника з власним рухомим складом (ВВ-П-ВО).

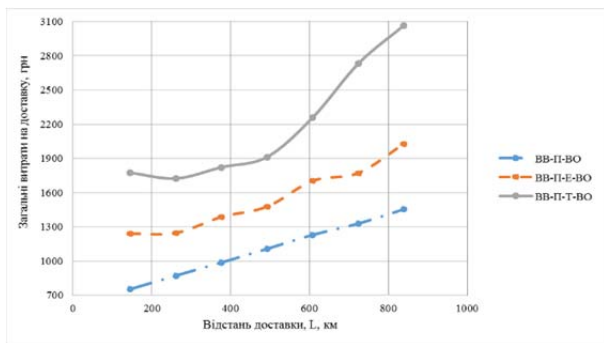


Рис. 4. Графік залежності загальних витрат від відстані доставки для трьох схем доставки вантажів в міжміському сполученні

Аналізуючи графік залежності загальних витрат від відстані доставки для трьох схем доставки вантажів у міжміському сполученні можна зробити висновок, що зі збільшенням відстані доставки вантажу зростають загальні витрати на доставку. У визначеному діапазоні зміни відстані доставки, а саме від 145 до 839 км раціональним буде використання схеми взаємодії учасників транспортного процесу за участю перевізника з власним рухомим складом (ВВ-П-ВО).

Впливове значення при обґрунтуванні ефективності участі в процесі доставки окремих учасників має методика оцінки розподілу синергетичного ефекту між суб'єктами незалежно від об'єктів транспортного ринку [10]. За допомогою програмного продукту було розраховано загальні витрати та частку витрат кожного учасника на доставку вантажів для раціональної технології доставки вантажів в міжміському сполученні при заданих умовах.

Результати розрахунку представлені на рисунку 5. Синергетичний ефект  $i$ -го учасника процесу доставки вантажів знаходиться за залежністю

$$E_i = E \cdot \delta_i, \quad (10)$$

де  $\delta_i$  – частка витрат  $i$ -го учасника процесу доставки вантажів.

Для схеми 1 общие затраты составляют: 749,63 грн	
Расходы стороны "Грузоотправитель"	= 343,7 грн (45,85%)
Расходы стороны "Перевозчик"	= 354,86 грн (47,34%)
Расходы стороны "Грузополучатель"	= 51,07 грн (6,81%)
Для схеми 2 общие затраты составляют: 1050,9 грн	
Расходы стороны "Грузоотправитель"	= 652,95 грн (62,13%)
Расходы стороны "Перевозчик"	= 265,46 грн (25,26%)
Расходы стороны "Грузополучатель"	= 48,88 грн (4,65%)
Расходы стороны "Экспедитор"	= 83,62 грн (7,96%)
Для схеми 3 общие затраты составляют: 1399,84 грн	
Расходы стороны "Грузоотправитель"	= 345,57 грн (24,69%)
Расходы стороны "Перевозчик"	= 530,04 грн (37,86%)
Расходы стороны "Грузополучатель"	= 49,66 грн (3,55%)
Расходы стороны "Экспедитор"	= 58,65 грн (4,19%)
Расходы стороны "Терминал"	= 415,93 грн (29,71%)

Рис. 5. Результати розрахунку загальних витрат кожного учасника процесу доставки

**Висновки.** При здійсненні перевезення вантажів в міжміському сполученні існує безліч можливих технологій організації доставки вантажів. Наявність особливостей перевезення вантажів в міжміському сполученні вимагає можливості вибору з безлічі технологій доставки саме ту, яка дозволить підвищити ефективність доставки та знизити витрати на доставку вантажів. При цьому вкрай важливо урахувувати розподіл синергетичного ефекту між суб'єктами незалежно від об'єктів транспортного ринку.

## Література

1. Чухрай Н. Формування ланцюга поставок: питання теорії та практики. Монографія / Чухрай Н., Гірна О. – Львів: "Інтелект17.28 – Захід", 2007. – 232 с.
2. Малиновский В.Б., Единые технологические процессы централизованной доставки грузов / Малиновский В.Б., Попченко Л.Г., Заенчик Л.Г. и др. - К.: Техніка, 1988. - 167 с.
3. Наумов В.С. Транспортно-экспедиционное обслуживание в логистических системах: монография / В.С. Наумов. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 220 с.
4. Горьяинов А.Н. Описание структурной схемы перевозок грузов в междугородном сообщении / Горьяинов А.Н. Федорова Т.Ф. // Харьковская национальная академия городского хозяйства. – 2008.
5. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики : учебное пособие / В.С. Лукинский. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2007. – 448 с.
6. Кристофер, М. Логистика и управление цепочками поставок / Под ред. В.С. Лукинского // . – СПб.: Питер, 2004. – 316 с.
7. Нагорний Є. В. Формування варіантів технології доставки тарно-штучних вантажів автомобільним транспортом у міжміському сполученні / Є. В. Нагорний, В. С. Наумов, О. О. Шуліка // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины, ХНАДУ ; – Харьков, 2013. – Вып. 32. – С. 61-66.
8. Джонсон Дж. С. Современная логистика [Текст] / Дж. С. Джонсон. – 7-е изд.; пер с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2002. – 624 с.
9. Северин О.О., Визначення показника до вибору ефективної технології перевезення тарно-штучних вантажів / Северин О.О., Шуліка О.О., Лисак Р.В. // НУК, Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Розвиток наукової думки - 2008» - 2008 - т. 4. - С. 109 - 115.
10. Коровкина Е.Б. К вопросу об эффективности и рациональности расходования средств / Коровкина Е.Б. – М: Финансы. – 2004. - №11 – С. 25-27.

## References

1. Chuhraj N. Formuvannja lantsjuga postavok: pitannja teorii ta praktiki. Monografija / Chuhraj N., Girma O. – L'viv: "Intelekt17.28 – Zahid", 2007. – 232 s.
2. Malinovskij V.B., Edinye tehnologiche-skie protsessy tsentralizovanoj dostavki грузов / Malinovskij V.B., Popchenko L.G., Zaenichik L.G. i dr. - K.: Tehnika, 1988. - 167 s.
3. Naumov V.S. Transportno-`ekspeditcionnoe obsluzhivanie v logisticheskikh sistemah: monogra-fija / V.S. Naumov. – H.: HNADU, 2012. – 220 s.

4. Gorjainov A.N. Opisaniye strukturnoj shemy perevozkov gruzov v mezhdugorodnom soobsche-nii / Gorjainov A.N. Fedorova T.F. // Har'kovskaja natsional'naja akademija gorodskogo hazjajstva. – 2008.
5. Lukinskij V.S. Modeli i metody teorii logistiki : uchebnoe posobie / V.S. Lukinskij. – 2-e izd. – SPb. : Piter, 2007. – 448 s.
6. Kristofer, M. Logistika i upravlenie tse-pochkami postavok / Pod red. V.S. Lukinskogo // . – SPb.: Piter, 2004. – 316 s.
7. Nagornij Є. V. Formuvannja variantiv teh-nologii dostavki tarno-shtuchnih vantazhiv avtomobi-l'nim transportom u mizhmis'komu spoluchenni / Є. V. Nagornij, V. S. Naumov, O. O. Shulika // Avtomobi-l'nyj transport : sb. nauch. tr. / M-vo obrazovaniya i nauki Ukrainy, HNADU ; – Har'kov, 2013. – Vyp. 32. – S. 61-66.
8. Dzhonson Dzh. S. Sovremennaja logistika [Tekst] / Dzh. S. Dzhonson. – 7-e izd.; per s angl. – M.: Izdatel'skij dom “Vil'jams”, 2002. – 624 s.
9. Severin O.O., Viznachennja pokaznika do vi-boru efek-tivnoї tehnologii perevezennja tarno- shtu-chnih vantazhiv / Severin O.O., Shulika O.O., Lisak R.V. // NUK, Materiali Vseukr. nauk.-prakt. konf. «Rozvitok naukoivoї dumki - 2008» - 2008 - t. 4. - S. 109 - 115.
10. Korovkina E.B. K voprosu ob `effektivno-sti i ratsional'nosti rashodovanija sredstv / Ko-rovkina E.B. – M:Finansy. – 2004. - №11 – S. 25-27.

**Потаман Н.В., Варнаков В.И. Выбор рациональной технологии доставки грузов в междугороднем сообщении.**

*В процессе проведения исследований по выбору рациональной технологии доставки грузов было установлено функциональную взаимосвязь между общими затратами и параметрами системы доставки, разработаны регрессионные модели зависимости общих затрат от параметров объекта исследования для каждой из предлагаемых технологий доставки, определены области эффективного использования различных технологий доставки грузов в междугородном*

*сообщении, при которых значение общих затрат минимальное, предложена методика определения экономической эффективности от внедрения полученных результатов для каждого участника системы доставки.*

**Ключевые слова:** *расходы, транспортно технологическая схема, регрессионная модель, технология.*

**Potaman N., Varnakov V. Determination of the rational technology of cargo delivery in the intercity.**

*Relevance of the topic of work is the existing necessity of forming a rational cargo delivery technology in intercity communication. The development of a mathematical model for the delivery of cargoes in intercity communication will allow to receive informed technological and managerial decisions, to carry out perspective planning on the basis of information on changes in the total cost of delivery of cargoes from changes in the main indicators of the system operation. The functional relationship between the total costs and the parameters of the delivery system was established, the regression model of the dependence of expenses on the parameters of the research object was developed, the areas of efficient use of various technologies of delivery of cargoes in intercity communication were determined, in which the value of total expenses is minimal, a method for determining the economic efficiency from the implementation of the obtained results has been proposed.*

**Keywords:** *expenses, transport technological scheme, regression model, technology.*

**Потаман Наталя Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків. E-mail – [potaman81@ukr.net](mailto:potaman81@ukr.net)  
**Варнаков Владислав Ігоревич** – Магістр, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків. E-mail – [varnakov-vlad@mail.ru](mailto:varnakov-vlad@mail.ru)

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 13.04.2018.

УДК 629.463; 629.4.027.35

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СЕРІЙНОЇ ТА УДОСКОНАЛЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ ФРИКЦІЙНОГО ГАСИТЕЛЯ КОЛИВАНЬ ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНУ

Потапенко О.О., Могила В.І.

## RESULTS OF RESEARCHES OF WORK OF SERIAL AND ADVANCED DESIGNS OF THE FRICTIONAL QUENCHER OF FLUCTUATIONS OF THE CART OF THE FREIGHT CAR

Potapenko O., Mogila V.

*У статті розглянуто недоліки конструкції візка вантажного вагону, проаналізовано останні дослідження та публікації з даної тематики, використано аналітичний та емпіричний методи дослідження для визначення технічних характеристик удосконалених та серійної конструкції фрикційного гасителя коливань.*

*Вперше визначено, проаналізовано та представлено результати досліджень напружено-деформованого стану елементів фрикційного апарату візка вантажного піввагону моделі 12-7019 КрВЗ та удосконалених конструкцій під дією статичного навантаження засобами комп'ютерного моделювання, а саме: епюра переміщень; графік зміни прогину комплекту пружин від дії вертикальних навантажень; еквівалентні напруги комплекту пружинної підвіски; діаграма пропорційного розподілу навантажень; графік поглинання енергії гасителя коливань; результати впливу конструкцій ресорного комплексу на динамічну поведінку вантажного піввагону при швидкостях руху в діапазоні від 10 до 200 км/год.*

*Підтверджено доцільність використання удосконалених конструкцій гасителя коливань.*

**Ключові слова:** фрикційний гаситель коливань, удосконалена конструкція, прогин, жорсткість, напруга, енергія поглинання, динамічні показники.

**Вступ.** В значній мірі успіх організації швидкісних перевезень залежить від технічних характеристик рухомого складу, що значною мірою визначається конструктивними схемами і параметрами ходових частин [1]. Розвиток та створення залізничного транспорту, відповідаючого вимогам сьогодення, спирається на відкриття та винаходи видатних науковців та інженерів з використанням результатів фундаментальних науково-технічних досліджень [2]. Незважаючи на великий об'єм отримуваних результатів досліджень динамічних властивостей швидкісного рухомого складу, його адаптація до умов експлуатації на існуючих залізничних лініях потребує подальшої

поглибленої оцінки відповідності екіпажів нової генерації щодо забезпечення гарантованої безпеки руху і плавності ходу [1].

**Постановка проблеми.** Застосування візків – аналогів моделі 18-100, в якості ходових частин для вантажних вагонів нового покоління, істотно обмежує швидкісні можливості.

Раніше проведений аналіз конструкцій застосовуваних моделей візків вантажних вагонів та гасителів коливань [2 – 4], свідчить, про те, що не дивлячись на конструктивні удосконалення, всі вони в тій чи іншій мірі мають недоліки, які істотно впливають на безпеку руху. У ряді випадків ці недоліки посилюються недостатніми динамічними та міцністними характеристиками візків, недостатньою зв'язаністю бічних рам та стійкістю до зносу взаємодіючих фрикційних рухомих сполучень [4].

Однією з умов, обмежуючих підвищення швидкості руху та поліпшення динамічних показників ресорного підвищення екіпажу, і перш за все, клинових гасителів коливань, є силові фрикційні зв'язки ходових частин рейкових екіпажів, які обумовлюють швидкісні якості рухомого складу [4].

З метою покращення динамічних якостей та робочих характеристик системи демпфірування, запропоновано удосконалена конструкцію фрикційного клину та пружинного комплексу.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Визначну роль у розвитку наукових підходів до визначення раціональних схем конструкцій та параметрів ходових частин рухомого складу відіграли фундаментальні праці академіка В.А. Лазаряна, а також його учнів і послідовників – Є.П. Блохіна, В.Д. Дановича, М.І. Капиці, Л.А. Длугача, Ю.В. Дьоміна, М.Л. Коротенка, Л.А. Манашкіна, О.М. Пшинько, В.Г. Маслієва,

С.В. Мямліна, О.А. Львова, О.М. Савчука, В.Ф. Ушкалова та інші [5].

Варто особливо виділити праці останнього періоду, в яких викладені теоретичні та експериментальні дослідження нових конструкцій візків вантажних вагонів: С.П. Блохіна, О.М. Пшинько, В.Д. Дановича, Г.І. Богомаза, Ю.С. Ромена, В.М. Бубнова, С.В. Мямліна, Ю.П. Бороненко, А.В. Третьякова, А.М. Орлової, Е.О. Рудакової, О.М. Савчука, А.Д. Лашко, Ю.В. Дьоміна, В.Ф. Ушкалова, Н.Е. Науменко, М.Б. Кельріха, А.О. Радзіховського, О.А. Шкаброва, В.І. Приходько, А.В. Донченко, Е.Р. Можейко, Д. Шолдана, Е.С. Оганьяна, П.С. Анісімова, В.П. Ефімова, М.М. Соколова, А.М. Соколова, І.І. Челнокова [6 – 15].

Проведений аналіз літературних джерел і патентної документації та розроблена класифікація конструкційних особливостей фрикційних клинів [2] дозволили визначити напрямки модернізації основного вузла ходової частини вантажних вагонів.

Першим напрямом є удосконалення конструкції робочих поверхонь фрикційного клину, фрикційної планки та надресорної балки, а також використання модифікованого пружинного комплексу ресорного підвішування, який складається з внутрішньої циліндричної стандартної та зовнішньої тарілчастої або комбінованої тарілчасто-циліндричної пружини.

Другим напрямом є застосування нових сучасних матеріалів, які забезпечать мінімальний знос робочих поверхонь та стабільність коефіцієнта відносного тертя.

Для першого напрямку модернізації важливо оцінити міцнісні та динамічні характеристики ресорного підвішування пропонуваніх та серійної конструкції, так як саме від них залежить надійність роботи ходових частин та динамічні якості сучасного швидкісного вантажного вагону

**Мета статті.** Метою статті є представлення результатів, отриманих вперше, при проведенні досліджень засобами комп'ютерного моделювання, а саме:

1. напружено-деформованого стану елементів конструкції удосконалених та серійного фрикційного клинового гасителя коливачів візка вантажного піввагону моделі 12-7019 КрВЗ, під дією статичного навантаження в порожньому і вантажному режимі експлуатації;

2. динамічних характеристик ресорного підвішування вантажного піввагону моделі 12-7019 КрВЗ з урахуванням конструктивних змін.

**Результати досліджень.** Основними задачами дослідження були: визначення характеристик жорсткості пружинного комплексу ресорного підвішування; розподіл зусиль, які передаються на його окремі елементи; напружено-деформований стан ресорного підвішування під дією статичного навантаження (в порожньому і вантажному режимі); енергія поглинання коливачів та оцінювання динамічної поведінки після проведених конструктивних змін.

Відповідно до геометричних розмірів, за проектом модернізації (рис. 1) було розроблено комп'ютерну модель пружинної підвіски з використанням програмно-апаратного забезпечення SolidWorks (Dassault Systèmes) [16].

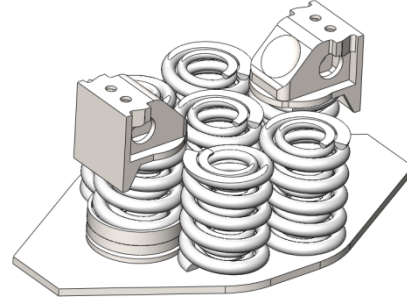


Рис. 1. Модель пружинної підвіски за проектом модернізації

Дослідження напружено-деформованого стану елементів підвіски пружно-фрикційного пристрою візка вантажного вагону також проводились в середовищі SolidWorks.

При оцінці міцності спроектованих елементів досліджуваних конструкцій було застосовано сучасний метод визначення напруженого стану – метод кінцевих елементів (МКЕ).

Розрахунок напружено-деформованого стану окремих елементів підвіски зведено до визначення переміщень вузлів у створеній сітці моделі. Необхідною умовою визначення параметрів елементів підвіски є наявність вхідних даних: геометрія досліджуваного елемента конструкції, механічні характеристики матеріалу конструкції; відомості про діючі навантаження та умови закріплення окремих точок досліджуваного елемента.

Для моделювання поведінки конструкції рівняння стану можна записати у вигляді:

$$C(x) \cdot F = U, \quad (1)$$

де  $C(x)$  – глобальна матриця жорсткості кінцевих елементів конструкції;

$F$  – вектор розмірності  $n$  переміщень стану;

$U$  – вектор приведених навантажень у вузлах кінцево-елементної моделі.

Обмеження можуть бути представлені наступним чином:

$$\begin{cases} \xi_i(x, F) = \frac{[g_i]}{g_i \cdot (x, F)} - 1 \geq 0, \quad i = 1, j_1 \\ a_i < x_i < b_i, \quad i = 1, j_2 \end{cases} \quad (2)$$

де  $[g_i]$ ,  $\xi_i(x, F)$  – відповідно нормативні та дійсні значення параметрів стану в  $i$ -му елементі конструкції підвіски (напруги, прогини, деформації);

$a_i, b_i$  – обмеження на значення параметрів вузла дослідження;

$j_1, j_2$  – обмеження на параметри стану та розміри об'єкту.

Для визначення напруженого стану за МКЕ створено комп'ютерну модель дослідного зразка, встановлено попередні граничні умови дослідження, побудовано сітку на твердому тілі з використанням МКЕ, послідовно досліджено пружні елементи підвіски при дії вертикального навантаження залежно від завантаженості вагона.

За дійсною методикою, при встановлених режимах навантаження, для типового та модернізованого комплексу ресорного підвішування візка вантажного піввагону моделі 12-7019 КрВЗ було визначено наступні вихідні параметри – напруги, деформації та переміщення його елементів.

Максимальне вертикальне навантаження згідно [17] та [18], що передається від верхньої надбудови вагона на ресорні комплекти візків визначено як:

$$P_{\text{верт.макс}} = P_{\text{ст}} (1 + K_{\delta}), \quad (3)$$

де  $P_{\text{ст}}$  – статичне навантаження, що діє на пружні комплекти;

$K_{\delta}$  – коефіцієнт вертикальної динаміки,  $K_{\delta} = 0,388$  [18].

Статичне навантаження розраховане, у відповідності до технічних характеристик піввагону моделі 12-7019, складає  $P_{\text{ст} 12-7019} = 85,66 \text{ т}$  у «вантажному» режимі, тоді вертикальне навантаження становить:

$$P_{\text{верт.макс}}^{\text{вант}} = 85,66 \cdot (1 + 0,388) = 118,9 \text{ т.}$$

Вертикальне навантаження, що діє на один комплект, визначено за формулою:

$$P_{\text{верт.макс}1}^{\text{вант}} = \frac{P_{\text{верт.макс}}^{\text{вант}}}{k}, \quad (4)$$

де  $k$  – кількість пружинних комплектів вантажного піввагону.

$$P_{\text{верт.макс}1}^{\text{вант}} = \frac{118,9}{28} = 4,246 \text{ т.}$$

Для «порожнього» режиму вертикальне навантаження, що передається на один комплект, становить  $P_{\text{верт.макс}1}^{\text{порож}} = 0,8464 \text{ т.}$

При проведенні дослідження напружено-деформованого стану підвіски пружно-фрикційного пристрою під дією вертикального навантаження, яке відповідає «вантажному» та «порожньому» режиму експлуатації, отримано результати, що зведено до таблиці 1.

Епюри переміщень пружинного комплексу у «вантажному» та «порожньому» режимі експлуатації показано на рис. 2, де а – типовий комплект, б – модернізований і в – модернізований зі стандартним клином.

Залежність зміни прогину пружинного комплексу від величин прикладених зусиль, відображено на рис. 3.

Еквівалентні напруги, що виникають у комплекті пружинної підвіски, приведено у таблиці 2.

Епюри контактних напруг пари «фрикційний клин – фрикційна планка» досліджуваних конструкцій у «вантажному» та «порожньому» режимі експлуатації, показано на рис. 4, де а – типовий комплект, б – модернізований і в – модернізований зі стандартним клином.

Жорсткість складових комплексу визначено відповідно до [18] і становить для зовнішньої пружини типової конструкції підвіски  $C_1 = 300 \frac{H}{\text{мм}}$ ,

модернізованої –  $C_1 = 366,35 \frac{H}{\text{мм}}$ .

Розрахована жорсткість тарілчастої пружини [19] відповідає значенню  $C_{\text{тарел.}} = 5084,5 \frac{H}{\text{мм}}$ .

Загальну жорсткість пакету тарілчастих пружин визначено за формулою (5):

$$\frac{1}{C_{\text{тарел.}}} = \sum_{i=1}^3 \frac{1}{C_{\text{тарел.}i}}, \quad (5)$$

Таким чином  $C_{\text{тарел.}3} = 1694,83 \frac{H}{\text{мм}}$ .

Тоді жорсткість комбінованої тарілчасто-циліндричної пружини складе:

$$C_{1II} = \frac{C_1 \cdot C_{\text{тарел.}3}}{C_1 + C_{\text{тарел.}3}}, \quad (6)$$

$$C_{1II} = \frac{366,35 \cdot 1694,83}{366,35 + 1694,83} = 301,3 \frac{H}{\text{мм}}$$

Таблиця 1

Переміщення досліджуваних пружинних комплектів

Режим експлуатації	Значення переміщень досліджуваних пружинних комплектів, мм		
	Типовий комплект	Модернізований комплект	Модернізований зі стандартним клином
Вантажний, т (4,246 т)	43,99	32,8	36,4
Порожній, т (0,8464 т)	8,77	6,55	7,28

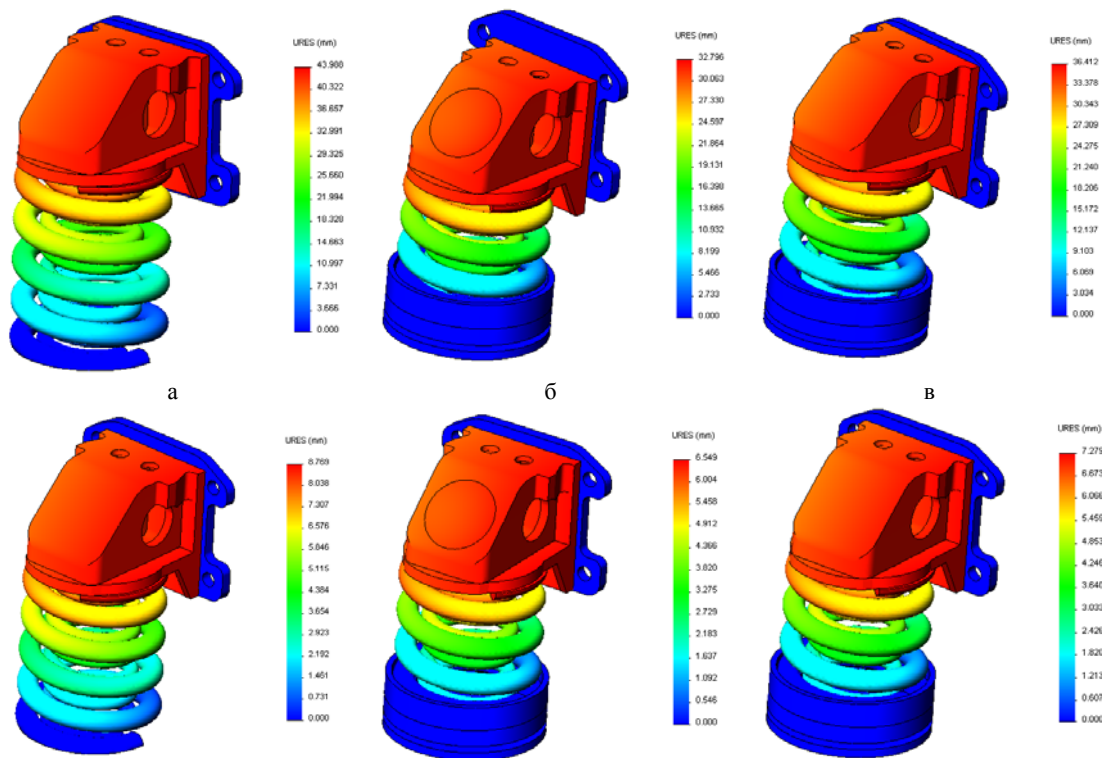


Рис. 2. Епюри переміщень досліджуваних пружинних комплектів

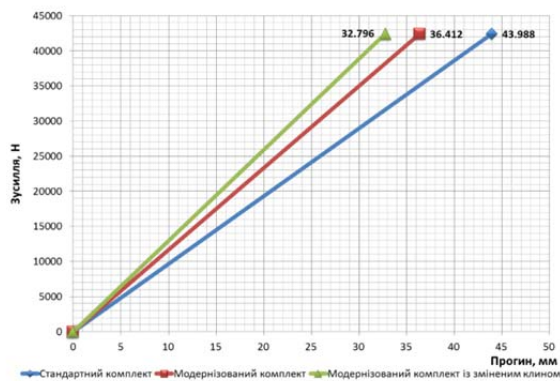


Рис. 3. Графік зміни прогину комплекту пружин під дією вертикальних навантажень у «вантажному» режимі

Таблиця 2

Еквівалентні напруги досліджуваних комплектів пружинної підвіски			
Типовий комплект, МПа	Модернізований комплект, МПа	Модернізований комплект зі стандартним клином, МПа	Допустимі напруги $\sigma_m$ , МПа
Порожній режим			750
81,2	58,7	60,1	
Вантажний режим			
572,5	504,1	510,3	

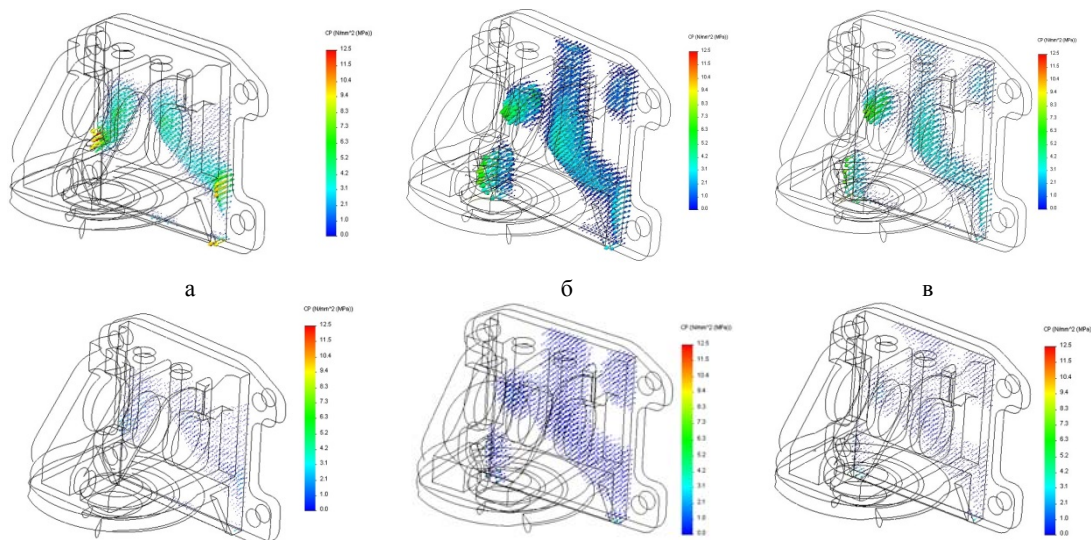


Рис. 4. Епюри контактних напруг пари «фрикційний клин – фрикційна планка» пружинних комплектів

Для визначення розподілу навантажень на окремі одиниці пружинного комплекту запропоновано метод, за яким зв'язок зусиль між складовими визначається за рахунок введення коефіцієнту перерозподілу зусиль. Його розрахунок здійснюється шляхом вирішення системи рівнянь (7):

$$\begin{cases} F = k \cdot F_1 + F_2 \\ F = k \cdot C_{1II} \cdot S_1 + C_2 \cdot S_2 \end{cases}, \quad (7)$$

де  $F_2$  – зусилля, що передається на внутрішню пружину, Н;  
 $C_2$  – жорсткість внутрішньої пружини ресорного комплекту, Н/мм;  
 $S_2$  – прогин пружини під зовнішнім навантаженням, мм.

Розподіл зусиль окремих елементів комплекту ресорного підвішування відповідно до результатів розрахунку відображено на рис. 5.

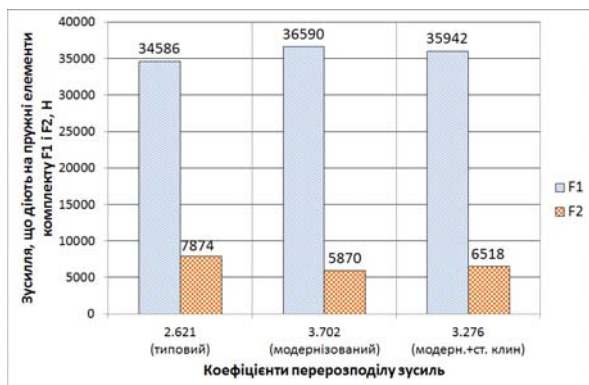


Рис. 5. Діаграма пропорційного розподілу навантажень у «вантажному» режимі

Енергія, яка поглинається фрикційним гасителем коливань під дією вертикального навантаження дорівнює площі петлі гістерезису. Аналітично поглинання енергії може бути представлено наступним чином [20]:

$$S_{\text{погл. енергії}} = \int_a^b (f_1(x) - f_2(x)) dx, \quad (8)$$

Відповідно до проведеного розрахунку площа трикутника визначає величину поглинутої енергії від дії статичного навантаження вагона при гранично завантаженому стані ( $F = 42460$  Н) для різних типів комплектів підвішування, рис. 6.

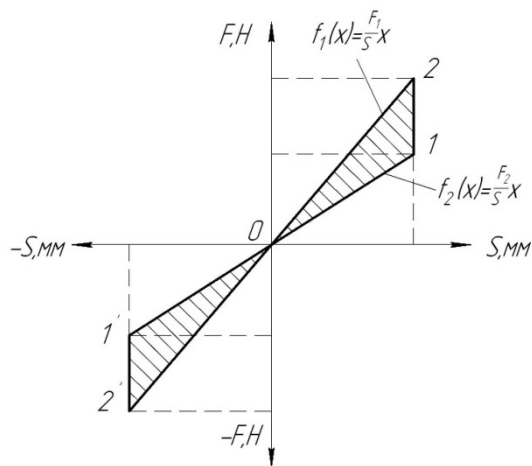


Рис. 6. Графік поглинання енергії фрикційного гасителя коливань

Результати розрахунку представлено в таблиці 3.

Для дослідження динамічної поведінки вагона з урахуванням конструктивних змін ресорного комплекту в програмному комплексі «Universal Mechanism» [21] з використанням методу підсистем

розроблено комп'ютерну модель динаміки вагона, аналогом якого є піввагон моделі 12-7019.

Таблиця 3

**Величина поглинутої енергії досліджуваними пружинними комплектами**

Тип підвіски	Величина поглинутої енергії, Дж
Типовий комплект	588
Модернізований комплект	507
Модернізований зі стандартним клином	545

Для оцінки показників динаміки вантажного піввагона в розробленій моделі визначено наступні групи вихідних величин:

- коефіцієнти запасу стійкості  $k_{ст}$  від сходу з рейок;
- рамні сили, що діють від рами візка на колісну пару;
- коефіцієнти вертикальної динаміки;
- горизонтальні поперечні та вертикальні прискорення кузова і рам візків;
- бокові та вертикальні сили, що діють від коліс на рейки.

Оцінку впливу конструктивних змін ресорного комплексу на динамічні показники вантажного

піввагону проведено при швидкостях руху в діапазоні від 10 до 200 км/год з кроком 10 км/год. Моделювання виконано при незношених профілях коліс та задовільному стані колії в «порожньому» режимі, як найбільш несприятливому.

Аналіз динамічних показників виконано за їх статистичними оцінками, обчисленими для кожної реалізації, залежно від прийнятого режиму руху. Для кожного дослідження визначалися екстремальні значення вихідних величин. Отримані результати приведено на рис. 7. На рис. 7, а показано мінімальні значення коефіцієнта запасу стійкості проти сходу з рейок, де зелений колір – до модернізації, червоний колір – після модернізації. На рис. 7, б показано максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки першого ступеня підвішування візка вагона, де чорний колір – до модернізації, червоний колір – після модернізації. На рис. 7, в показано максимальні значення вертикальних прискорень кузова, де синій колір – до модернізації, червоний колір – після модернізації. На рис. 7, г показано максимальні значення горизонтальних прискорень кузова, де зелений колір – поперечні прискорення, чорний колір – повздовжні прискорення; позначення X – до модернізації, позначення 0 – після модернізації.

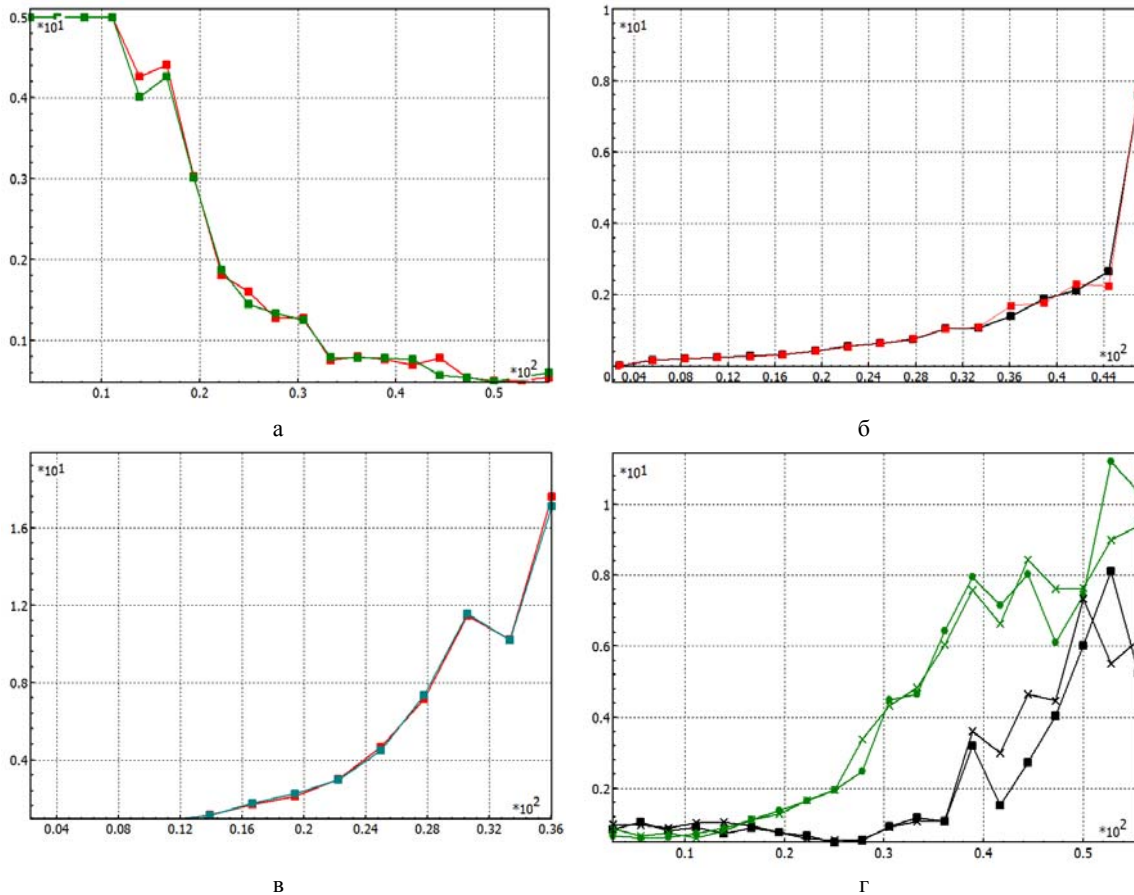


Рис. 7. Показники динаміки піввагона моделі 12-7019

Небезпечний мінімальний рівень запасу стійкості колісних пар проти сходу з рейок при русі вантажного піввагона в «порожньому» стані становить 1,24 за умови швидкості руху вагона  $v = 110$  км/год (відповідно до [22]  $k_{ст} > 1,3$ ).

Отримані значення коефіцієнтів вертикальної динаміки першого ступеня підвищення візка «порожнього» піввагона свідчать про перевищення гранично допустимої межі при швидкості руху  $v = 110$  км/год (згідно [22]  $k_{дв1} < 0,8$ ) і знаходяться в діапазоні від 0,82 до 1,04.

Максимальні значення вертикальних прискорень кузова вагона знаходяться в межах нормативних значень до  $v = 110$  км/год (за вимогами [22]  $a_z = 0,7g$ ), горизонтальних повздовжніх прискорень кузова в розрахованому інтервалі швидкостей до  $v = 130$  км/год включно, а горизонтальних поперечних прискорень – до  $v = 90$  км/год (згідно [22]  $a_z = 0,3g$ ).

**Висновок.** 1. За результатами проведених досліджень встановлено, що запропонована конструктивна зміна елементів ресорного підвищення візка вантажного вагона приводить до зменшення напруг, що виникають у клиновому гасителі коливань під дією зовнішніх навантажень, приблизно на 28% у «порожньому» режимі, та практично на 12% у «вантажному», порівняно з існуючою конструкцією.

2. Запропонований метод перерозподілу навантажень для пружинних елементів ресорного підвищення дозволяє визначати зусилля, що діють на його окремі складові. При цьому введений коефіцієнт перерозподілу зусиль, який має змінний характер, надає можливість встановлювати пропорційність зміни зусиль між елементами, залежно від діючого навантаження.

3. Отримані силові характеристики роботи фрикційного гасителя коливань вантажного вагона для різних конструкцій при гранично завантаженому стані, дозволили визначити величину поглинання механічної енергії за один повний цикл.

4. Відповідно до результатів дослідження динаміки вантажного піввагона у «порожньому» режимі руху засобами комп'ютерного моделювання, при порівнянні характеристик серійної та удосконалених конструкцій ресорного підвищення встановлено, що запропоновані конструктивні зміни забезпечують стабільний рівень динамічних показників у межах допустимих нормативних значень до швидкості  $v = 110$  км/год.

5. Знайдене конструктивне удосконалення фрикційного гасителя коливань зі зниженою концентрацією напруг, дозволяє покращити передачу навантажень, виникаючих у ресорному підвищенні, підвищити динамічні характеристики візка, довговічність вузла гасіння коливань та збільшити міжремонтний термін експлуатації вантажних вагонів.

## Література

1. Cherniak H.Yu., Shcherbyna Yu.V. Principles of building of computer model of passenger cars dynamics for high-speed movement // Metallurgical and Mining Industry. – 2017. – No.2. – P. 38 – 44.
2. Потапенко О.О. Систематизація та класифікація конструкційних особливостей фрикційних клинів гасителів коливань візків вантажних вагонів / О.О. Потапенко, В.І. Могила // Вісник СХУ ім. В. Даля. – Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2017 – № 4 (234). – С. 189 – 194.
3. Потапенко О.А. Проблемы современных перевозок грузовыми вагонами в странах с шириной колеи 1520 и направления их решения / О.А. Потапенко // Міжнародний професійний журнал «Вагонний парк». – Харків: «Рухомий склад», 2016. – № 5 – 6 (110 – 111). – С. 46 – 49.
4. Mogila V., Potapenko O. Analysis and Study of the Problems Arising in Movable Joints of Freight Car Bogies // ТЕКА Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2016. – 16, No.2. – P. 27 – 32.
5. Ушкалов В.Ф. Статистическая динамика рельсовых экипажей: Монография / В.Ф. Ушкалов, Л.М. Резников, С.Ф. Редько. – К.: Наукова думка, 1982. – 360 с.
6. Бороненко Ю.П., Орлова А.М. Опыт проектирования трехэлементных тележек // Железнодорожный транспорт. 2006. – №5. – С. 58 – 62.
7. Бороненко Ю.П., Орлова А.М. Тележка для грузовых вагонов, дружественная к пути // Инновационные проекты, новые технологии и изобретения: Сб. докладов научн.-практ. конф. – Щербинка, 2005. – С. 181 – 183.
8. Бубнов В.М., Бороненко Ю.П., Орлова А.М., Рудакова Е.А. Новая тележка для грузовых вагонов // Железные дороги мира. – 2005. – №7. – С. 45 – 48.
9. Мямлин С.В. Улучшение динамических качеств рельсовых экипажей путем совершенствования характеристик ресорного подвешивания: Дис. д-ра техн. наук: 05.22.07 / Мямлин Сергей Витальевич. – Д. – ДНУЖТ им. В. Лазаряна, 2003. – 455 с.
10. Орлова А.М. Влияние конструктивных схем и параметров тележек на устойчивость, ходовые качества и нагруженность грузовых вагонов: Автореферат дис. д-ра техн. наук: 05.22.07 / Орлова Анна Михайловна. – С.-П. – ФГБОУ ВО ПГУПС, 2008. – 34 с.
11. Орлова А.М., Рудакова Е.А., Комарова А.Н., Гусев А.В. Обоснование назначения минимально допустимого значения коэффициента конструктивного запаса прогиба ресорного подвешивания тележек грузовых вагонов // Известия петербургского университета путей сообщения. – 2017. – 14. №1. – С. 73 – 87.
12. Blokhin Y.P., Pshin'ko O.M., Myamlin S.V. Optimization of parameters of spring suspension of the freight car three-piece bogies // Proc. Of the 5-th Int'l. Conf. on Railway Bogies and Running Gears. – Budapest: BUTE, 2001. – P. 84 – 86.
13. Boronenko Yu., Orlova A., Rudakova E. Influence of construction schemes and parameters of three-piece freight bogies on wagon stability, ride and curving qualities // Vehicle System Dynamics. – 2006. – 44. – P. 402 – 414.
14. Orlova A., Romen Yu. Refining the wedge friction damper of three-piece freight bogies // Vehicle System Dynamics. – 2008. – 46. – P. 445 – 455.

15. Orlova A., Boronenko Yu., Scheffel H., Froling R., Kik W. Tuning von Guterwagendrehgestellen durch Radsatzkopplungen // ZEVrail Glasers Annalen. – 2002. – 126 – P. 270 – 282.
16. Paul Kurowski. Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation. – 2016. – 500 p.
17. Вершинский С.В. Расчет вагонов на прочность. – М.: Машиностроение, 1971. – 432 с.
18. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: Гос. НИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
19. ГОСТ 3057 – 90. Пружины тарельчатые. Общие технические условия / Межгосударственный стандарт. – Утв. и введен в действие пост. № 2266 от 25.07.90. – Взамен ГОСТ 3057 - 79. – М.: (Изд-во стандартов, 1990). Переиздан ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 37 с.
20. Шнейдер В.Е. Краткий курс высшей математики. Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1972. – 640 с.
21. Pogorelov D.Yu. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software // Rail vehicle dynamics and associated problems. Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. – P. 13 – 58.
22. Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм федерального железнодорожного транспорта // Приказ МПС России № 41 от 12 ноября 2001 г. – М.: Транспорт, 2001. – 127 с.
10. Orlova A.M. Vlijanie konstruktivnyh shem i para-metrov telezhek na ustojchivost', hodovye kachestva i nagruzhennost' gruzovyh vagonov: Avtoreferat dis. d-ra tehn. nauk: 05.22.07 / Orlova Anna Mihajlovna. – S.-P. – FGBOU VO PGUPS, 2008. – 34 s.
11. Orlova A.M., Rudakova E.A., Komarova A.N., Gusev A.V. Obosnovanie naznachenija minimal'no dopustimo-go znachenija koeficienta konstruktivnogo zapasa pro-giba resornogo podveshivaniya telezhek gruzovyh vago-nov // Izvestija peterburgskogo universiteta putej so-obshhenija. – 2017. – 14. №1. – S. 73 – 87.
12. Vlokhin Y.R., Pshin'ko O.M., Myamlin S.V. Optimization of parameters of spring suspension of the freight car three-piece bogies // Proc. Of the 5-th Int'l. Conf. on Railway Bogies and Running Gears. – Budapest: BUTE, 2001. – R. 84 – 86.
13. Boronenko Yu., Orlova A., Rudakova E. Influence of construction schemes and parameters of three-piece freight bogies on wagon stability, ride and curving qualities // Vehicle System Dynamics. – 2006. – 44. – R. 402 – 414.
14. Orlova A., Romen Yu. Refining the wedge friction damper of three-piece freight bogies // Vehicle System Dynamics. – 2008. – 46. – R. 445 – 455.
15. Orlova A., Boronenko Yu., Scheffel H., Froling R., Kik W. Tuning von Guterwagendrehgestellen durch Radsatzkop-plungen // ZEVrail Glasers Annalen. – 2002. – 126 – R. 270 – 282.
16. Paul Kurowski. Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation. – 2016. – 500 p.
17. Vershinskij S.V. Raschet vagonov na prochnost'. – М.: Mashinostroenie, 1971. – 432 s.
18. Normy dlja rascheta i proektirovaniya vagonov zhelez-nyh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh). – М.: Gos. NIIV-VNIIZhT, 1996. – 319 s.
19. ГОСТ 3057 – 90. Pruzhiny tarel'chatye. Obshhie teh-nicheskie uslovija / Mezghosudarstvennyj standart. – Utv. i vveden v dejstvie post. № 2266 ot 25.07.90. – Vzamen GOST 3057 - 79. – М.: (Izd-vo standartov, 1990). Pe-reizdan IPK Izd-vo standartov, 2003. – 37 s.
20. Shnejder V.E. Kratkij kurs vysshiej matematiki. Ucheb. posobie dlja vuzov. – М.: Vyssh. shkola, 1972. – 640 s.
21. Pogorelov D.Yu. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software // Rail vehicle dynamics and associated problems. Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. – P. 13 – 58.
22. Normy dopuskaemyh skorostej dvizhenija podvizhnogo sostava po zheleznodorozhnyh putjam kolei 1520 (1524) mm federal'nogo zheleznodorozhnogo transporta // Prikaz MPS Rossii № 41 ot 12 nojabrja 2001 g. – М.: Transport, 2001. – 127 s.

#### References

1. Cherniak H.Ju., Shcherbyna Ju.V. Principles of building of computer model of passenger cars dynamics for high-speed movement // Metallurgical and Mining Industry. – 2017. – No.2. – R. 38 – 44.
2. Potapenko O.O. Sistematicizacija ta klasifikacija konstruktivnih osoblivostej frikcijskih kliniv gasiteliv kolivan' vizkiv vantazhnyh vagoniv / O.O. Potapenko, V.I. Mogila // Visnik SNU im. V. Dalja. – Severodo-nec'k: SNU im. V. Dalja, 2017 – № 4 (234). – S. 189 – 194.
3. Potapenko O.A. Problemy sovremennyh perevozok gruzovymi vagonami v stranah s shirinoj kolei 1520 i napravlenija ih reshenija / O.A. Potapenko // Mizhnarodnij profesijnij zhurnal «Vagonnij park». – Harkiv: «Ruhomij sklad», 2016. – № 5 – 6 (110 – 111). – S. 46 – 49.
4. Mogila V., Potapenko O. Analysis and Study of the Problems Arising in Movable Joints of Freight Car Bogies // TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2016. – 16, No.2. – R. 27 – 32.
5. Ushkalov V.F. Statisticheskaja dinamika rel'sovyh jekipazhej: Monografija / V.F. Ushkalov, L.M. Reznikov, S.F. Red'ko. – K.: Naukova dumka, 1982. – 360 s.
6. Boronenko Ju.P., Orlova A.M. Opyt proektirovaniya trehjelementnyh telezhek // Zheleznodorozhnyj transport. 2006. – №5. – S. 58 – 62.
7. Boronenko Ju.P., Orlova A.M. Telezhka dlja gruzovyh vagonov, družhestvennaja k puti // Innovacionnye projekty, novye tehnologii i izobretenija: Sb. dokladov nauchn.-prakt. konf. – Shherbinka, 2005. – S. 181 – 183.
8. Bubnov V.M., Boronenko Ju.P., Orlova A.M., Rudakova E.A. Novaja telezhka dlja gruzovyh vagonov // Zheleznye dorogi mira. – 2005. – №7. – S. 45 – 48.
9. Mjamlin S.V. Uluchshenie dinamicheskikh kachestv rel'sovyh jekipazhej putem sovershenstvovaniya harakteristik resornogo podveshivaniya: Dis. d-ra tehn. nauk: 05.22.07 / Mjamlin Sergej Vital'evich. – D. – DNUZhT im. V. Lazarjana, 2003. – 455 s.
10. Orlova A.M. Vlijanie konstruktivnyh shem i para-metrov telezhek na ustojchivost', hodovye kachestva i nagruzhennost' gruzovyh vagonov: Avtoreferat dis. d-ra tehn. nauk: 05.22.07 / Orlova Anna Mihajlovna. – S.-P. – FGBOU VO PGUPS, 2008. – 34 s.
11. Orlova A.M., Rudakova E.A., Komarova A.N., Gusev A.V. Obosnovanie naznachenija minimal'no dopustimo-go znachenija koeficienta konstruktivnogo zapasa pro-giba resornogo podveshivaniya telezhek gruzovyh vago-nov // Izvestija peterburgskogo universiteta putej so-obshhenija. – 2017. – 14. №1. – S. 73 – 87.
12. Vlokhin Y.R., Pshin'ko O.M., Myamlin S.V. Optimization of parameters of spring suspension of the freight car three-piece bogies // Proc. Of the 5-th Int'l. Conf. on Railway Bogies and Running Gears. – Budapest: BUTE, 2001. – R. 84 – 86.
13. Boronenko Yu., Orlova A., Rudakova E. Influence of construction schemes and parameters of three-piece freight bogies on wagon stability, ride and curving qualities // Vehicle System Dynamics. – 2006. – 44. – R. 402 – 414.
14. Orlova A., Romen Yu. Refining the wedge friction damper of three-piece freight bogies // Vehicle System Dynamics. – 2008. – 46. – R. 445 – 455.
15. Orlova A., Boronenko Yu., Scheffel H., Froling R., Kik W. Tuning von Guterwagendrehgestellen durch Radsatzkop-plungen // ZEVrail Glasers Annalen. – 2002. – 126 – R. 270 – 282.
16. Paul Kurowski. Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation. – 2016. – 500 p.
17. Vershinskij S.V. Raschet vagonov na prochnost'. – М.: Mashinostroenie, 1971. – 432 s.
18. Normy dlja rascheta i proektirovaniya vagonov zhelez-nyh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh). – М.: Gos. NIIV-VNIIZhT, 1996. – 319 s.
19. ГОСТ 3057 – 90. Pruzhiny tarel'chatye. Obshhie teh-nicheskie uslovija / Mezghosudarstvennyj standart. – Utv. i vveden v dejstvie post. № 2266 ot 25.07.90. – Vzamen GOST 3057 - 79. – М.: (Izd-vo standartov, 1990). Pe-reizdan IPK Izd-vo standartov, 2003. – 37 s.
20. Shnejder V.E. Kratkij kurs vysshiej matematiki. Ucheb. posobie dlja vuzov. – М.: Vyssh. shkola, 1972. – 640 s.
21. Pogorelov D.Yu. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software // Rail vehicle dynamics and associated problems. Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. – P. 13 – 58.
22. Normy dopuskaemyh skorostej dvizhenija podvizhnogo sostava po zheleznodorozhnyh putjam kolei 1520 (1524) mm federal'nogo zheleznodorozhnogo transporta // Prikaz MPS Rossii № 41 ot 12 nojabrja 2001 g. – М.: Transport, 2001. – 127 s.

#### Потапенко О.А., Могила В.И. Результаты исследований работы серийной и усовершенствованных конструкций фрикционного гасителя колебаний тележки грузового вагона.

*В статье рассмотрены недостатки конструкции тележки грузового вагона, проанализированы последние исследования и публикации по данной тематике, использованы аналитический и эмпирический методы исследования для определения технических характеристик усовершенствованных и серийной конструкции фрикционного гасителя колебаний.*

*Впервые определены, проанализированы и представлены результаты исследований напряженно-деформированного состояния элементов фрикционного аппарата тележки грузового полувагона модели 12-7019*

*КрВЗ и усовершенствованных конструкций под действием статической нагрузки средствами компьютерного моделирования, а именно: эпюра перемещений; график изменения прогиба комплекта пружин от действия вертикальных нагрузок; эквивалентные напряжения комплекта пружинной подвески; диаграмма пропорционального распределения нагрузок; график поглощения энергии гасителя колебаний; результаты влияния конструкций рессорного комплекта на динамическое поведение грузового полувагона при скорости движения в диапазоне от 10 до 200 км/ч.*

*Подтверждена целесообразность использования усовершенствованных конструкций гасителя колебаний.*

**Ключевые слова:** *фрикционный гаситель колебаний, усовершенствованная конструкция, прогиб, жесткость, напряжение, энергия поглощения, динамические показатели.*

**Potapenko O., Mogila V. Results of researches of work of serial and advanced designs of the frictional quencher of fluctuations of the cart of the freight car.**

*In article shortcomings of a design of the cart of the freight car are considered, the last researches and publications on this subject are analysed, analytical and empirical methods of a research for definition of technical characteristics of the improved and serial design of frictional quencher of fluctuations are used.*

*Results of researches of the intense deformed condition of elements of the frictional device of the cart of the freight*

*gondola car of the KRVZ model 12-7019 and advanced designs under the influence of static loading are for the first time defined, analyzed and presented by means of computer modeling, namely: epюра of movements; the schedule of change of a deflection of a set of springs from action of vertical loadings; equivalent tension of a set of an elastic pendant; chart of proportional distribution of loadings; schedule of absorption of energy of quencher of fluctuations; results of influence of designs of a spring set on dynamic behavior of the freight gondola car at speeds of the movement in the range from 10 to 200 km/h.*

*The expediency of using the improved design of the vibration damper has been confirmed.*

**Key words:** *friction damper, improved design, deflection, rigidity, tension, energy of absorption, dynamic indicators.*

**Потапенко О.О.** – старший викладач кафедри «Залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин» СНУ ім. В. Даля, e-mail: [olga.alex.potapenko@gmail.com](mailto:olga.alex.potapenko@gmail.com)

**Могіла В.І.** – к.т.н., професор кафедри «Залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин» СНУ ім. В. Даля.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 21.04.2018.

УДК 656.224

## ЗНАЧЕННЯ СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ У РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ ШВИДКІСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Примаченко Г.О., Жуковський О.Є.

## SIGNIFICANCE OF STRATEGIC PLANNING IN REALIZATION OF THE CONCEPT OF DEVELOPMENT OF TRANSPORT LOGISTICS OF SPEED PASSENGER RAILWAY TRANSPORTATION

Prymachenko H., Zhukovskyi O.

*У статті доведено значимість стратегічного планування у розвитку транспортної логістики сфери пасажирських залізничних швидкісних перевезень у сучасних умовах. Систематизовано основні принципи та задачі логістики пасажирських залізничних перевезень. Логістичну систему пасажирських залізничних швидкісних перевезень досліджено як економіко-технологічну модель, проаналізовано логістичний ланцюг надання послуг пасажиром залізничного транспорту. Сформовано рекомендації щодо розвитку транспортної логістики пасажирських залізничних перевезень в Україні на основі стратегічного планування.*

**Ключові слова:** логістика пасажирських залізничних перевезень, технологія «точно у строк», пасажиропотік, стратегічне логістичне управління.

**Вступ.** Сучасні українські компанії та населення потребують задоволення своїх потреб у переміщеннях гармонічним висококласним транспортом, що спроможний швидко реагувати на соціально-економічні зміни. Залізничний високошвидкісний транспорт цілком відповідає цим вимогам.

Сьогодні об'єктивними вимогами ринкової економіки до транспортної галузі стають прискорення всього перевізного процесу і скорочення часу доставки пасажирів і вантажів, що і виступає найважливішими якісними показниками роботи залізничного транспорту. Сучасні світові тенденції потребують впровадження та розвитку високошвидкісного залізничного транспорту, регулярна робота якого дозволить скоротити запаси матеріальних ресурсів у учасників соціально-економічної діяльності, дозволить визволити оборотні засоби для виробничого використання.

Різні галузі економіки у сучасних умовах формуються відокремлено, тому необхідними є ланки, які допоможуть встановити ефективні зв'язки

між ними. Сьогодні функції таких ланок виконує логістика. Саме логістика вивчає раціональне переміщення матеріальних ресурсів, пасажирів, забезпечує безперервність виробничого процесу, стабільну реалізацію продукції та послуг. До її завдань входить створення інтегральної системи регулювання усіх видів потоків (матеріальних, інформаційних, фінансових та сервісних), покращення маркетингової діяльності.

**Постановка проблеми.** Для ефективного управління транспортним підприємством, яке не може бути стихійним, потрібен управлінський апарат, що спроможний здійснювати управління на основі конкретних законів, інструкцій, положень і правил, що встановлюють порядок надання споживачам транспортних послуг, виконання відповідних робіт та ін. Згідно міжнародної класифікації галузей економічної активності сфера послуг або сфера нематеріального виробництва належить до третього сектору економіки (перший сектор – сфера аграрної діяльності та видобування матеріальних ресурсів; другий – сфера матеріального виробництва), а згідно історичного аналізу саме зростання третього сектору у країні вказує на її високий розвиток. До того ж згідно ствердженням вчених, показником високо розвинутої країни виступає доля малих підприємств сфери послуг, наприклад, в Україні сектор малого бізнесу складає 7,2%, середнього та крупного бізнесу – 66,4%, державних підприємств – 26,4%, а у Європейському Союзі – 75,3%; 11,9% і 12,8% відповідно; у Китаї – 33,8%; 27,8% і 38,4% відповідно [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми пасажирської логістики залізничного транспорту розглядаються у роботах Д. Сімчхи-Леві, Х. Чена, Й. Брамеля [2], П. Кісієльовські [3]. А дослідженням питання оптимізації стратегічного

планування пасажирського транспорту займалися А. Гжиб та П. Кісієльовські [4]. Однак питання розвитку транспортної логістики пасажирських залізничних перевезень на основі стратегічного планування розглядаються вченими не достатньо і потребують більш глибокого дослідження.

**Мета статті.** Транспорт персоніфікує та символізує статус держави на міжнародному ринку, тому має вплив на політику держави. Транспорт виконує активну роль у формуванні виробничих сил (під впливом транспорту знаходиться соціальна сфера), культурного середовища (залежність від транспорту підвищення історичного та духовного рівня життя населення), оборонної сфери (переміщення бойової техніки, ресурсів, людей у найкоротші строки і з максимальним рівнем надійності). Залізничний транспорт має суттєві переваги над іншими видами транспорту за рахунок можливості розвинення високої швидкості, комунікабельності, спроможності пришвидшення оборотності оборотних засобів. І для того, щоб оптимально використовувати усі ці переваги з метою зайняття конкурентоспроможної позиції на транспортному ринку потрібна реалізація концепцій транспортної логістики.

**Результати досліджень.** Логістика займає особливе місце у розвитку економіки держави. У розвинутих країнах витрати на матеріально-технічне постачання складають близько 10% від валового внутрішнього продукту [5]. У країнах Західної Європи 98% часу виробництва товарів приходить на сферу матеріально-технічного забезпечення (завезення сировини, транспортування готової продукції та ін.) [5].

Незалежно від виду логістики (транспортна, виробнича, маркетингова та ін.), вона базується на наступних принципах: рух матеріальних потоків розглядається від первинного джерела до кінцевого споживача; оптимальним управлінням виступає координація дій спеціалістів різних служб; інформаційна система формується на усіх етапах просування матеріальних потоків.

При здійсненні логістичної діяльності у сфері пасажирських перевезень слід виділити наступні складові логістики: послуга (потрібна пасажирові); якість послуги (висока); кількість послуг (багаточисельна); час надання послуг (заданий); місце прибуття (необхідне); витрати (мінімальні). Мета логістики пасажирських перевезень є досягнутою коли виконані усі складові.

Основними задачами логістики пасажирських швидкісних залізничних перевезень є:

- забезпечення безперервності процесу перевезень пасажирові;
- ритмічний «випуск» послуг згідно запланованих показників;
- технічне удосконалення процесу створення послуг;
- підвищення схоронності матеріальних ресурсів;

- створення ефективної інтегральної системи регулювання матеріальних та інформаційних потоків;

- стабільна реалізація послуг;
- зниження впливу ринкових ризиків;
- покращення маркетингової діяльності підприємства;
- зниження витрат, пов'язаних з забезпеченням транспортної компанії усіма видами ресурсів;
- укріплення фінансового стану підприємства, забезпечення отримання максимального прибутку.

Логістика завжди розділяється на макрологістику (вивчає глобальні проблеми управління потоками) та мікрологістику (вивчає проблеми управління потоками на локальному рівні). Але в обох видах логістики практична реалізація складається з ефективної побудови та управління логістичними ланцюгами.

На залізничному транспорті логістика пасажирських перевезень являє собою процес управління пасажиропотоками та супутніми їм потоками (інформаційними, фінансовими, сервісними, матеріальними для власних потреб та ін.).

Функції логістики не починаються на станції відправлення, і не закінчуються на станції призначення. Вони починаються з визначення пропозиції, необхідної для освоєння потрібних обсягів перевезень, і продовжуються на усіх етапах обслуговування пасажирові.

Оцінювати потенційних пасажирові, прогнозувати оптимальну композицію та населеність поїздів, обирати найменш витратні схеми составів, способи обслуговування пасажирові, маршрути руху поїздів і т. п. у теперішній час можна лише на основі логістичного підходу до управління пасажирськими перевезеннями.

Розвиток логістики суттєво вплинув на політику транспорту і характер його діяльності. У кінці 70-х років минулого сторіччя транспорт був вузьким місцем в економіці країн Західної Європи [5]. Це пояснювалося тим, що держава надто жорстко регулювала тарифи, номенклатуру послуг для пасажирові, напрямки капіталовкладень та інші параметри діяльності транспортних компаній.

У результаті конкурентна боротьба на транспортному ринку була в'ялою, а транспортні компанії користувалися монопольним положенням, яке дозволяло їм стримувати обсяг і асортимент транспортних послуг, щоб компенсувати свої витрати високим рівнем цін на надані послуги.

Усі обмеження були зняті шляхом дерегулювання транспортної галузі. Завдяки цьому транспортні фірми і компанії отримали свободу у пропозиції послуг, по іншому стали ставитися до споживачів послуг. Ріст конкуренції підвишив вимоги до якості транспортного обслуговування. Кожний вид транспорту боровся за споживача. Це призвело до формування нового погляду на логістику. Логістичні концепції почали

впроваджувати у сфері пасажирського комплексу, а не лише вантажних перевезень. В першу чергу розвиток логістики призвів до зміни зв'язків у логістичних ланцюгах, до нової оцінки можливостей транспорту, до перегляду транспортної політики.

У Японії, Аргентині, Англії та інших країнах з метою підвищення рівня конкуренції і забезпечення синхронізації роботи транспорту при обслуговуванні пасажирів на основі логістики була розроблена технологія «точно у строк». Зацікавившись даною технологією, користувачі транспортних послуг почали віддавати перевагу більш конкурентоспроможним видам транспорту. З метою підвищення своєї конкурентоспроможності залізничний транспорт європейських країн почав інтенсивно розвивати швидкісний рух. Було створено новий тип рухомого складу з конструктивними можливостями 200-500 км/год., змінена конструкція колій, впроваджено системну взаємодію між видами транспорту, проведена комп'ютеризація робочих місць та ін.

Розвиток світової транспортної системи, в тому числі і європейської, у даний час здійснюється на основі глобальної логістики (макрологістики), що відкриває нові можливості для формування нових цілей. Суттєве значення для реалізації принципів глобальної логістики в Україні, в тому числі у сфері пасажирських перевезень, має політика дерегулювання, що направлена на спрощення прикордонних, митних, транспортних і фінансових процедур для полегшення просування пасажирів міжнародними транспортними коридорами. Деретулювання сприяє збільшенню кількості пасажирів, що користуються послугами залізничного транспорту, сприяє росту конкуренції залізниць різних країн у боротьбі за пасажирів.

На форми і методи «логістизації» систем управління потоками пасажирської сфери суттєвий вплив мають такі значимі характеристики пасажирських і супроводжуваних їх потоків:

- стадії і дільниці формування та руху потоків;
- характер формування потоків і їх структура;
- режим потокових процесів.

Відомо, що будь-який фізичний потік має початок і завершення. Пасажиропотоки утворюються, в першу чергу, у великих транспортних вузлах, а також на станціях відправлення, у пунктах посадки-висадки пасажирів і т. д., а завершуються на станціях призначення. Від пункту зародження до кінцевого пункту пасажиропотік проходить комплекс необхідних проміжних стадій та операцій (при цьому визначають його потужність і структуру, обирається оптимальний маршрут руху поїздів, визначаються категорії поїздів, схеми їх складів та композиції і т. д.). Усі проміжні стадії і операції виконуються на вищевказаних або на самостійних об'єктах інфраструктури пасажирського господарства.

Весь процес управління пасажиропотоками з початку їх утворення до моменту завершення

складає єдиний логістичний ланцюг, який може доповнюватися супутніми фінансовими, інформаційними, сервісними та іншими потоками.

При цьому на початковому етапі побудови логістичної системи залізничних пасажирських швидкісних перевезень важливо розглянути її як економіко-технологічну модель. Для цього випадку цілком підходить класична модель логістичної системи, що базується на співвідношенні вхідних потоків і бажаного результату після їх переробки, яка детально розглянута у [6].

Однак логістична система пасажирських залізничних швидкісних перевезень повинна базуватися не тільки на зазначених елементах, але також і на важливій ролі фактору управлінських рішень, що визначають напрям і точки програми конкретних заходів.

Дохід від впровадження логістичного заходу отримується не просто шляхом алгебраїчних обчислень (віднімання витрат на здійснення перевезення з отриманих від цього доходів), а методом інтегрування по часу з урахуванням прийнятих логістичних управлінських рішень. Це пов'язано з тим, що при впровадженні конкретного логістичного заходу він обмежується у часі, а також відповідним поєднанням вхідних потоків і набору ресурсів, що використовуються.

Якщо із загального логістичного ланцюга виділити стадії або дільниці організації і обслуговування пасажиропотоків – складові діяльності окремих підрозділів пасажирського комплексу (це пасажирські служби, вокзали, каси попереднього продажу квитків, вагонні дільниці і т. п.), то для кожного з них можна встановити вхідний та вихідний пасажиропотік, це стосується і супутніх потоків [7].

У структурах пасажирського комплексу між входом та виходом потоків виконується ряд операцій, що змінюють споживчу вартість основної продукції залізниць або інших видів транспорту пасажирської сфери. Пасажиропотік підлягає різним видам переформування у процесі просторово-часового переміщення – він освоюється у потрібний час, у потрібному місці, у потрібній кількості шляхом раціональної організації потоку по маршрутам і категоріям, шляхом вибору технології і асортименту послуг (сервісу), методів надання обслуговування.

На базі даних про потужність пасажиропотоку підготовляється відповідне число пасажирських вагонів різних типів (спальні, купейні, плацкартні, загальні та ін.), локомотивів, визначаються і підготовляються інші пропозиції, що дозволяють задовольнити потреби потенційних пасажирів у потрібний період часу на кожному об'єкті зародження пасажиропотоків. Як відомо, потужності пасажиропотоків у кожному транспортному вузлі змінюються протягом року з різним ступенем вірогідності (стохастично), залежить від рівня розвитку регіону і промисловості, наявності

курортних зон у регіоні, від життєвого рівня населення та інших факторів.

У пасажирському комплексі логістика збуту і матеріально-технічного постачання повинні перейти у нову якість – маркетингову транспортну логістику. У сфері пасажирських перевезень маркетингова транспортна логістика охоплює наступні аспекти:

- вивчення ринку пасажирських перевезень і обробку результатів;
- стратегічне і тактичне планування виробничої діяльності на основі даних, отриманих у процесі маркетингових досліджень;
- встановлення оптимальних, економічно вигідних систем організації пасажиропотоків, матеріальних потоків для власних потреб і потоків, що супроводжують пасажирські перевезення;
- визначення раціональних схем составів поїздів і їх композиції;
- визначення оптимальних, максимальних та мінімально можливих цін на транспортні послуги, які би враховували інтереси залізниць і пасажирів;
- пропозиції варіантів економічних взаємовідносин між представниками послуг і пасажирами та ін.

Реалізація логістичної концепції неможлива без покращення якості транспортного обслуговування.

Розвиток логістики пасажирських залізничних швидкісних перевезень повинен враховувати питання:

- встановлення диференційованих цін, що дозволить змістити частину попиту з пікових періодів на періоди спаду;
- можливості цілеспрямовано культивувати попит у періоди його спаду;
- надання додаткових послуг в якості альтернативи для очікування своєї черги клієнтів у періоди максимального попиту на території вокзальних комплексів;
- можливості попереднього замовлення квитків для управління рівнем попиту.

З боку стратегічного логістичного управління такі підходи можуть базуватися на наступних принципах:

- залучення тимчасових службовців під час пікових періодів (для організації додаткових поїздів і маршрутів);
- встановлення порядку робіт у період пікового завантаження;
- розроблення програм надання послуг сумісно з клієнтами (пасажирами);
- можливості зростання наявних потужностей залізничного швидкісного транспорту.

При освоєнні масових пасажиропотоків, що зароджуються на крупних станціях, слід не лише визначити потрібну кількість поїздів і їх вагу, напрямок слідування, а й композицію составів з урахуванням запитів пасажирів різних категорій. Необхідно опиратися на концепцію повної вартості, яку ще називають аналізом повної вартості, тобто порівнювати повну вартість двох і більше можливих

варіантів перевезення як для пасажирів, так і для залізниці.

Важливе значення для підвищення якості пасажирських перевезень має підвищення інформаційного забезпечення пасажирів. Інформація повинна бути оперативною, з високим рівнем точності, при відсутності предвзятості по відношенню до споживача послуг. Для досягнення успіху у сфері пасажирських залізничних швидкісних перевезень інформаційне забезпечення пасажирів (логістика інформаційних потоків) повинне базуватися на правилі «3-х К»: комп'ютери (мозок), комунікації (нервова система), контроль (органи руху) – це основа сучасних інформаційних технологій. До того ж зараз у світі і в Україні відбувається перехід від аналогового мислення до цифрового, більш популярними стають он-лайн системи отримання інформації. Однак зараз люди відчують дефіцит живого спілкування і тому оф-лайн системи отримання інформації не можна відмінити або не розвивати. Саме на стику сучасних он-лайн та оф-лайн систем і знаходиться успіх транспортних компаній у мистецтві управління інформаційними потоками на основі оптимального логістичного управління транспортною галуззю.

**Висновок.** Важливою умовою забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту України виступає розвиток сервісу на рівні світових стандартів, що дозволяють більш повно задовольнити потреби пасажирів. Підвищення якості обслуговування повинно базуватися не лише на доставці пасажирів від станції до станції, а на доставці «від дверей до дверей» [7]. Для досягання даної мети потребується взаємодія з автомобільними компаніями та іншими видами транспорту, тобто необхідно шукати партнерів, використовувати усі переваги системної взаємодії, що характерно для залізничного транспорту розвинутих країн. Саме за інтермодальними перевезеннями пасажирів майбутнє транспортної галузі.

#### Л і т е р а т у р а

1. Eurocontrol Pru. Performance Review. Report 7, Performance Review Commission. 2004. 235 p.
2. Simchi-Levi D., Chen X., Bramel J. The Logic of Logistics. New York: Springer, 2014. 156 p.
3. Kisielewski P. The system of IT support for logistics in the rail transport. Warsaw: Archives of Transport. Volume 40. Issue 4. 2016. P. 39-50.
4. Grzyb A., Kisielewski P. Problemy optymalizacyjne strategicznego planowania transportu pasażerskiego. Prace XXXII Konferencji Naukowej Polioptymalizacja i CAD, Politechnika Koszalińska. Koszalin, 2014. Str. 45-51.
5. Панченко С. В., Дикань В. Л., Каграманян А. А., Сухорукова Т. Г. Социально-экономические аспекты высокоскоростного железнодорожного транспорта: учебник. Харьков: «Дис плюс», 2016. 232 с.
6. Примаченко Г. О., Григорова Є. І. Раціоналізація технології пасажирських залізничних перевезень за рахунок логістичного підходу в Україні. Міжнародний

професійний журнал «Вагонний парк». Х.: ТОВ «ЦІТУ», 2018. №1-2 (130-131). С. 37-39.

7. Prymachenko H. Analysis of the Current State of Logistics in Railway Passenger Transport in the Countries of Eastern Europe. Bulletin OSJD. Warsaw: PAB-Font s. c. P. 15-18.

#### References

1. Eurocontrol Pru. Performance Review. Report 7, Performance Review Commission. 2004. 235 p.
2. Simchi-Levi D., Chen X., Bramel J. The Logic of Logistics. New York: Springer, 2014. 156 p.
3. Kisielewski P. The system of IT support for logistics in the rail transport. Warsaw: Archives of Transport. Volume 40. Issue 4. 2016. P. 39-50.
4. Grzyb A., Kisielewski P. Problemy optymalizacyjne strategicznego planowania transportu pasażerskiego. Prace XXXII Konferencji Naukowej Polioptymalizacja i CAD, Politechnika Koszalińska, Koszalin, 2014. Str. 45-51.
5. Panchenko S. V., Dikan' V. L., Kagramanjan A. A., Suhorukova T. G. Social'no-jekonomicheskie aspekty vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta: uchebnik. Har'kov: «Disa pljus», 2016. 232 p.
6. Primachenko G. O., Grigorova E. I. Racionalizacija tehnologii pasazhirs'kih zaliznichnih perevezen' za rahunok logistichnogo pidhodu v Ukraїni. Mizhnarodnij profesijnij zhurnal «Vagonnij park». H.: TOV «CITU», 2018. №1-2 (130-131). P. 37-39.
7. Prymachenko H. Analysis of the Current State of Logistics in Railway Passenger Transport in the Countries of Eastern Europe. Bulletin OSJD. Warsaw: PAB-Font s. c. P. 15-18.

**Примаченко А. А., Жуковский А. Е. Значение стратегического планирования в реализации концепции развития транспортной логистики скоростных пассажирских железнодорожных перевозок.**

*В статье доказано значимость стратегического планирования в развитии транспортной логистики сферы пассажирских железнодорожных скоростных перевозок в современных условиях. Систематизировано основные принципы и задачи логистики пассажирских железнодорожных перевозок. Логистическую систему пассажирских железнодорожных скоростных перевозок*

*исследовано как экономико-технологическую модель, проанализировано логистическую цепь предоставления услуг пассажирам железнодорожного транспорта. Сформировано рекомендации по развитию транспортной логистики пассажирских железнодорожных перевозок в Украине на основе стратегического планирования.*

**Ключевые слова:** логистика пассажирских железнодорожных перевозок, технология «точно в срок», пассажиропоток, стратегическое логистическое управление.

**Prymachenko H. O., Zhukovskiy O. Ye. Significance of strategic planning in realization of the concept of development of transport logistics of speed passenger railway transportation.**

*The paper considers the questions about the significance of strategic planning in the development of transport logistics of the sphere of passenger railways high-speed transport in the modern conditions of a market economy. The main principles and tasks of the logistics of passenger rail transport are systematized, based on the optimization of management of all types of flows (passenger flows, financial, information, service flows and material (fuel, water, bed linen, etc., necessary for passenger transportation)). The logistic system of passenger rail high-speed transport has been researched as an economic-technological model that takes into account the interests of both the passenger and the carrier, and analyzed the logistic chain of provision of services to passengers of railway transport. The recommendations for the development of transport logistics of passenger rail transportation in Ukraine have been formed on the basis of strategic planning and use of modern information technologies in the provision of background information, purchase of tickets, etc.*

**Keywords:** logistic of passenger rail transportation, technology «exactly in time», passenger flows, strategic logistics management.

**Примаченко Ганна Олександрівна** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: gannaprymachenko@gmail.com

**Жуковский Александр Евгеньевич** – магістрант кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: tsl@kart.edu.ua

*Рецензент:* д. т. н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 12.04.2018.

УДК 656.073.2

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ СУМАРНИХ ВИТРАТ НА ВИКОНАННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ ВІД ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ

Северин О.О., Шуліка О.О., Потаман Н.В.

## RESEARCH OF THE DEPENDENCE OF TOTAL COSTS ON THE PERFORMANCE OF LOADING AND UNLOADING OPERATIONS FROM THE MAIN INDICATORS OF MECHANIZATION DEVICES WORK

Severin O.O., Shulika O.O., Potaman N.V.

В роботі приведені результати дослідження залежності загальних витрат на виконання навантажувально-розвантажувальних робіт від основних техніко-експлуатаційних показників для заданих умов експлуатації в транспортних вузлах. Також у роботі запропоновано методику вибору раціональної технології навантажувально-розвантажувальних робіт для основних груп вантажів.

**Ключові слова:** технологія навантажувально-розвантажувальних робіт, витрати, регресійна модель.

**Вступ.** Варіативність виконання навантажувально-розвантажувальних робіт (НРР) першочергово залежить від умов виконання вантажних робіт та від характеристик засобів механізації, які при цьому використовуються. Комплексна механізація вантажних робіт в транспортних вузлах дозволить значно зменшити як вартість вантажних робіт, так і вартість доставки вантажів в цілому. Це може значною мірою сприяти підвищенню ефективності доставки вантажів автомобільним транспортом.

**Постановка проблеми.** Процес доставки вантажів є складним технологічним процесом, що складається з великої кількості операцій, набір яких обумовлений вибором з можливих альтернатив виконання етапів доставки вантажів [1]. Транспортні вузли є одним із найбільш складних елементів технологічних систем доставки, які являють собою сукупність технічних, технологічних, комерційних та правових рішень із залученням безлічі посередників для організації та виконання процесу доставки.

На сучасному етапі розвиток транспортних вузлів полягають у використанні логістичного підходу до управління. Підхід полягає в забезпеченні потокових процесів в рамках системи з позиції єдиного ланцюга доставки. Інтеграція

складових управління здійснюється на технічному, технологічному, економічному, методологічному рівнях, а мінімізація витрат часу і ресурсів досягається шляхом оптимізації наскрізного управління матеріальними, інформаційними та фінансовими потоками [2]. Тому питання визначення раціональних значень показників роботи засобів механізації при виконанні вантажних робіт у транспортних вузлах, при яких сумарні витрати на виконання навантажувально-розвантажувальних робіт будуть мінімальні, є актуальним.

**Аналіз публікацій.** Питанням підвищення ефективності НРР на автомобільному транспорті приділяється увага вчених М.Ф. Дмитриченка [3], Л.О. Заборського [4], А. К. Пашкова [5], А.И. Осипенка [6], С.Г. Ігумнова [7] та інших. При цьому, у переважній більшості робіт пропонується підвищення ефективності НРР за рахунок оптимізації параметрів роботи автомобільного транспорту, а це не повною мірою дозволяє врахувати технічні та технологічні характеристики роботи НРМ при виборі раціонального засобу механізації для мінімізації витрат на виконання НРР.

На основі результатів попередніх досліджень та аналізу залежності вантажності засобів механізації навантажувально-розвантажувальних машин (НРМ), на прикладі роботи козлового крану з'ясовано, що до основних показників роботи НРМ відносяться: обсяг перевантажуваного вантажу  $Q$ , вантажність НРМ  $q_m$ , час виконання одного циклу  $T_{ци}$ , коефіцієнт використання вантажності НРМ  $k_{em}$  та коефіцієнт використання робочого часу  $k_v$  [2].

**Мета дослідження.** Визначення залежності загальних витрат на виконання НРР від основних техніко-експлуатаційних показників роботи НРМ для заданих умов експлуатації.

**Результати досліджень.** Загальні витрати  $B_{заг}$  на виконання НРР за період складаються з

капітальних вкладень  $B_k$  поточних витрат  $B_n$ , виплат за позиковий капітал  $B_{нк}$  і суми з основних виплат  $B_{ов}$ :

$$B_{заг} = B_k + B_n + B_{нк} + B_{ов} \quad (1)$$

$$B_{заг} = \begin{cases} \frac{X_m \cdot C_m}{100} \cdot (P_o \cdot 1,03 + P_p) + (B_{чр} + B_{вн}) \cdot D_e + (C_{мо} \cdot Q - 1,3 \cdot (B_{чр} + B_{вн}) \cdot D_e) \cdot \frac{H_{ндв}}{100 + H_{ндв}}, \\ \text{якщо } C_{мо} \cdot Q \cdot (1 - \frac{H_{ндв}}{100 + H_{ндв}}) + (B_{чр} + B_{вн}) \cdot D_e - ((\frac{1,3 \cdot H_{ндв}}{100 + H_{ндв}} - 1) + \frac{X_m \cdot C_m \cdot P_p}{100} + \frac{B_a \cdot H_a}{100}) \cdot \frac{H_n}{100} \leq 0; \\ \frac{X_m \cdot C_m}{100} \cdot (P_o \cdot 1,03 + P_p \cdot (1 - \frac{H_n}{100})) + (B_{чр} + B_{вн}) \cdot D_e \cdot (1 + \frac{H_n}{100} - 1,3 \cdot \frac{H_{ндв}}{100 + H_{ндв}}) + C_{мо} \cdot Q \cdot \frac{H_{ндв}}{100 + H_{ндв}} \times \\ \times (1 + \frac{H_n}{100}) - (\frac{1,3 \cdot H_{ндв}}{100 + H_{ндв}} - 1 - \frac{B_a \cdot H_a}{100}) \cdot \frac{H_n}{100}, \\ \text{якщо } C_{мо} \cdot Q \cdot (1 - \frac{H_{ндв}}{100 + H_{ндв}}) + (B_{чр} + B_{вн}) \cdot D_e - ((\frac{1,3 \cdot H_{ндв}}{100 + H_{ндв}} - 1) + \frac{X_m \cdot C_m \cdot P_p}{100} + \frac{B_a \cdot H_a}{100}) \cdot \frac{H_n}{100} > 0, \end{cases} \quad (2)$$

- де  $X_m$  - кількість НРМ, од.;
- $C_m$  - ціна НРМ, грн;
- $P_o$  - розмір початкового внеску за лізингом, %;
- $B_{чр}, B_{вн}$  - витрати відповідно за час чистої роботи й внутрішньозмінного простою механізму протягом доби відповідно, грн;
- $D_e$  - дні експлуатації НРМ за період, дн.
- $P_p$  - відсоток виплат за лізинговою угодою, %;
- $C_{мо}$  - тариф за тонно-операцію НРМ, грн/т;
- $H_{ндв}$  - ставка податку на додану вартість, %;
- $H_n$  - ставка податку на прибуток, %;
- $B_a$  - сумарна балансова вартість НРМ на початок періоду,
- $H_a$  - норма амортизаційних відрахувань, %.



Рис. 1. Схема проведення дослідження

Проведення дослідження залежності загальних витрат від основних технічно-експлуатаційних показників мають на меті спростити вивчення процесу НРР для реальних умов з урахуванням дії

В результаті декомпозиції складових критерію ефективності цільова функція має наступний вигляд:

значної низки випадкових чинників виробничого середовища. При дослідженні враховані технічно-економічні характеристики моделей козлових кранів вантажністю від 1,8 т до 32 т.

Блок-схема алгоритму вибору раціональної технології НРР за критерієм найменших витрат на виконання НРР представлена на рисунку 1.

Для виконання експериментальних досліджень шляхом моделювання параметрів моделі було проведено повнофакторний експеримент. Для урахування всіх можливих варіантів поєднання рівнів варіювання вхідних факторів був розроблений план проведення повного факторного експерименту у вигляді матриці, що включає 32 серії дослідів, та визначені рівні варіювання чотирьох вхідних факторів (табл.1). Фрагмент матриці планування повного факторного експерименту наведений у таблиці 2.

Для обробки результатів експериментальних досліджень прийнято використовувати інструментарій регресійного аналізу. Визначення функціональної залежності загальних витрат на перевантаження вантажу від параметрів проведено в наступній послідовності: формування альтернативних гіпотез про вид регресійної моделі; визначення коефіцієнтів регресійних моделей за висунутими альтернативними гіпотезам; оцінка адекватності отриманих регресійних моделей і вибір найбільш адекватної.

Таблиця 1

Значення вхідного фактору	Рівні варіювання вхідних факторів	
	-1	+1
$X1 - Q, т$	15250	152500
$X2 - q_m, т$	1,8	32
$X3 - T_{чр}, с$	30	300
$X4 - k_{ем} (k_{зк})$	0,2	1
$X5 - k_v$	0,2	1

Таблиця 2

## Матриця планування повного факторного експерименту

Серія досліджу	Рівні варіювання вхідних факторів				
	X1	X2	X3	X4	X5
1	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	-
...	...	...	...	...	...
31	-	+	-	+	-
32	+	-	+	-	+

Аналitична залежність для визначення сумарних витрат на перевантаження вантажу дозволяє віднести до множини альтернативних гіпотез про вид функціональної залежності зведених витрат  $B_{заг}$  від параметрів наступні: гіпотеза про лінійну (3) та ступеневу (4) залежності:

$$B_{заг}^1 = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_4 \cdot X_4 + a_5 \cdot X_5, \quad (3)$$

$$B_{заг}^2 = a_0 \cdot X_1^{a_1} \cdot X_2^{a_2} \cdot X_3^{a_3} \cdot X_4^{a_4} \cdot X_5^{a_5}, \quad (4)$$

де  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  – коефіцієнти регресійної моделі.

В якості основного інструменту для визначення коефіцієнтів регресійних моделей при обробці результатів експериментальних досліджень використано функції пакету аналізу MS Excel (Data Analysis – Regression). Функції пакету аналізу для побудови регресійних моделей надають можливість отримати наступні результати [8]: значення коефіцієнтів функції регресії; значення коефіцієнту детермінації та пов'язані із ним величини; результуючі показники дисперсійного аналізу та критеріальної статистики для перевірки значимості моделі регресії; по кожному коефіцієнту регресії – середньоквадратичне відхилення та інші статистичні характеристики, що дозволяють перевірити значимість коефіцієнту; - значення функції регресії та залишки – різниця між вихідними значеннями змінної та розрахованими значеннями функції регресії.

У таблиці 3 надані результати регресійного аналізу. Серед перевірених гіпотез найбільш адекватною є ступенева залежність. Більш того, значення коефіцієнту детермінації, близького до 1, говорить про те, що отримана залежність є практично функціональною.

Примітка: \* позначені коефіцієнти, що є найбільш значимими і які ввійдуть в кінцевий варіант регресійної залежності.

Таким чином, отримуємо наступну регресійну модель залежності сумарних витрат на перевантаження вантажу від параметрів моделі:

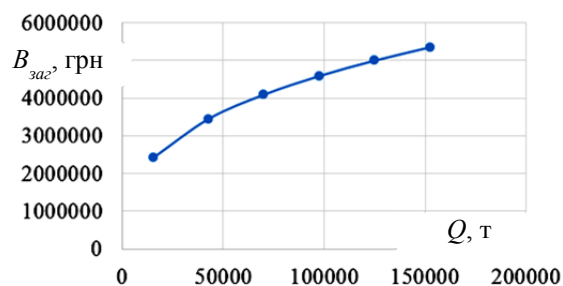
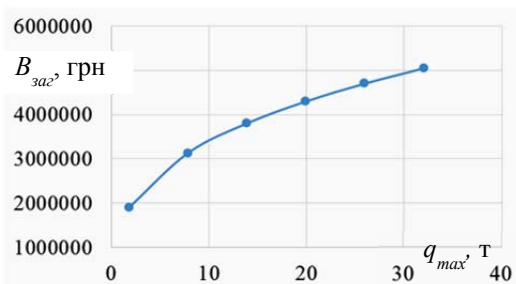
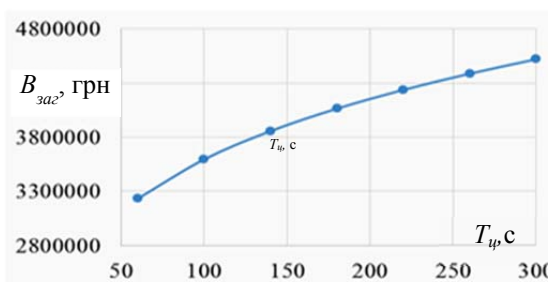
$$B_{заг} = 10205,44 \cdot Q^{0,345} \cdot q_m^{0,339} \cdot T_{ц}^{0,208} \cdot k_{ем}^{-0,208}. \quad (5)$$

Таблиця 3

## Результат регресійного аналізу

Значення коефіцієнтів рівняння регресії	Гіпотеза про вид рівняння регресії	
	Лінійний ( $B_{заг}^1$ )	Ступеневий ( $B_{заг}^2$ )
$a_0$	222871,6*	10205,44
$a_1$	17,9	0,345
$a_2$	67316,8	0,339
$a_3$	6168,7	0,208
$a_4$	-1850603	-0,208
$a_5$	862456,8	10205,44
Значення коефіцієнту детермінації	0,732861	0,865049

На рисунках 2-5 надані залежності загальних витрат на виконання НРР від основних показників роботи НРМ для заданих умов експлуатації, отримані на підставі регресійної моделі (5).

Рис. 2. Залежність сумарних витрат від обсягу вантажу ( $q_m=16,9$  т,  $T_{ц}=180$  с,  $k_{ем}=0,6$ )Рис. 3. Залежність сумарних витрат від вантажності ( $Q=68625$  т,  $T_{ц}=180$  с,  $k_{ем}=0,6$ )Рис. 4. Залежність сумарних витрат від часу циклу ( $Q=68625$  т,  $q_m=16,9$  т,  $k_{ем}=0,6$ )

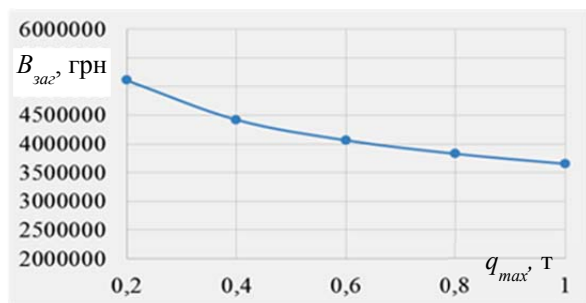


Рис. 5. Залежність сумарних витрат від коефіцієнта використання вантажності ( $Q=68625$  т,  $q_m=16,9$  т,  $T_u=180$  с)

**Висновки.** При здійсненні навантажувально-розвантажувальних робіт в транспортних вузлах важливим шляхом підвищення ефективності роботи НРМ є зниження сумарних витрат на виконання НРР. Визначення залежностей загальних витрат на виконання НРР від основних техніко-експлуатаційних показників роботи НРМ для заданих умов експлуатації показує, що величина зведених витрат має пряму нелінійну залежність від обсягу вантажу, вантажності крана та часу робочого циклу і зворотну нелінійну залежність від коефіцієнта використання його вантажності. Це дозволить визначити оптимальні параметри роботи НРМ, а значить і раціональну технологію НРР в цілому. Застосування даного підходу дозволяє знизити сумарні витрати на НРР до 10%.

#### Література

1. Шуліка О.О. Формування процесу доставки тарноштучних вантажів автомобільним транспортом у міжміському сполученні: дис. ... кандидата техн. наук: спец. 05.22.01 / Ольга Олександрівна Шуліка. – Харків, ХНАДУ, 2017. – 232 с.
2. Северин О.О., Шуліка О.О. Визначення залежності вантажності козлового крана від основних показників роботи на автотранспорті / О.О. Северин, О.О. Шуліка // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – Харків: ХНТУСГ, – 2018. – Вип. 12, С. 191-196.
3. Транспортні технології в системах логістики / [М. Ф. Дмитриченко, П. Р. Левковець, А. М. Ткаченко та ін.]. – К.: Інформавтор, 2007. – 676 с.
4. Заборський Л.О. Методичні основи організації транспортно-технологічних процесів у системах доставки вантажів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи». – Одеса : Одеськ. нац. морськ. ун-т, 2008. – 20 с.
5. Пашков А. К. Складское хозяйство и складские работы / А.К. Пашков, Ю. Н. Полярин. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 366 с.
6. Осипенко А. И. Транспортное перегрузочное оборудование / А. И. Осипенко. [консп. лекций]. – Красноярск: Енисейский филиал ФГОУ ВПО НГАВТ, 2009. – 88 с.
7. Игумнов С. Г. Стропальщик. Грузоподъемные краны и грузозахватные приспособления: учеб. пособие/ С. Г.

Игумнов. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 64 с.

8. Галушко В. Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте / В. Г. Галушко. – К.: Вища школа, 1976. – 232 с.

#### References

1. Shullka O.O. Formuvannya protsesu dostavki tarnoshthuchnih vantazhiv avtomobilnim transportom u mizhmiskomu spoluchenni: dis. ... kandidata tehn. nauk: spets. 05.22.01 / Olga Oleksandrivna Shullka. – Harkiv, HNADU, 2017. – 232 s.
2. Severin O.O., Shullka O.O. Vznachennya zalezhnosti vantazhnosti kozlovogo kranu vid osnovnih pokaznikiv roboti na avtotransportі / O.O. Severin, O.O. Shullka // Tehnichnyi servis agropromislovogo, liso-vogo ta transportnogo kompleksiv. – Harkiv: HNTUSG, – 2018. – Vip. 12, S. 191-196.
3. Transportni tehnologiyi v sistemah logistik / [M. F. Dmitrichenko, P. R. Levkovets, A. M. Tkachenko ta In.]. – K.: Informavtor, 2007. – 676 s.
4. Zaboriskiy L.O. Metodichni osnovi organizatsiyi transportno-tehnologichnih protsesiv u sistemah dostavki vantazhiv : avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tehn. nauk : spets. 05.22.01 «Transportni sistemi». – Odesa : Odesk. nats. morsk. un-t, 2008. – 20 s.
5. Pashkov A. K. Skladske hazayaystvo i skladskie raboty / A.K. Pashkov, Yu. N. Polyarin. – M.: IKTs «Akademkniga», 2003. – 366 s.
6. Osipenko A. I. Transportnoe peregruzochnoe oborudovanie / A. I. Osipenko. [konsp. lektsiy]. – Krasnoyarsk: Eniseyskiy filial FGOU VPO NGAVT, 2009. – 88 s.
7. Igumnov S. G. Stropalschik. Gruzopod'emnyie kranii i gruzozahvatnyie prispособleniya: ucheb. posobie/ S. G. Igumnov. – M.: Izdatelskiy tsentr «Akademiyaa», 2007. – 64 s.
8. Galushko V. G. Veroyatnostno-statisticheskie me-todyi na avtotransporte / V. G. Galushko. – K.: Vischa shkola, 1976. – 232 s.

**Северин А.А., Шуліка О.А., Потаман Н.В. Исследование зависимости суммарных затрат на выполнение погрузо-разгрузочных работ от основных показателей работы средств механизации.**

*В работе приведены результаты исследования зависимости общих затрат на выполнение погрузочно-разгрузочных работ от основных технико-эксплуатационных показателей для заданных условий эксплуатации в транспортных узлах. Также в работе предложена методика выбора рациональной технологии погрузочно-разгрузочных работ для основных групп грузов.*

**Ключевые слова:** технология погрузо-разгрузочных работ, затраты, регрессионная модель.

**Severin O.O., Shulika O.O., Potaman N.V. Research of the dependence of total costs on the performance of loading and unloading operations from the main indicators of mechanization devices work**

*The paper presents the results of the determination of the dependence of the total costs on the performance of loading and unloading operations from the main technical and operational indicators for specified operating conditions in transport hubs. It has been proved that the value of the consolidated costs had a direct nonlinear dependence on the*

---

*volume of cargo, crane load and time of the working cycle and the inverse nonlinear dependence on the coefficient of carrying capacity. It will determine the optimal parameters of the work of mechanization devices, and hence the rational technology of the loading and unloading operations as a whole. The application of this approach allows reducing the total expenses for loading and unloading operations up to 10%. In addition, the method of choosing rational technology of loading and unloading works for the basic groups of cargoes has been offered in the work.*

**Key words:** *technology of loading and unloading, costs, regression model*

**Северин Олександр Олександрович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних технологій Харківського автомобільно-дорожнього університету, e-mail: saa.severin@ukr.net.

**Шуліка Ольга Олександрівна** – к.т.н., асистент кафедри транспортних технологій Харківського автомобільно-дорожнього університету, e-mail: s\_olga\_h@ukr.net,

**Потаман Наталя Володимирівна** – к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних технологій Харківського автомобільно-дорожнього університету, e-mail: potaman81@ukr.net.

*Рецензент: д.т.н., проф. Горбунов М.І.*

Стаття подана 29.03.2018.

УДК 629.123

## ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДИКАТОРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ

Суворов П.С., Тарасенко Т.В., Залож В.И.

## PRINCIPLES OF DETERMINATION OF ENERGY EFFICIENCY INDICATORS FOR INLAND NAVIGATION VESSELS

Suvorov P., Tarasenko T., Zalozh V.

*Рассмотрены вопросы идентификации индикаторов энергоэффективности во внутреннем судоходстве. Проведен анализ индексов энергоэффективности, применяемых Международной морской организацией в международном морском судоходстве. Особое внимание авторы уделили вопросам определения скорости движения судна в условиях фарватера переменной ограниченной глубины на речных участках, анализу неопределенностей и факторов, оказывающих влияние на значение скорости.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, мелководье, скорость, экономичность, расход, индекс, топливо.

**Введение.** Исследования Международной морской организации (ИМО) [2, 3] и поправки, внесенные в Международную Конвенцию МАРПОЛ, создали основу для применения в речном судоходстве индексов энергоэффективности по тем же принципам, которые заложены ИМО для оценки энергоэффективности в международном морском судоходстве (программы Европейского Союза The Innovative Danube Vessel, PROMINENT), что ожидаемо привело к проблемам, с которыми сталкиваются исследователи при поиске оптимальных скоростей движения по внутренним водным путям, а именно, при определении степени влияния путевых навигационных условий, и, прежде всего, ограниченности фарватера по глубине.

**Постановка проблемы.** Если при оценке влияния навигационных условий в форме вычисления индекса энергоэффективности ЕЕІ по ИМО это учтено путем введения погодного коэффициента  $f_w$ , то такая упрощенная аппроксимация абсолютно не пригодна для судов в речных условиях движения по фарватеру со сложным продольным профилем, постоянно изменяющимся уровнем воды и уклоном водной поверхности. Если принять за базовый некий средний уровень воды, то глубина под килем судна в

речных условиях движения в общем виде будет описываться как:

$$H = f(S, \Delta H_p, I), \quad (1)$$

где  $H$  – глубина под килем, м;  $S$  – расстояние от устья по фарватеру, м;  $\Delta H_p$  – изменение уровня воды в реке по данным водопостов, м;  $I$  – уклон водной поверхности реки.

Известно, что влияние мелководья начинает проявляться при глубине, определяемой по формуле Г. Е. Павленко [4], м:

$$H \leq 4T + \frac{3v^2}{g} \quad (2)$$

Логично, что скорость движения судна при неизменном значении полезной тяги  $P_e$  при движении на речном участке также будет находиться в зависимости от перечисленных факторов:

$$v = f(S, \Delta H_p, I) \quad (3)$$

При докритических скоростях движения судна на мелководье характерной особенностью кривой сопротивления:

$$R = a_{11}v^2 \quad (4)$$

и кривой винтовой характеристики:

$$N_p = a_{21}v^3 \quad (5)$$

или

$$N_e = a_{22}n^3, \quad (6)$$

( $N_p$ ,  $N_e$  – соответственно мощности на гребном валу и эффективная мощность двигателей,  $n$  – частота вращения гребного вала) является то, что их наклон

при малых значениях числа Фруда по глубине ( $Fr_H = 0,60$ ) резко возрастает, а вблизи критической скорости становится почти вертикальной. Резкий рост сопротивления при выходе на мелководный участок и существенное при этом снижение пропульсивного коэффициента, резко снижает скорость движения судна (рис. 1), приводит к ощутимой перегрузке двигателей и увеличению расхода топлива; особенно это характерно для «тяжелых» составов (рис.2).

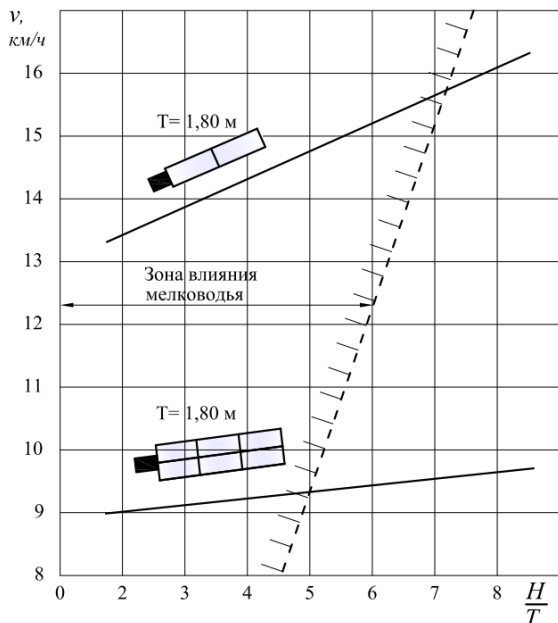


Рис. 1. Влияние мелководья на режим движения составов

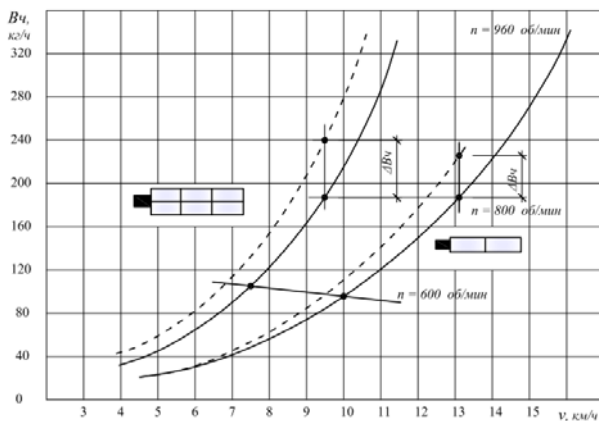


Рис. 2. Изменение часового расхода топлива  $B_q$  при выходе каравана на мелководный участок

**Анализ последних исследований и публикаций.** Выбору оптимальной скорости движения судов (составов) в условиях мелководья посвящено значительное число исследований, при этом в качестве критерия оптимальности принимались различные критерии. В работе Г.Е. Павленко [4] в качестве критерия оптимальности принято отвлеченное число  $P$ , которое представляет

собой отношение приращения сопротивления к соответствующему приращению скорости движения судна:

$$P = \frac{dR/R}{dv/v} \quad (7)$$

Тем самым, в этой форме учитывается только гидромеханические характеристики судна, а изменение мощности и расхода топлива (как основного фактора энергоэффективности) в явном виде в данном критерии не приводится

В работе Ю.П. Петрова [1] в качестве критерия оптимальности принят расход топлива и задача оптимального управления формулируется как: «определить закон движения судна по фарватеру с переменной глубиной при условии, что судно должно пройти некоторое расстояние за определенное время с минимальным расходом топлива».

**Цель статьи.** Применение индикаторов энергоэффективности для определения рациональной скорости движения, а также показателей экономичности и экологичности в условиях фарватера переменной ограниченной глубины.

Для определения оптимальной скорости решается вариационная задача, которая сводится к определению максимума функционала:

$$B = \int_0^{t_0} b(v, \frac{H}{T}) dt, \quad (8)$$

где  $\frac{H}{T}$  – относительная глубина;

$b(v, \frac{H}{T})$  – мгновенный расход топлива.

Недостатком данного метода также является то, что при этом не приведено в явном виде значения мощности и частота вращения двигателей а также не учитывается заданное время рейса и общая себестоимость перевозки. Соответственно, это должно найти отражение и в общей постановке задачи оценки энергоэффективности.

С точки зрения времени рейса возможен следующий подход.

Примем, что средняя скорость судна в течение предполагаемого рейса определяется через среднюю частоту вращения вала двигателя:

$$v_{cp} = a_{24}(1 - a_{25})n_{cp}, \quad (9)$$

где  $a_{25}$  – коэффициент, учитывающий снижение частоты вращения вала от точки, в которой  $\bar{B}_q(\bar{v}) < 1$  (шлюзование, маневровые работы).

Если представить суммарный путь  $\sum S_{pi}$ , состоящий из  $S_{pi}$  участков со скоростями течения  $v_{pi}$

, и задаться в первом приближении ориентировочным временем рейса  $\tau_p$ , то начальная частота вращения вала двигателя на первом участке:

$$n_1 = \frac{\sum S_{pi} - v_{\tau_{cp}}}{a_{24}(1 - a_{25})}, \quad (10)$$

где

$$v_{\tau_{cp}} = \sum v_{\tau_i} / \sum i \quad (11)$$

Определим условное время рейса, приняв на каждом участке частоту вращения вала дизеля  $n_i$ :

$$\sum \tau_{i(1)} = \sum \frac{S_{pi}}{[a_{24}(1 - a_{25})]n_i + v_{\tau_i}} \quad (12)$$

Если  $\sum \tau_{i(1)} = \tau_p$ , то значение  $n_1$  может быть принято за начальную частоту вращения вала дизеля на первом участке.

Считая, что работа дизеля происходит по номинальной винтовой характеристике, для значения  $n_1$  определим величину соответствующей мощности  $N_{e1}$ . По известным  $n_1$  и  $N_{e1}$  найдем величину часового расхода топлива, которую примем за норму на первом участке  $B_{ч1}$ .

Исходя из  $B_{ч1}$ , определим среднюю (базовую) скорость хода судна на первом участке

$$v_{\sigma 1} = \sqrt[3]{B_{ч1} / b_R} \quad (13)$$

Скорость хода судна на последующих участках может быть определена по аналогичной схеме, при этом очередной участок принимается за первоначальный.

Представленная схема выбора  $v_{\sigma}$  во многом соответствует другим методикам определения экономической скорости хода судна.

Тем самым, вопросы энергоэффективности судов внутреннего плавания имеют более сложное поле составляющих, пренебрегать которыми недопустимо.

**Результаты исследований.** Все теоретические работы по определению режимов движения, включая вышеуказанные, рассматривают в своих рассуждениях одиночное судно с неизменяемыми геометрическими характеристиками. Однако, около 70% всего судоходства на Дунае составляют перевозки большегрузными караванами до 15 тыс. тонн с различными схемами построения состава в зависимости от участка движения и текущих условий плавания.

Проводимые в Украинском Дунайском пароходстве в 1995–2003 годах систематические испытания по определению рациональных режимов движения составов учитывали известные

исследования, но придерживались своей оригинальной системы, заключающейся в следующем:

1. Дистанция предполагаемого рейса разбивается на отдельные участки, имеющие примерно одинаковые характеристики, а именно, постоянные глубины и скорости течения.

2. На выбранных участках имеются достаточно длинные участки с постоянной глубиной, что дает возможность количественно учесть разовые выходы на мелководье, где изменяется часовой расход топлива (рис.2).

3. Для выбранных участков при известном весе состава  $Q$  и измеряемых значениях фактической скорости  $v_{\phi}$ , расходу топлива  $B$  времени полного хода  $Z_{пх}$ , времени работы других потребителей топлива (отдельно вспомогательных дизель-генераторов и котла) определялись величины:

а) расход топлива на 1 км движения, кг/км:

$$B = \frac{G}{L}, \quad (14)$$

б) часовая производительность, т/час:

$$\frac{Q}{Z_{пх}}, \quad (15)$$

в) интенсивность провозной способности:

$$\alpha = \frac{Q}{t_{пх}} \cdot v_{\phi}. \quad (16)$$

Для проведения подобных испытаний был выбран достаточно стабильный с точки зрения сезонных колебаний глубин и скорости течения участок Дуная (Видин–Мохач) длиной 657 км и с караванами с однотипным толкачом типа «Запорожье»:  $L = 32,6$  м;  $B = 11,0$  м;  $H = 2,6$  м;  $d = 1,75$  м; главные двигатели марки SBV6M628 фирмы Deutz, ФРГ, диаметр цилиндра  $D = 240$  мм, ход поршня  $S = 280$  мм,  $N_e = 2 \times 910$  кВт при  $n = 1000$  мин<sup>-1</sup> – с целью выяснения общих закономерностей изменения расхода топлива и приведенных показателей производительности. На основании последних имеется возможность вычисления себестоимости перевозки как необходимый дополнительный элемент к энергоэффективности судов внутреннего плавания (табл.).

Анализируя полученные кривые видно, что повышение эффективности грузоперевозок возможно только увеличивая скорость движения состава против течения с общим количеством груза не более 8,0 тыс. тонн, при этом снижается расход топлива на 1 км пути (см. кривую  $\frac{G}{L}$ ) и его стоимость (см. кривую  $C$ ) при значительном возрастании интенсивной провозной способности (см. кривую  $\alpha$ ).

Таблица

## Результаты проведённых испытаний на участке Дуная (Видин – Мохач) при ходе вверх.

№ п/п	Название судна	Кол-во груза $Q$ , т	Средняя скорость $v_{ср}$ , км/ч	Время рейса					Расход топлива в тоннах	Расход топлива в кг/км	Стоимость топлива на 1 км, в дол.	Производительность, т/ч	Интенсивность провозной способности	Дата рейса
				$Z_{ПВ}$ , ч	$Z_{ДГ}$ , ч	$Z_{МАН}$ , ч	$Z_{СГ}$ , ч	$Z_{КОП}$ , ч						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.	Златоуст	8796	7,56	86 <sup>25</sup>	114 <sup>50</sup>	22 <sup>25</sup>	5 <sup>30</sup>	-	29,847	45,4	9	101	764	18.08-23.08
2.	Звёздный	9008,8	6,1	108	272	47	117	-	40,532	61,7	12,3	83,4	509	24.07-03.08
3.	Звёздный	7353	5,5	119,5	160	14 <sup>25</sup>	26 <sup>20</sup>	160	42,750	65	13	61,5	338	05.04-11.04
4.	Златоуст	8538	6,7	98	140	8	34	70	32,541	49,5	9,9	87	584	07.04-12.04
5.	Задонск	9157	6,44	102	115	11	2	115	35,900	54,6	11	89,8	578	29.04-04.05
6.	Знаменка	2233	5,35	122 <sup>45</sup>	128	5 <sup>15</sup>	0 <sup>20</sup>	125	21,000	32	6,4	18,2	97	27.04-02.05
7.	Загорск	8733	5,65	116 <sup>15</sup>	147	7 <sup>40</sup>	22 <sup>05</sup>	-	31,250	47,6	9,5	75	424	14.06-29.06
8.	Запорожье	7320	6.3	104	126	11	11	-	31,850	48,5	9,7	69,7	439	07.09-13.09
9.	Задонск	6039	7,6	96	215	11	118	180	29,697	45,2	9	70	534	27.08-05.09

Где  $Z_{ПВ}$  – часы полного хода, ч;  
 $G$  – расход топлива в кг на участке;  
 $L$  – расстояние в км (657 км);  
 $\alpha$  – интенсивность провозной способности;  
 $\alpha = \frac{Q}{Z_{ПВ}} \cdot v_{ф}$   
 $v_{ф}$  – фактическая скорость прохождения участка;  
 $Q$  – количество груза в тоннах, т;  
 $c$  – цена одной тонны топлива в долларах,  $c=200$  \$.

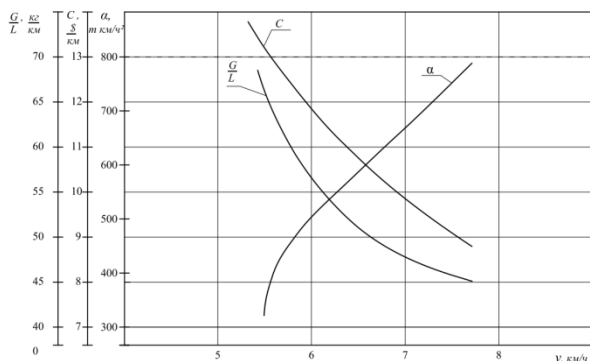


Рис. 3. Графическое представление результатов проведённых испытаний на участке Дуная (Видин – Мохач) при ходе вверх.

Однако, оптимальными можно считать скорости для судов типа т/х «Запорожье» 6,5...8,0 км/ч при движении вверх.

**Выводы.** На основании вышеизложенного следуют выводы.

1. Движение судов внутреннего плавания в речных условиях связано с наличием значительно большего количества неопределенностей, чем в морском судоходстве.

2. Оценка неопределенностей, влияющих на основные характеристики движения судна в условиях рек, является необходимым условием формирования подхода к оценке энергоэффективности судов внутреннего плавания. Подход, предложенный ИМО для оценки

энергоэффективности в морском судоходстве, не соответствует данной позиции.

3. Показатели финансовой и топливной экономичности (и их сопоставление) могут быть применимы для оценки энергоэффективности судов внутреннего плавания в качестве дополнительных.

## Литература

- Петров, Ю.Е. Оптимальные регуляторы судовых силовых установок [Текст] / Ю.Е.Петров. – Л.: Судостроение, 1966. – 121 с.
- Second IMO GHG Study 2009 [Электронный ресурс]. – IMO, 2009. – 240 p. – Режим доступа 24.04.18: [http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data\\_id=27795](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=27795).
- Study on tests and trials of the Energy Efficiency Design Index as developed by the IMO [Электронный ресурс]: Report for project 6543 / Deltamarin, Finland, 2011. – Режим доступа 24.04.18: <http://www.emsa.europa.eu/tags/download/1517/1310/23.html>.
- Оптимальный гидромеханический комплекс сухогрузного теплохода для р. Дунай [Текст]: отчёт о НИР / Новосибирский НИИ водного транспорта; рук. Павленко В.Г.; исп. Деревянченко Н.Т., Литвинов А.И., Мащикова И.Ю. – Новосибирск: НИИВТ, 1992. – 101 с.

## References

- Petrov, Ju.E. Optimal'nye reguljatory sudovyh silovyh ustanovok [Tekst] / Ju.E.Petrov. – L.: Sudostroenie, 1966. – 121 s.

2. Second IMO GHG Study 2009 [Jelektronnyj resurs]. – IMO, 2009. – 240 p. – Rezhim dostupa 24.04.18 [http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data\\_id=27795](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=27795).
3. Study on tests and trials of the Energy Efficiency Design Index as developed by the IMO [Jelektronnyj resurs]: Report for project 6543 / Deltamarin, Finland, 2011. – Rezhim dostupa 24.04.18: <http://www.emsa.europa.eu/tags/download/1517/1310/23.html>.
4. Optimal'nyj gidromehaničeskij kompleks suhogruznogo teplohoda dlja r. Dunaj [Tekst]: otchjot o NIR / Novosibirskij NII vodnogo transporta; ruk. Pavlenko V.G.; isp. Derevjan-chenko N.T., Litvinov A.I., Mashhikova I.Ju. – Novosibirsk: NIIVT, 1992. – 101 s.

**Суворов П.С., Тарасенко Т.В., Залож В.І.**  
**Принципи визначення індикаторів енергоефективності для суден внутрішнього плавання.**

*Розглянуті питання ідентифікації індикаторів енергоефективності у внутрішньому судноплаванні. Виконано аналіз індексів енергоефективності, які застосовуються Міжнародною морською організацією у міжнародному морському судноплаванні. Особливу увагу автори приділили питанням визначення швидкості руху судна в умовах фарватеру змінної обмеженої глибини на річкових ділянках, аналізу невизначеностей та факторів, які впливають на значення швидкості.*

**Ключові слова:** енергоефективність, мілководдя, швидкість, економічність, витрата, індекс, паливо.

**Suvorov P., Tarasenko T., Zalozh V. Principles of determination of energy efficiency indicators for inland navigation vessels.**

*The issues of identification of energy efficiency indicators in inland navigation are considered. An analysis was carried out for the energy efficiency indexes applied by the International Maritime Organization in international maritime navigation. Particular attention was paid to the issues of determining the speed of the vessel under the conditions of the variable-depth waterway in river areas, the analysis of uncertainties and factors affecting the speed value.*

**Keywords:** energy efficiency, shallow water, speed, economy, consumption, index, fuel.

**Суворов П.С.** – д.т.н., професор, академік Транспортної академії України, e-mail: [psuvorbud@mail.ru](mailto:psuvorbud@mail.ru)

**Тарасенко Т.В.** – к.т.н., доцент кафедри, завідувач кафедри Інженерних дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: [sergeysunnysat@gmail.com](mailto:sergeysunnysat@gmail.com)

**Залож В.І.** – старший викладач кафедри Інженерних дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: [zalozh@ukr.net](mailto:zalozh@ukr.net)

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 15.03.2018.

УДК 629.4; 621.436

## МОДЕЛЬ ВИБОРУ СТЕНДУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДИЗЕЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Фалендиш А.П., Гатченко В.О., Клецька О.В., Сулежко Д.Е.

## MODEL OF STAND SELECTION FOR ECOLOGICAL-ENERGY TESTS OF DIESEL ROLLING STOCK

Falendysh A., Hatchenko V., Kletska O., Sulezhko D.

*У статті розглянуті основні проблеми діяльності залізничного транспорту з дизельною тягою. Проаналізовані випробувальні лабораторії та дослідження, щодо оцінки еколого-енергетичних показників роботи двигунів внутрішнього згорання. Проведений аналіз ринку випробувальних стендів, газоаналізаторів та димомірів. Визначені головні критерії вибору стенду та приладів вимірювання. Розроблена модель вибору випробувального стенду, газоаналізатору та димоміру за певним критерієм для проведення еколого-енергетичних випробувань.*

**Ключові слова:** еколого-енергетичне випробування, випробувальний стенд, газоаналізатор, димомір.

**Вступ.** Діяльність залізничного транспорту відіграє важливу роль у функціонуванні економіки держави. Проте, у процесі роботи залізниці також є негативні фактори, одним з яких є шкідливі викиди у атмосферу. Це пов'язане, насамперед, з переважною кількістю тягового рухомого складу з дизельною енергетичною установкою. Локомотивний парк маневрових тепловозів, режим роботи яких є найбільш нестабільним, є домінуючим джерелом забруднення. У зв'язку з цим, не втрачає актуальності проведення заходів щодо покращення екологічних та економічних показників роботи двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ).

Питанням покращення еколого-енергетичних показників дизельної тяги приділяється дуже велика увага не тільки залізницею, але й всіма підприємствами, робота яких певним чином пов'язана з використанням поршневих двигунів. Обґрунтування дієвості нових розробок, щодо підвищення еколого-енергетичних показників, повинне бути підтверджено певними випробуваннями. Ці випробування виконують випробувальні лабораторії, які мають спеціальні стенди та прилади, що здатні надати необхідні параметри, на основі яких можна зробити оцінку впливу на роботу ДВЗ певних змін.

**Постановка проблеми.** Для вибору оптимального варіанту проведення випробувань по виміру шкідливих речовин у відпрацьованих газах (ВГ), потужності ДВЗ та витрат палива, необхідно провести детальний аналіз існуючих на сьогодні методів та розробити відповідну методологію проведення еколого-енергетичних випробувань дизельного рухомого складу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Еколого-енергетичні випробування ДВЗ, в основному, проводяться у спеціальних випробувальних лабораторіях, що мають необхідні стенди, газоаналізatori, димоміри тощо. На території України існує достатня кількість лабораторій, де проводяться дослідження щодо покращення екологічних та економічних показників двигунів.

Так, у випробувальній лабораторії Науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту «Молнія» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» виконувались дослідження [1,2] щодо формування на поверхні поршня каталітичного покриття, яке призведе до більш повного згорання палива і, як наслідок, покращення еколого-енергетичних показників ДВЗ. Експериментальне дослідження впливу регулювання температурного стану поршнів [3] показало, що відключення струминного охолодження поршнів позитивно впливає на еколого-економічні показники двигуна, навіть при керуванні кутом випередження подачі палива. Результат випробування дизельного двигуна [4], при додаванні у паливо 1-2% водню, показав на підвищення паливної економічності на 2-6%, за рахунок компенсації негативного впливу підвищення температури повітря, що подається у циліндри.

Експериментальне дослідження [5], що проводилось на базі випробувально-діагностичної лабораторії Харківського Національного автомобільного університету, підтвердило

ефективність використання наносекундного розряду в якості ініціатора процесу займання в ДВЗ, що забезпечує зниження витрат палива при одночасному зниженні токсичності ВГ.

Питаннями покращення еколого-енергетичних показників ДВЗ також займаються: Випробувальна лабораторія рухомого складу Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна; Науково-дослідна лабораторія Національного транспортного університету; Випробувальний центр ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» та інші.

За межами України випробувальні лабораторії існують майже в усіх країнах, де певною мірою розвинута галузь промисловості, що пов'язана з використанням ДВЗ. До найбільш масштабних лабораторій можна віднести наступні: The Testing Institute «ISP» (Німеччина, Франція, Китай), «SGS» (Німеччина, Франція, Іспанія, США та ін.), «Intertek» (Німеччина, Італія, Франція та ін.), The School of Engineering and Materials Science (Англія) та ін. В цих лабораторіях, як і у вітчизняних, пріоритетними є питання покращення екологічних та економічних показників ДВЗ.

**Мета статті.** Метою статті є розробка моделі та визначення раціональної комплектації стенду для проведення еколого-енергетичних випробувань дизельних локомотивів.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз досліджень ДВЗ показав на те, що найбільше уваги приділяється таким параметрам двигуна як потужність, витрата палива, вміст шкідливих речовин та димність ВГ. Таким чином, необхідно проаналізувати існуючі на сьогодні випробувальні стенди та прилади з визначення енергетичних та екологічних показників дизельного рухомого складу.

Розглянемо варіанти випробувальних стендів, що дають можливість отримати дані, щодо потужності та витрати палива ДВЗ.

Характеристики різних типів випробувальних стендів наведено в таблиці 1.

З таблиці 1 можна визначити головні критерії вибору випробувального стенду: вартість, час проведення випробувань та вага стенду. Значення цих критеріїв наведено у таблиці 2.

Другою групою показників, які необхідно визначити, є екологічні показники.

Таблиця 1

Технічні характеристики випробувальних стендів

Модель стенду	Контрольовані параметри	Максимальна потужність ДВЗ, кВт	Напруга електроживлення стенду, В	Габаритні розміри, мм	Вага, кг	Вартість, тис. долар США
КС276-03	Потужність; крутний момент; витрата палива; температура масла; температура охолоджуючої рідини.	110	380	3020x1010x1400	1230	95
КОПИС КСС-1000	Потужність; крутний момент; витрата палива; температура масла; температура охолоджуючої рідини та ін.	1000	380	6000x2000x2000	6200	180
КОПИС КСС-5000	Потужність; крутний момент; витрата палива; температура масла; температура охолоджуючої рідини та ін.	5000	380	6000x2000x2000	6200	270
ОТС-1	Потужність; крутний момент; витрата палива; температура масла; температура охолоджуючої рідини та ін.	110	380	6000x2000x2000	7000	110
ОТС-4	Потужність; крутний момент; витрата палива; температура масла; температура охолоджуючої рідини та ін.	800	380	6000x2000x2000	7000	265
ОТС-5	Потужність; крутний момент; витрата палива; температура масла; температура охолоджуючої рідини та ін.	1300	690	6000x2000x2000	7000	330

Таблиця 2

## Значення критеріїв вибору випробувального стенду

№	Модель стенду	Вартість, тис. дол. США	Час роботи, хв.	Вага, кг
1	КС276-03	95	20	1230
2	КОПИС КСС-1000	180	50	6200
3	КОПИС КСС-5000	270	50	6200
4	ОТС-1	110	40	7000
5	ОТС-4	265	40	7000
6	ОТС-5	330	40	7000

Серед шкідливих газів, що містять відпрацьовані гази ДВЗ є: діоксид сірки ( $SO_2$ ); оксид вуглецю ( $CO$ ); діоксид вуглецю ( $CO_2$ ); оксиди азоту ( $NO_x$ ); вуглеводні ( $C_nH_n$ ); сажа. Оксид вуглецю утворюється в результаті неповного згоряння вуглецю в пальному і складає 2-10% від всієї кількості викидів. Вуглеводні являють собою незгорілі складники палива, концентрація у викидах яких дорівнює 0,1-1,0%. Оксиди азоту, вміст яких складає 0,1-0,5%, утворюються при згорянні будь-яких видів палива, та у поєднанні з вуглеводнями утворюють небезпечні токсичні нітроолефіни [6].

Аналіз продуктів згоряння дає змогу отримати ряд важливих відомостей про робочий процес, зокрема:

- встановити кінцеві результати процесу згоряння та визначити величини хімічної та фізичної неповноти згоряння, втрати тепла з відпрацьованими газами та ін.;
- дослідити закономірності процесів сумішоутворення, газообміну та продувки;
- з'ясувати вплив різних факторів на протікання процесу згоряння палива з метою ефективного управління окремими стадіями цього процесу.

Методи газового аналізу також можуть бути корисними й при вирішенні інших питань, наприклад, при досліді окремих видів зносу деяких деталей двигуна, дієвості присадок до палива і мастила та ін.

Для вимірювання вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах існують спеціальні прилади – газоаналізатори. Залежно від конструкції, газоаналізатори можуть вимірювати один або декілька компонентів відпрацьованих газів (однокомпонентні і багатокомпонентні).

Характеристики різних типів газоаналізаторів наведено в таблиці 3.

При проведенні випробувань, щодо вмісту шкідливих речовин у ВГ, необхідно обирати газоаналізатор, який відповідає певним критеріям. До головних критеріїв слід віднести вартість приладу, час виконання виміру та вагу. Значення критеріїв кожної моделі газоаналізатору наведено у таблиці 4.

Важливим показником екологічності роботи двигуна внутрішнього згоряння також є рівень димності. Цей показник напряму залежить від кількості у ВГ твердих частинок – сажі. Саме сажа дає найбільшу частину шкідливих викидів у ВГ дизельних двигунів. При спалюванні одного кг дизельного палива виділяється 8-10 г сажі.

Визначення димності ВГ зазвичай доповнює результати газового аналізу, але має й самостійні значення, полегшуючи оцінку технічного стану робочого процесу двигуна.

Для визначення рівня димності ВГ ДВЗ використовується спеціальний прилад – димомір. Принцип роботи димоміра при контролі димності відпрацьованих газів полягає в тому, що вимірюється зниження інтенсивності спрямованого світлового потоку внаслідок поглинання і розсіювання світлового потоку частками диму у відпрацьованих газах.

Таблиця 3

## Технічні характеристики газоаналізаторів

Модель приладу	Вимірювані компоненти	Час на прогрів та аналіз, хв.	Напруга живлення, В	Споживана потужність не більше, Вт	Розміри, мм	Вага, кг	Вартість, долар США
АНКАТ-7664М	$O_2$ , $CO$ , $CO_2$ , $SO_2$ , $CH_4$ , $NO_x$ та інші	15+0,5	220	20	110x210x80	1,2	525
ГИАМ-29М-3	$O_2$ , $CO$ , $CO_2$ , $CH_4$ , $NO_x$	10+0,5	220	40	350x250x150	6	2530
Инфракар М-2	$O_2$ , $CO$ , $CO_2$ , $CH_4$	30+1	220	30	355x330x190	10	940
Инфралайт 11П	$O_2$ , $CO$ , $CO_2$ , $SO_2$ , $CH_4$ , $NO_x$	15+0,2	220	25	260x190x350	6	2350
МАГ-6 С	$O_2$ , $CO$ , $CO_2$ , $CH_4$	5+1	220	15	178x180x75	0,4	1400
ФСТ-03В	$O_2$ , $CO$ , $CO_2$ , $CH_4$ та інші	20+0,5	207-253	25	220x160x110	4,3	700
Altair 4X	$O_2$ , $CO$ , $CO_2$ , $SO_2$ , $NO_x$ та інші	5+0,5	220	5	112x76x35	0,25	1000
Premier 701A	$O_2$ , $CO$ , $CO_2$ , та інші	5+0,5	12/220	10	240x180x90	3	1800
Testo 330i	$O_2$ , $CO$ , $NO_x$	5+0,5	220	10	270x160x57	0,72	2700

Таблиця 4

## Значення головних критеріїв

Модель газоаналізатору	Вартість, дол. США	Час роботи, хв.	Вага приладу, кг
АНКАТ-7664М	525	15,5	1,2
ГИАМ-29М-3	2530	10,5	6
Инфракар М-2	940	31	10
Инфралайт 11П	2350	15,2	6
МАГ-6 С	1400	6	0,4
ФСТ-03В	700	20,5	4,3
Altair 4X	1000	5,5	0,25
Premier 701A	1800	5,5	3
Testo 330i	2700	5,5	0,72

Характеристики різних типів димомірів наведено в таблиці 5.

Проведення випробувань двигунів внутрішнього згоряння, з вимірів рівня димності ВГ, також потребує економічно-доцільного вибору димоміру. Головними критеріями вибору є вартість приладу, час проведення виміру та вага приладу.

Значення головних критеріїв димомірів наведено у таблиці 6.

Вимірювання шкідливих речовин і димності у ВГ нових (після побудови) тепловозів проводяться при приймальних, типових (при зміні конструкції, матеріалів і технологічного процесу, що впливають на викиди ВГ і димність), кваліфікаційних, сертифікаційних і періодичних випробуваннях.

Вимірювання шкідливих речовин і димності у ВГ експлуатованих тепловозів слід проводити після поточних ремонтів і після кожного ремонту (в тому числі аварійного) агрегатів, вузлів і систем тепловозів, що впливають на зміст і димність ВГ.

Перед початком вимірювань вмісту шкідливих речовин і димності у ВГ проводять обов'язковий контроль відповідності частоти обертання колінчастого вала дизеля і потужності (для тепловозів з електропередачею) тепловоза вимогам ТУ на тепловози конкретних типів на режимі повного навантаження і на одному з режимів часткового навантаження.

На пункті екологічного контролю газоаналізатори забезпечуються газовідбірним зондом і магістраллю, яка подає відпрацьовані гази до газоаналізатора. Перед початком вимірювань газоаналізатори прогриваються і перевіряються по зразковим газовим сумішам відповідно до інструкцій підприємств-виробників газоаналізаторів. Димомір прогривається і тарируется відповідно до інструкції з експлуатації підприємства-виробника.

До газоаналізаторів, газовідборних зондів і подаючих трубопроводів ставляться такі вимоги:

- газоаналізатори повинні мати показуючі або записуючі пристрої. Шкали газоаналізаторів повинні бути проградуировані в масових або об'ємних одиницях;

- вимірюваним компонентом газоаналізатора оксиду азоту повинна бути сума всіх оксидів азоту, крім закису азоту  $N_2O$ , сума всіх оксидів азоту виражається через еквівалентну об'ємну частку оксидів виду  $NO_x$ ;

Таблиця 5

## Технічні характеристики димомірів

Модель приладу	Діапазон виміру димності, %	Напруга живлення, В	Час, необхідний для прогріву та аналізу, хв.	Похибка вимірювань, %	Автономність	Споживана потужність не більше, Вт	Габаритні розміри, мм	Вага, кг	Вартість, долар США
МЕТА-01МП 0.2Т	0-100	12,6	10+5	0,5	Так	5	220x75x40	1,3	700
Инфракар Д 1-3.01	0-100	12/220	10+1	2,5	Так	40	355x220x220	6	740
СМОГ-1М	0-100	12/220	10+5	2	Так	20	365x195x70	3,8	645
ОМД-21	0-100	12/220	10+1	2	Так	25	235x380x90	4,5	800
АВГ-1Д-4.01	0-100	12/220	10+5	2	Так	40	355x220x220	6	600
МАНА MDO 2 LON	0-100	12/220	3+5	1	Так	35	550x245x240	13	500
RTM 430	0-100	12/220	4+5	2	Так	30	520x100x90	6	750

Таблиця 6

## Значення головних критеріїв димомірів

№	Модель димоміру	Вартість, дол. США	Час роботи, хв.	Вага приладу, кг
1	АВГ-1Д-4.01	600	10,5	6
2	Инфраклар Д 1-3.01	740	11	6
3	МЕТА-01МП 0.2Т	700	10,5	1,3
4	ОМД-21	800	11	4,5
5	СМОГ-1М	645	10,5	3,8
6	МАНА MDO 2 LON	500	3,5	13
7	RTM 430	750	4,5	6

- аналізуюча газова суміш повинна повністю відповідати за складом вимогам експлуатації газоаналізаторів, які вказані в паспортах на них;

- газоаналізатори і допоміжне обладнання повинні бути забезпечені комплектом технічної документації заводу-виготвлювача, який містить: паспорт; інструкцію з експлуатації; чинне свідоцтво про метрологічну атестацію; методику перевірки, розроблену заводом-виробником; діючий паспорт повірочних газових сумішей;

- для обов'язкової періодичної повірки та налагодження газоаналізаторів, вони повинні бути забезпечені перевірочними газовими сумішами;

- газоаналізатори повинні утримувати перевищення концентрації вимірюваних компонентів не менше 30 хвилин - 30%, і забезпечувати герметичність газового тракту при надмірному тиску не більше 800 мм. вод. ст. ;

- газовідбірний зонд необхідно розміщувати у вихлопній трубі тепловоза на глибині не менше 300 мм від її верхнього зрізу;

- прохідні перетини газовідбірного зонда і газопідвідні магістралі повинні забезпечувати умови роботи газоаналізаторів, які вказані в паспорті на них на будь-якому режимі випробування тепловозів;

- газовідбірний зонд і газопідвідна магістраль виготовляються з матеріалу, який не змінює хімічний склад аналізованих газів;

- система відбору і підготовки проб газоаналізаторів повинна забезпечувати нормальну безперебійну роботу під час випробувань тепловозних дизелів і повинна забезпечувати подачу проб відпрацьованих газів на відстань до 16 м.

Вимірювання показань газоаналізаторів і димоміра проводяться на кожному режимі не менше трьох разів з інтервалами в 1 хв. причому перше вимірювання проводиться не раніше ніж через 2 хв. після встановлення температурного стану дизеля на режимі випробувань.

Результати трьох вимірювань не повинні відрізнятися один від одного більш ніж на 10%. За

результат вимірювань приймають середньоарифметичне значення трьох вимірів.

Результати вимірювань шкідливих речовин і димності у ВГ заносять в протоколи випробувань, які слід додавати до інструкцій заводу-виробника тепловозів і експлуатуючих організацій.

Крім результатів вимірювань вмісту шкідливих речовин і димності ВГ тепловозів на кожному режимі, в протоколи випробувань можуть бути занесені:

- тип і номер тепловоза;
- модель і номер дизеля або дизель-генератора;
- дата випробувань;
- вид випробувань;
- тип і марка газоаналізаторів і димоміра;
- зміст визначених компонентів в зразкових газових сумішах;
- відмітка про перевірку газоаналізаторів по зразковим газовим сумішам;
- відмітка про тарировку димоміра;
- частота обертання колінчастого валу.

Для вибору оптимального варіанту проведення випробувань ДВЗ щодо вимірів потужності, витрат палива, концентрації шкідливих речовин та димності у ВГ слід орієнтуватися на головні критерії вибору випробувальних стендів, газоаналізаторів та димомірів, до яких відносяться: вартість, час проведення вимірів та вага.

Кожний випробувальний стенд, газоаналізатор та димомір мають свій шифр:  $C_n$ ,  $G_n$  та  $D_n$  відповідно.

На основі інформації таблиць 2, 4, 6, для кожної моделі пристрою слід визначити чотири коефіцієнти: коефіцієнт ціни –  $K_u$ , коефіцієнт часу –  $K_v$ , коефіцієнт ваги –  $K_g$  та загальний коефіцієнт –  $K_z$ .

Наприклад, значення коефіцієнту ціни ( $K_u$ ) для випробувальних стендів ( $C_1-C_6$ ) буде складати:

$$K_u C_n = \frac{Ц(C_n)}{\sum_{n=1}^6 Ц(C_n)} \cdot 0,01 \quad (1)$$

де  $Ц(C_n)$  – вартість конкретної моделі стенду;

$\sum_{n=1}^6 Ц(C_n)$  – сумарна вартість всіх порівнювальних

моделей стендів.

Наприклад, за формулою 1, коефіцієнт ціни  $K_u$  для випробувального стенду  $C_1$  (КС276-03) буде дорівнювати:

$$K_u C_1 = \frac{95000}{1250000 \cdot 0,01} = 7,6.$$

За таким принципом виконуються розрахунки коефіцієнтів для критеріїв всіх порівнювальних моделей стендів та приладів. Результати розрахунку коефіцієнтів для випробувальних стендів, газоаналізаторів та димомірів наведено у таблиці 7.

Таблиця 7

Результати розрахунку коефіцієнтів					
Випробувальні стенди					
Шифр	Модель стенду	$K_u$	$K_v$	$K_g$	$K_z$
$C_1$	КС276-03	7,6	8,33	3,55	19,48
$C_2$	КОПИС КСС-1000	14,4	20,83	17,91	53,14
$C_3$	КОПИС КСС-5000	21,6	20,83	17,91	60,34
$C_4$	ОТС-1	8,8	16,67	20,21	45,68
$C_5$	ОТС-4	21,2	16,67	20,21	58,08
$C_6$	ОТС-5	26,4	16,67	20,21	63,28
Газоаналізатори					
Шифр	Модель газоаналізатору	$K_u$	$K_v$	$K_g$	$K_z$
$\Gamma_1$	АНКАТ-7664М	3,77	13,46	3,77	21
$\Gamma_2$	ГИАМ-29М-3	18,14	9,12	18,83	46,09
$\Gamma_3$	Инфракар М-2	6,74	26,91	31,37	65,02
$\Gamma_4$	Инфралайт 11П	16,85	13,19	18,83	48,87
$\Gamma_5$	МАГ-6 С	10,04	5,21	1,26	16,51
$\Gamma_6$	ФСТ-03В	5,02	17,8	13,49	36,31
$\Gamma_7$	Altair 4X	7,17	4,77	0,78	12,72
$\Gamma_8$	Premier 701A	12,91	4,77	9,41	27,09
$\Gamma_9$	Testo 330i	19,36	4,77	2,26	26,39
Димоміри					
Шифр	Модель димоміру	$K_u$	$K_v$	$K_g$	$K_z$
$D_1$	АВГ-1Д-4.01	12,67	17,07	14,78	44,52
$D_2$	Инфракар Д 1-3.01	15,63	17,89	14,78	48,3
$D_3$	МЕТА-01МП 0.2Т	14,78	17,07	3,2	35,05
$D_4$	ОМД-21	16,9	17,89	11,08	45,87
$D_5$	СМОГ-1М	13,62	17,07	9,36	40,05
$D_6$	МАНА MDO 2 LON	10,56	5,69	32,02	48,27
$D_7$	RTM 430	15,84	7,32	14,78	37,94

Оптимальним поєднанням пристроїв за певним критерієм стане умова, коли результуючий коефіцієнт буде приймати мінімальне значення, тобто

$$K_p = \lambda_c \cdot K_n(C_n) + \lambda_z \cdot K_n(\Gamma_n) + \lambda_d \cdot K_n(D_n) \Rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $\lambda_c, \lambda_z, \lambda_d$  - вагові коефіцієнти показників.

Таким чином, найбільш економним варіантом проведення еколого-енергетичних випробувань стане таке поєднання стендів та приладів: [ $C_1; \Gamma_1; D_6$ ] – випробувальний стенд КС276-03, газоаналізатор – АНКАТ-7664М та димомір МАНА MDO 2 LON.

Найбільш швидке проведення випробувань дозволить зробити поєднання [ $C_1; \Gamma_7(\Gamma_8, \Gamma_9); D_6$ ] – випробувальний стенд КС276-03, газоаналізатор – Altair 4X (Premier 701A, Testo 330i) та димомір МАНА MDO 2 LON.

За ваговим критерієм найбільш зручним варіантом стане поєднання [ $C_1; \Gamma_7; D_3$ ] – випробувальний стенд КС276-03, газоаналізатор – Altair 4X та димомір МЕТА-01МП 0.2Т.

Загальний коефіцієнт вказує на те, що оптимальним варіантом проведення еколого-енергетичних випробувань стане використання випробувального стенду КС276-03, газоаналізатору Altair 4X та димоміру МЕТА-01МП 0.2Т.

**Висновки.** Проведений аналіз випробувальних стендів та приладів показав на те, що сьогодні існує достатньо варіантів проведення випробувань двигунів внутрішнього згоряння. Для проведення випробувань з виміру шкідливих речовин у ВГ та димності, достатньо використовувати портативний газоаналізатор або димомір. Для проведення випробувань по виміру потужності та витрат палива, необхідно використовувати спеціальні випробувальні стенди.

Виконані розрахунки раціональних коефіцієнтів ціни, часу та ваги для кожної моделі випробувального стенду, газоаналізатору та димоміру

Зроблена модель вибору стенду для проведення еколого-енергетичних випробувань рухомого складу з дизельною тягою.

В подальшому необхідно проводити періодичні моніторинги ринку випробувальних стендів та приладів, на предмет появи нових або модернізації існуючих.

#### Література

1. Парсаданов І.В. Підвищення екологічності дизелів шляхом внутрішньоциліндрової нейтралізації токсичних речовин відпрацьованих газів / І.В. Парсаданов, М.Д. Сахненко, В.О. Хижняк, Г.В.

- Каракуркчі / Двигатели внутреннего сгорания: сб. ст. НТУ «ХПИ». – 2016. – Вып. 2. – С. 63–67.
2. Ведь М.В. Организация рабочего процесса в камере сгорания ДВС в присутствии каталитических материалов / М.В. Ведь, Н.Д. Сахненко, Е.В. Богоявленская / Двигатели внутреннего сгорания: сб. ст. НТУ «ХПИ». – 2013. – Вып. 2. – С. 109–111.
  3. Клименко О.М. Експериментальне дослідження можливості покращення еколого-економічних показників та надійності транспортного дизеля / О.М. Клименко, В.О. Пильов, С.В. Обозний, О.М. Ломакін / Двигатели внутреннего сгорания: сб. ст. НТУ «ХПИ». – 2015. – Вып. 2. – С. 35–41.
  4. Сирота А.А. Повышение экономичности судовых ДВС путем использования водорода в качестве добавок к топливу / А.А. Сирота / Двигатели внутреннего сгорания: сб. ст. НТУ «ХПИ». – 2006. – Вып. 1. – С. 63–67.
  5. Тропина А.А. Снижение токсичности двигателей путем совершенствования процесса воспламенения / А.А. Тропина, А.П. Кузьменко, В.И. Стаценко, Г.В. Майстранко / Автомобильный транспорт. – 2009. – Вып. 24. – С. 50–56.
  6. Приміський І.В. Нормування викидів відпрацьованих газів автомобілів та перехід до стандартів Євро / І.В. Приміський / Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Вып. 4. – С. 43–49.
  7. Фалендиш А.П. Аналіз підходів до розрахунку викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами дизелів тепловозів / А.П. Фалендиш, В.О. Гатченко, О.В. Клецька / Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2017. – Вып. 3. – С. 228–233.
  8. Фалендиш А.П. Аналіз нормативних вимог, щодо визначення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних двигунів внутрішнього згоряння / А.П. Фалендиш, В.О. Гатченко, Ю.В. Черняк, О.В. Клецька / Зб. наук. праць ДЕТУТ. – 2016. – Вып. 29. – С. 235–247.
  9. Falendysh A. Software analysis for modeling the parameters of shunting locomotives chassis / Falendysh A., Volodarets M., Hatchenko V., Vykhopen I. / MATEC Web of Conferences. – 2017 – 116.
  10. ДСТУ 32.001-94. Викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів. Норми та методи визначення. Чинний від 01.01.1995 р.
  11. ДСТУ 2501-94 Аналізатори газів для контролю викидів транспортних засобів. Загальні технічні вимоги і методи випробувань. – надано чинності 1994-05-25. – К.: Держспоживстандарт України, 1994.
  12. ДСТУ ГОСТ 30574-98. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Измерение выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Циклы испытаний. – Введ. 2000-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 27 с.
  13. ДСТУ ГОСТ Р 50953-2008. Выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов магистральных и маневровых тепловозов. Нормы и методы определения. – Введ. 2009-01-01. – М.: Стандартиформ, 2008. – 12 с.
  14. ДСТУ ГОСТ 31967 – 2012. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартиформ, 2014. – 28 с.
- ### References
1. Parsadanov I.V. Improving the environmental performance of engines by intra-cylinder neutralization of toxic exhaust gases/ I.V. Parsadanov, M.D. Sakhnenko, V.O. Khyzhniak, G.V. Karakyrchi // Dvyguny vnutrishn`ogo zgorjannja. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2016. – Digest №2. – P. 63-67.
  2. Ved M.V. Organization of the working process in the combustion chamber of ice with a catalytic materials/ M.V. Ved, N.D. Sahnenko, E.V. Bogojavlenskaja // Dvyguny vnutrishn`ogo zgorjannja. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2013. – Digest №2. – P. 109-111.
  3. Klymenko O.M. Experimental study of the possibility of improvement ecological and economic indicators and reliability of transport diesel engines/ O.M. Klymenko, V.O. Pyl`ov, S.V. Oboznyj, O.M. Lomakin // Dvyguny vnutrishn`ogo zgorjannja. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2015. – Digest №2. – P. 35-41.
  4. Syrota A.A. Increasing the efficiency of marine ICE by using hydrogen as fuel additives/ A.A. Syrota // Dvyguny vnutrishn`ogo zgorjannja. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2006. – Digest №1. – P. 63-67.
  5. Tropina A.A. Reduction of engine toxicity by improving the ignition process/ A.A. Tropina, A.P. Kuzmenko, V.I. Statsenko, G.V. Majstranko / Avtomobil`nyy transport/ - 2009. – Digest №24. – P. 50-56.
  6. Prymyskij I.V. Ratio of exhaust emissions of cars and transition to Euro standards/ I.V. Prymyskij // Eastern European Journal of Advanced Technology. – 2014. – Digest №4. – P. 43-49.
  7. Falendysh A.P. The analysis of approaches to the calculation of emissions from the exhaust gases of diesel locomotives/ A.P. Falendysh, V.O. Hatchenko, O.V. Kletska // Visnyk Shkhidnoukrayins`oho natsional`noho universytetu imeni Volodymyra Dalya. – Severodonetsk: SNU imeni V. Dalya, 2017. – Digest №3. – P. 228-233.
  8. Falendysh A.P. The analysis of regulatory requirements for determining the emission of pollutants from exhaust gases from engines internal combustion diesel locomotives/ A.P. Falendysh, V.O. Hatchenko, Y.V. Cherniak, O.V. Kletska // Collection of scientific articles. – Kyiv: DETUT, 2016. - Digest №29. – P. 235-247.
  9. Falendysh A. Software analysis for modeling the parameters of shunting locomotives chassis / Falendysh A., Volodarets M., Hatchenko V., Vykhopen I. // MATEC Web of Conferences. – 2017 – P. 116.
  10. DSTU 32.001-94. Emissions of pollutants from exhaust gases diesel locomotive engines. Norms and determination methods. Kyiv, Derzhpozhyvstandard Ukrainy Publ., 1995. 22p.
  11. DSTU 2501-94. Gas analyzers for monitoring of vehicle emissions. General technical requirements and test methods. Kyiv, Derzhpozhyvstandard Ukrainy Publ., 1994. 18p.
  12. DSTU GOST 30574-98. Diesel ships, diesel and industrial. Measurement of emissions of harmful substances with exhaust gases. Cycles of tests. Moscow, Izdatel`stvo standartov, 2000. 27p.
  13. DSTU GOST 50953-2008. Emissions of harmful substances and smoke of exhaust gases of main and maneuvering locomotives. The norms and methods for determining. Moscow, Standartinform, 2008. 12p.
  14. DSTU GOST 31967-2008. Engines of internal combustion. Emissions of harmful substances with exhaust gases. Norms and methods of determination. Moscow, Standartinform, 2014. 28p.

**Фалендыш А.П., Гатченко В.О., Клецкая О.В., Сулежко Д.Э. Модель выбора стенда для проведения эколого-энергетических испытаний дизельного подвижного состава.**

*В статье рассмотрены основные проблемы деятельности железнодорожного транспорта с дизельной тягой. Проанализированы испытательные лаборатории и исследования относительно эколого-энергетических показателей работы двигателей внутреннего сгорания. Проведен анализ рынка испытательных стендов, газоанализаторов и дымомеров. Определены главные критерии выбора стенда и прибора. Разработана модель выбора испытательного стенда, газоанализатора и дымомера по определенному критерию для проведения эколого-энергетических испытаний.*

**Ключевые слова:** эколого-энергетическое испытание, испытательный стенд, газоанализатор, дымомер.

**Falendysh A., Hatchenko V., Kletska O., Sulezhko D. Model of stand selection for ecological-energy tests of diesel rolling stock.**

*The main problems of railway transport with diesel traction are considered. Recent studies on the environmental and energy performance of diesel engines are analyzed. Some of the main testing laboratories of Ukraine are determined. The analysis of the market of test benches, gas analyzers and smokemeters is carried out. The tables with the most important technical parameters of the stands and instruments are made. The main criteria for choosing the stand and the*

*device are determined. The coefficients for each criterion of each model of the device are calculated. A model for selecting a test bench, gas analyzer and smokemeters for environmental and energy testing has been developed. A combination of models of stands, gas analyzers and smokemeters for carrying out the most economical, fastest or most convenient test is determined. The total coefficient, which determines the optimal version of the internal combustion engine test is calculated. Recommendations for further improvement of the stand selection model for carrying out environmental and energy tests of rolling stock with diesel traction are given.*

**Keywords:** environmental and energy test, test bench, gas analyzer, smokemeter.

**Фалендиш А.П.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Теплотехніка та теплові двигуни», Українського державного університету залізничного транспорту.

**Гатченко В.О.** – к.т.н., доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного університету інфраструктури та технологій, [vogatchenko@gmail.com](mailto:vogatchenko@gmail.com)

**Клецкая О.В.** – асистент кафедри «Теплотехніка та теплові двигуни», Українського державного університету залізничного транспорту.

**Сулежко Д.Е.** – аспірант кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» Українського державного університету залізничного транспорту.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 15.03.2018.

УДК 629.423

## ФОРМАЛІЗОВАНІ ОПИСАННЯ КОНСТРУКЦІЙ КРИШОК ЛЮКІВ НАПІВВАГОНІВ (ЧАСТИНА 1)

Фомін О.В., Горбунов М.І, Коваленко В.В, Міщук І.Р.

### FORMALIZED DESCRIPTION OF THE BASIC EXECUTION OF CONSTRUCTIONS OF THE BASKET CHRISTMAS STRUCTURES

Fomin O.V., Horbunov M.I., Kovalenko V.V., Mishchuk I.R.

*На сьогоднішній день переважну більшість рухомого складу залізниць сформовано універсальними напіввагонами, що пояснюється відповідним рівнем затребуваності. При цьому понад 90% таких вагонів характеризується фізичною та моральною застарілістю. Сказане обґрунтовує необхідність поповнення їх парку зразками з поліпшеними технічно-економічними показниками. Розробка таких зразків пов'язана зі створенням їх відповідних складових. Одним з найбільш затребуваних при виготовленні та ремонтах напіввагонів вузлом є кришка люка, сказане аргументує важливість та актуальність розгортання науково-дослідних та дослідно-конструктивних робіт з поліпшення конструкції саме кришки люка.*

*Для формування вичерпної інформації про конструктивні та експлуатаційні особливості роботи кришки люка доцільно використовувати її формалізовані описання які до цього не були створені. В роботі представлено особливості та результати у вигляді «І»- дерев конструктивних досліджень базових (гофроване полотно, ненапружений попередньо каркас, мономатеріальне виконання) виконань кришок люків напіввагонів. В якості базових конструкцій кришок люків обрані їх проекти 9904.45.60 та 9904.45.130 вітчизняного виробництва.*

**Ключові слова:** транспортна механіка, вантажні вагони, напіввагони, кришка люка; формалізовані описання; конструктивні «І»- дерева.

**Вступ.** Залізничний транспорт – одна з найбільш важливих галузей народного господарства України. Він забезпечує виробничі і невиробничі потреби матеріального виробництва, невиробничої сфери, а також населення в усіх видах перевезень. За функціональними особливостями залізничний транспорт поділяється на вантажний та пасажирський. Це зв'язано з тим, що транспорт виступає необхідною передумовою функціонування як матеріального виробництва, так і сфери обслуговування, в тому числі пасажирських перевезень.

Вантажний транспорт – галузь виробничої інфраструктури. Не виробляючи безпосередньо

матеріальної продукції, вантажний транспорт є четвертою галуззю матеріального виробництва після видобувної, переробної промисловості і сільського господарства. Жодна з названих трьох основних галузей матеріального виробництва не здатна функціонувати без транспортного забезпечення. Продукт тільки тоді готовий до споживання, коли він доставлений до споживача. З одного боку, залізничний транспорт є неодмінною умовою функціонування самого виробництва, де він здійснює доставку сировини, паливно-енергетичних ресурсів, комплектуючих, устаткування, а з другого – доставляє готову продукцію до споживача.

Як відомо, чітка і ритмічна робота ключових галузей економіки країни багато в чому залежить від своєчасної доставки на підприємства вугілля і руди. Щодобова продуктивність напіввагонів більш ніж в два рази перевищує продуктивність інших типів вагонів. Напіввагони забезпечують близько 70% обсягу перевезень, що здійснюються залізничним транспортом.

За останні роки парк вантажних вагонів «ПАТ Укрзалізниця», а також промислових підприємств обновлялися незначно із-за відсутності фінансових ресурсів. Тому, в теперішній час значна частина вагонів в залежності від типу і призначення в середньому на 80% вичерпали призначений термін служби, встановлений нормативно-технічним документом. Найбільш інтенсивно експлуатуються залізничні напіввагони, у яких призначений строк служби складає 22 роки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Поряд з інтенсивністю експлуатації напіввагонів можна відзначити важкість їх використання [1]. Сказане пояснюється не захищеністю конструктивних елементів [1,2] від атмосферного впливу, важкістю завантажувально-розвантажувальних робіт (падіння важковагових шматків вантажу застосовування вібро-розвантажувальних пристроїв, корозійний вплив та

образивне зношення). Зазначене особливо гостро відноситься до кришок люків напіввагонів. Які зазначають суттєвих навантажень [3-5] при завантаженнях, перевезеннях і розвантаженнях вантажів. Тому цей вузол можна охарактеризувати як зазнаючий суттєвого експлуатаційного впливу та безпосередньо пов'язаний з безпекою руху.

Все вище описане дозволяє зробити висновки про те, що дослідження шляхів удосконалення кришок люків напіввагонів є актуальним.

**Мета статті.** є представлення особливостей та результатів конструктивних досліджень базових (гофроване полотно, ненапружений попередньо каркас, моно матеріальне виконання) виконань кришок люків напіввагонів. При цьому були обрані для першої частини досліджень конструкції кришок люків зі заклеповим та зварювальним з'єднанням петель. Для зазначених конструкцій розроблені відповідні блочно-ієрархічні описання у вигляді «І» - дерев.

Об'єкт дослідження – процеси структурного та параметричного аналізу кришок люків залізничних напіввагонів.

Предмет дослідження – базові (класичні) конструкції кришок люків напіввагонів, проекти 9904.45.60 та 9904.45.130.

**Викладенні основного матеріалу статті.** Для досягнення поставленої у дослідженні мети було визначено та вирішено наступні задачі:

1. Проаналізовані креслення обраних для дослідження (9904.45.60 та 9904.45.130) конструктивних виконань кришок люків.

2. Розроблені у вигляді «І» - дерев блочно-ієрархічні описання конструкцій.

3. Створено текстовий опис розроблених формалізованих описань кришок люків.

4. Перевірена адекватність створених описань та наведено перспективні шляхи їх застосування.

На сьогоднішній день для інформаційно-вичерпного аналізу (в тому числі морфологічного) [6,7] різних конструкцій машинобудування доцільно використовувати їх формалізовані описання. При цьому для окремих об'єктів одиничного конструктивного виконання найбільш ефективним формалізованим описання є представлення у вигляді блочно-ієрархічної схеми (структурне «І» - дерево). Зазначене описання ґрунтується на використанні принципів блочності та ієрархічності.

Принцип блочності – забезпечує розділення відповідних описань кришок люків вантажних вагонів на кожному ієрархічному рівні на ряд блоків (конструктивних складових) з можливостями їхнього роздільного проектування та дослідження.

Принцип ієрархічності – передбачає структурування описання конструкції кришок люків вантажних вагонів за ступенем детальності з виділенням окремих ієрархічних рівнів.

В якості основних конструкцій, які в повній мірі відображають конструктивні особливості (гофроване полотно, ненапружений попередньо каркас, моно матеріальне виконання) базових виконань [8,9] кришок люків обрані їх проекти: 9904.45.60 та 9904.45.130

Кришка люка проекту 9904.45.60 виробника ПрАТ «ДМЗ», розрахована для габариту 1-ВМ і має масу 180 кг.

Кришка люка (рисунок 1 та 2) є 1/14 частиною металевої підлоги кузова універсального напіввагона. Підлога виконана з 14 кришок люків (по сім з кожної сторони хребтової балки).

Дана кришка люка складається з суцільнометалевого каркасу, обшиви (листа кришки люка) 1 (рисунок 2), петель 6 (рисунок 1) для закріплення кришки люка на хребтовій балці напіввагона, запірних кронштейнів 7 (рисунок 2) для фіксації кришки люка в закритому положенні, скоб для фіксації закидок, і елементів закріплення одного або двох торсіонів.

Каркас кришки люка містить систему поздовжніх і поперечних обв'язок. Поздовжня передня обв'язка 3 виконана з гнучого швелера 120×75×4 з звареними в неї діафрагмами, поздовжня середня обв'язка 4 виконана з симетричного омегаподібного профілю, поздовжня задня обв'язка 5 являє собою гофрований лист з періодичним профілем. Поперечні обв'язки 2 являють собою омегаподібний профіль, посилені кутиком.

З'єднання поперечних обв'язок з передньою обв'язкою посилені косинками 8, виконаними з листового прокату.

Запірні кронштейни 7 являють собою кутики і встановлені під кутом до осі симетрії кришки на нижній поверхні передньої 3 і поперечних обв'язок 2 з опорою на вузол з'єднання, у тому числі і на посилюючу косинку 8 і мають менший виліт за передній край кришки за рахунок зрізаного кінця "Б" кронштейна утворюючого поверхню паралельну передньому краю кришки.

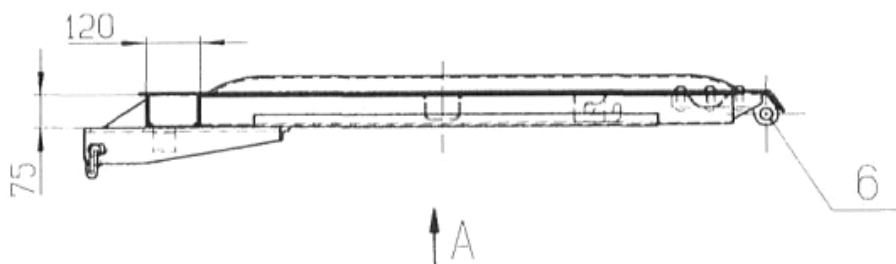


Рис. 1. Загальний вид (вид збоку) кришки люка універсального напіввагона в робочому положенні

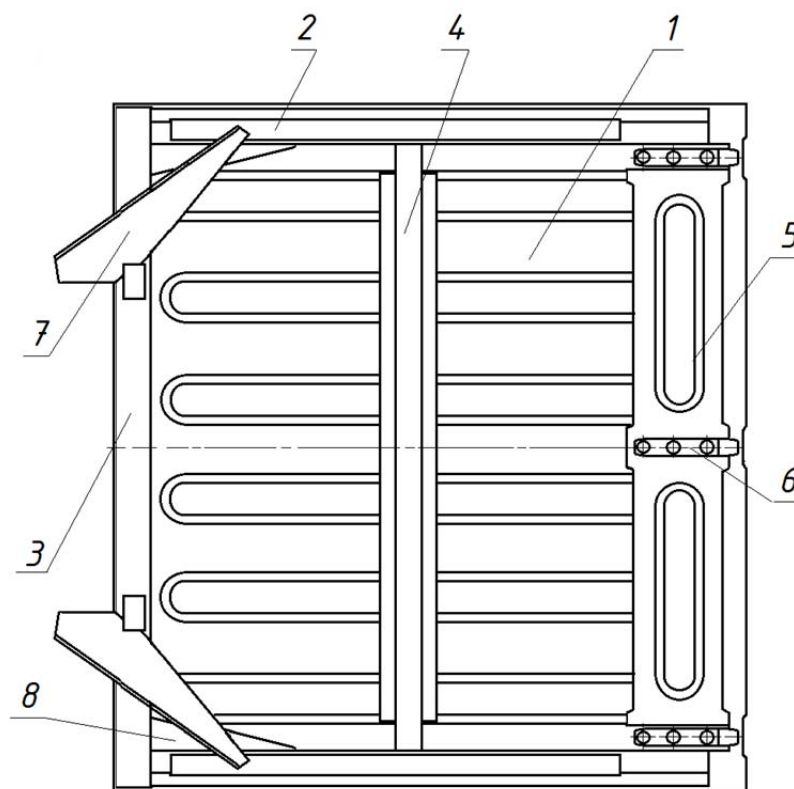


Рис. 2. Вид А на рисунку 1.1 (вид на кришку люка знизу)

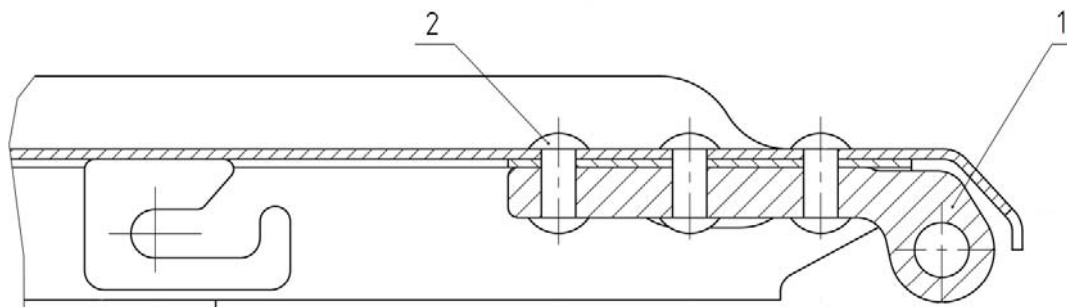


Рис. 3. Вузол кріплення кришки люка напіввагона до хребтової балки

Кришка люка кріпиться до хребтової балки (рисунок 3) за допомогою петлі 1 та заклепок 2.

Конструкційне виконання даного проекту кришки люка напіввагона схематично можна представити у вигляді блочно-ієрархічного описання («І»-дерева), яке наведено на рисунку 4.

З рисунку 4 видно, що на нульовому рівні «І»-дерева виділено елемент універсального напіввагона – кришку люка ( $V_{1131}$ ). Яка на 1 рівні розділена на основні блоки: лист кришки люка ( $V_{11311}$ ), каркас ( $V_{11312}$ ), блок кріплення кришки люка до хребтової балки ( $V_{11313}$ ), блок кріплення кришки люка до нижньої обв'язки напіввагона ( $V_{11314}$ ), блок взаємокріплення та посилення ( $V_{11315}$ ), блок кріплення торсійного пристрою ( $V_{11316}$ ).

На 2 рівні кожен з основних блоків розділений на вузли. Так лист кришки люка ( $V_{11311}$ ) має лише

один вузол – полотно ( $V_{113111}$ ). Каркас ( $V_{11312}$ ) поділяється на: повздовжню передню обв'язку ( $V_{113121}$ ), повздовжню середню обв'язку ( $V_{113122}$ ), повздовжню задню обв'язку ( $V_{113123}$ ) та поперечні бічні обв'язки ( $V_{113124}$ ). Блок кріплення кришки люка до хребтової балки ( $V_{11313}$ ) має такі вузли: петлі ( $V_{113131}$ ) та заклепки ( $V_{113132}$ ). Блок кріплення кришки люка до нижньої обв'язки напіввагона ( $V_{11314}$ ) поділяється на правий кронштейн ( $V_{113141}$ ) та лівий кронштейн ( $V_{113142}$ ). Блок взаємокріплення та посилення ( $V_{11315}$ ) включає в себе посилюючу накладку ( $V_{113151}$ ) та з'єднувально-посилюючу косинку ( $V_{113152}$ ). Блок кріплення торсійного пристрою ( $V_{11316}$ ) складається з задньої планки ( $V_{113161}$ ) та передньої планки ( $V_{113162}$ ).

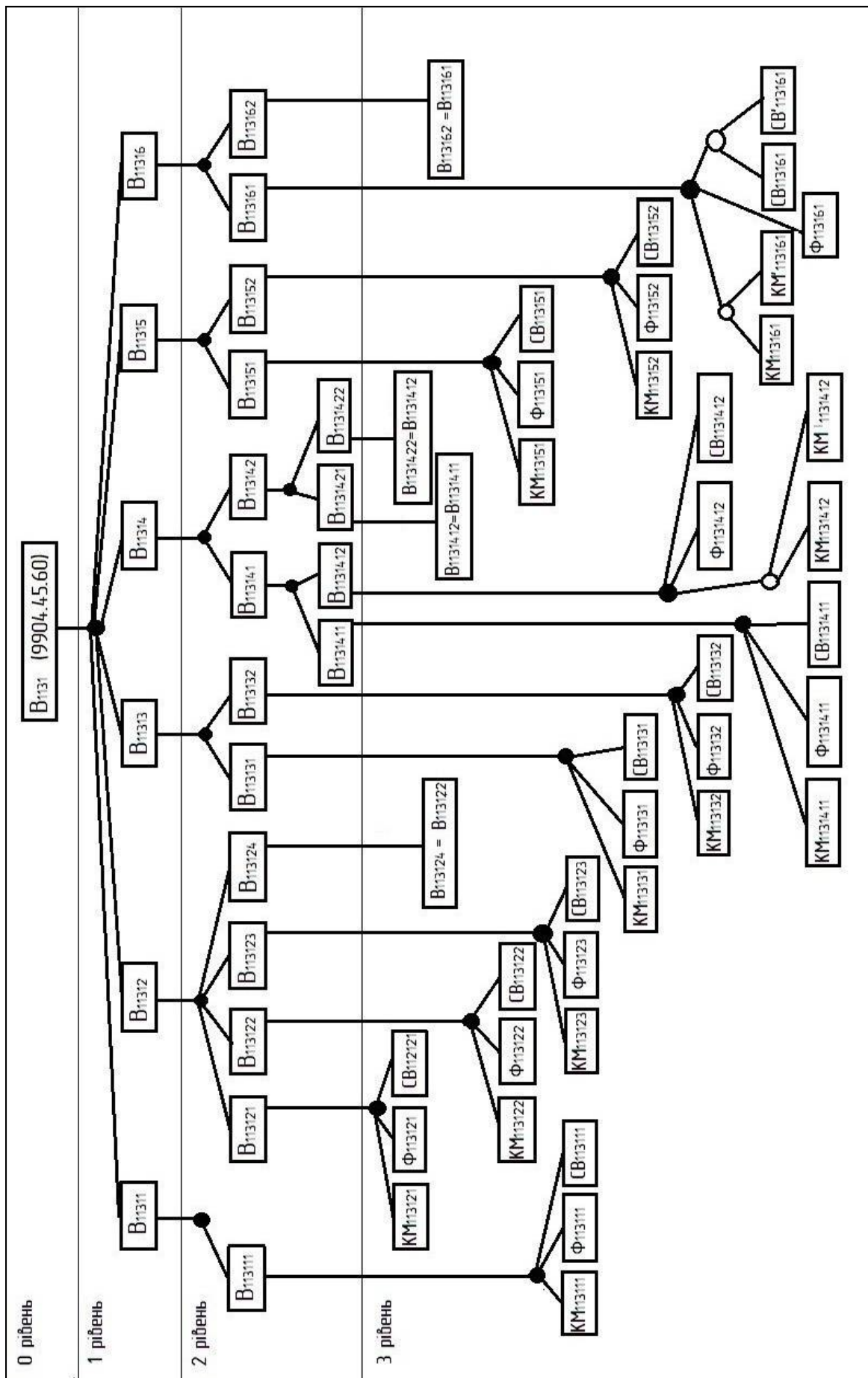


Рис. 4. Блочно-ієрархічне описання (І-дерево) кришки лока проект 9904.45.60

На 3 рівні – «Деталі», правий кронштейн ( $V_{113141}$ ) поділяється на кутик ( $V_{1131411}$ ) та скобу ( $V_{1131412}$ ) правого виконання, а лівий кронштейн ( $V_{113142}$ ) – на кутик ( $V_{1131421}$ ) та скобу ( $V_{1131422}$ ) лівого виконання.

На 4 рівні основні вузли та їх деталі кришки люка даного проекту характеризується такими властивостями: КМ – конструкційний матеріал, Ф – форма та СВ – спосіб виготовлення. Так полотно ( $V_{113111}$ ) виготовлено із низьколегованої сталі ( $KM_{113111}$ ), має гофровану форму ( $\Phi_{113111}$ ), яка утворюється за допомогою штампування ( $CB_{113111}$ ).

Повздовжню передню об'язку ( $V_{113121}$ ) виготовлено із низьколегованої сталі ( $KM_{113121}$ ), має швелероподібну форму ( $\Phi_{113121}$ ), яка утворюється за допомогою гібки ( $CB_{113121}$ ). Повздовжню середню об'язку ( $V_{113122}$ ) виготовлено із низьколегованої сталі ( $KM_{113122}$ ) має омегаподібний профіль ( $\Phi_{113122}$ ), який утворюється за допомогою гібки та вирізання ( $CB_{113122}$ ). Повздовжню задню об'язку ( $V_{113123}$ ) виготовлено із низьколегованої сталі ( $KM_{113123}$ ), має форму гофрованого листа ( $\Phi_{113123}$ ), який утворюється за допомогою штампування

( $CB_{113123}$ ). Поперечні бічні об'язки ( $V_{113124}$ ) характеризується такими ж властивостями, що і повздовжня середня об'язка ( $V_{113122}$ ). Тому на рівні властивостей – ( $V_{113124} = V_{113122}$ ).

Петлі ( $V_{113131}$ ) виготовлено із низьколегованої сталі ( $KM_{113131}$ ) по формі виконанні під заклепки ( $\Phi_{113131}$ ) за допомогою штампування ( $CB_{113131}$ ). Заклепки ( $V_{113132}$ ) виготовлені із Ст20 ( $KM_{113132}$ ), мають грибоподібну форму ( $\Phi_{113132}$ ), яка утворюється за допомогою штамповки ( $CB_{113132}$ ).

Кутник ( $V_{1131411}$ ) правого кронштейна виготовлено із низьколегованої сталі ( $KM_{1131411}$ ), має трикутну форму ( $\Phi_{1131411}$ ), яка утворюється за допомогою різання ( $CB_{1131411}$ ). Скоба ( $V_{1131412}$ ) правого кронштейна може бути виготовлена із углецевої сталі ( $KM_{1131412}$ ) або низьколегованої сталі ( $KM'_{1131412}$ ), має тороїдну форму ( $\Phi_{1131412}$ ), яка утворюється за допомогою гібки з прута ( $CB_{1131412}$ ). Кутник ( $V_{1131421}$ ) та скоба ( $V_{1131422}$ ) лівого кронштейна мають ті ж властивості, що і кутник ( $V_{1131411}$ ) та скоба ( $V_{1131412}$ ) правого кронштейна відповідно. Тому на рівні властивостей – ( $V_{1131421} = V_{1131411}$ ), ( $V_{1131422} = V_{1131412}$ ).

Посилуюча накладка ( $V_{113151}$ ) виготовляється із низьколегованої сталі ( $KM_{113151}$ ), має форму кутника ( $\Phi_{113151}$ ), який утворюється за допомогою гібки ( $CB_{113151}$ ). З'єднувально-посилуюча косинка ( $V_{113152}$ ) виготовлена із низьколегованої сталі ( $KM_{113152}$ ), має форму трикутного листа ( $\Phi_{113152}$ ), який утворюється за допомогою різання ( $CB_{113152}$ ).

Задня планка ( $V_{113161}$ ) може виготовлятися із вуглецевої сталі ( $KM_{113161}$ ) або із низьколегованої сталі ( $KM'_{113161}$ ), має форму листа з вирізом, а за способом виготовлення буває одиничного вирізання ( $CB_{113161}$ ) або штампування ( $CB'_{113161}$ ). Передня планка ( $V_{113162}$ ) має такі ж властивості, що і задня

планка ( $V_{113161}$ ). Тому на рівні властивостей – ( $V_{113162} = V_{113161}$ ).

Кришка люка проекту 9904.45.130 виробника ПрАТ «ДМЗ», розрахована для габариту 1-ВМ, масою 183 кг.

Конструкція даної кришки люка напіввагона (рисунок 5) ідентична кришці люка проекту 9904.45.60 та складається з суцільнометалевого каркасу, обшивки (листа кришки люка) 1, запірних кронштейнів 8 для фіксації кришки люка в закритому положенні, скоб для фіксації закидок, і елементів закріплення одного або двох торсіонів.

Відрізняється кришка люка проекту 9904.45.130 від кришки люка проекту 9904.45.60:

- повздовжня задня об'язка являє собою швелер;

- петлі 1 для кріплення кришки люка (рисунок 6) до хребтової балки приварені.

Конструкційне виконання даного проекту кришки люка напіввагона схематично можна представити у вигляді блочно-ієрархічного описання («I»-дерева), яке наведено на рисунку 7.

З рисунку 7 видно, що на нульовому рівні «I»-дерева виділено елемент універсального напіввагона – кришку люка ( $V_{1131}$ ). Яка на 1 рівні розділена на основні блоки: лист кришки люка ( $V_{11311}$ ), каркас ( $V_{11312}$ ), блок кріплення кришки люка до хребтової балки ( $V_{11313}$ ), блок кріплення кришки люка до нижньої об'язки напіввагона ( $V_{11314}$ ), блок взаємкріплення та посилення ( $V_{11315}$ ), блок кріплення торсіонного пристрою ( $V_{11316}$ ).

На 2 рівні кожен з основних блоків розділені на вузли. Так лист кришки люка ( $V_{11311}$ ) має лише один вузол – полотно ( $V_{113111}$ ). Каркас ( $V_{11312}$ ) поділяється на: повздовжню передню об'язку ( $V_{113121}$ ), повздовжню середню об'язку ( $V_{113122}$ ), повздовжню задню об'язку ( $V_{113123}$ ) та поперечні бічні об'язки ( $V_{113124}$ ). Блок кріплення кришки люка до хребтової балки ( $V_{11313}$ ) має лише один вузол – петлі ( $V_{113131}$ ). Блок кріплення кришки люка до нижньої об'язки напіввагона ( $V_{11314}$ ) поділяється на правий кронштейн ( $V_{113141}$ ) та лівий кронштейн ( $V_{113142}$ ). Блок взаємкріплення та посилення ( $V_{11315}$ ) включає в себе посилюючу накладку ( $V_{113151}$ ) та з'єднувально-посилуючу косинку ( $V_{113152}$ ). Блок кріплення торсіонного пристрою ( $V_{11316}$ ) складається з задньої планки ( $V_{113161}$ ) та передньої планки ( $V_{113162}$ ).

На 3 рівні – «Деталі» правий кронштейн ( $V_{113141}$ ) поділяється на кутик ( $V_{1131411}$ ) та скобу ( $V_{1131412}$ ) правого виконання, а лівий кронштейн ( $V_{113142}$ ) – на кутик ( $V_{1131421}$ ) та скобу ( $V_{1131422}$ ) лівого виконання.

На 4 рівні основні вузли та їх деталі кришки люка даного проекту характеризується такими властивостями: КМ – конструкційний матеріал, Ф – форма та СВ – спосіб виготовлення. Так полотно ( $V_{113111}$ ) виготовлено із низьколегованої сталі ( $KM_{113111}$ ), має гофровану форму ( $\Phi_{113111}$ ) за допомогою штампування ( $CB_{113111}$ ).

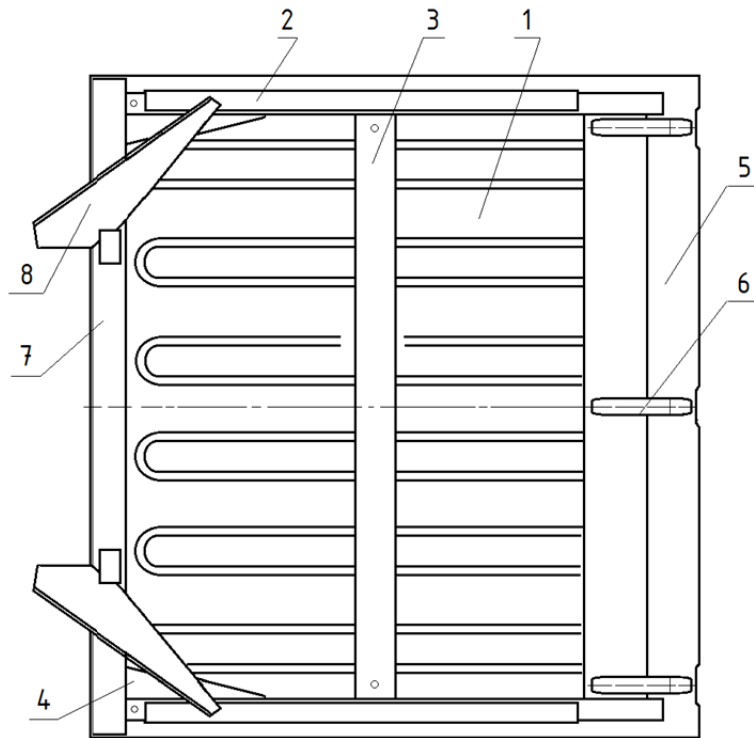


Рис. 5. Кришка люка проект 9904.45.130

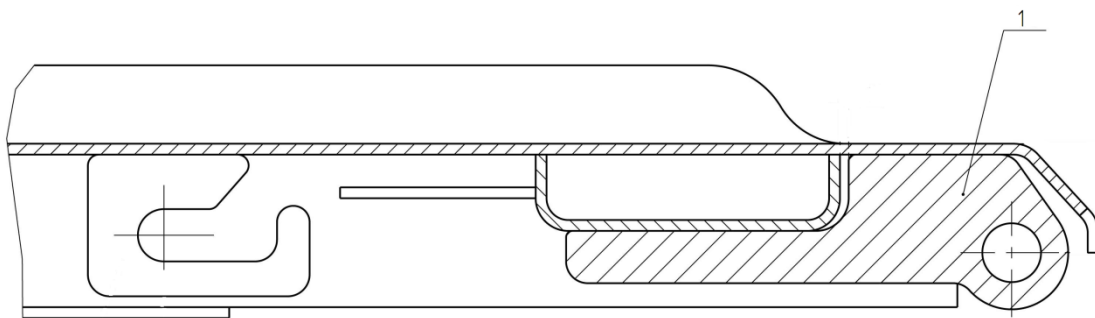


Рис. 6. Вузол кріплення кришки люка напіввагона до хребтової балки

Повздовжню передню об'язку ( $V_{113121}$ ) виготовлено із низьколегованої сталі ( $KM_{113121}$ ), має швелероподібну форму ( $\Phi_{113121}$ ), яка утворюється за допомогою гибки ( $CB_{113121}$ ). Повздовжню середню об'язку ( $V_{113122}$ ) виготовлено із низьколегованої сталі ( $KM_{113122}$ ) має швелероподібну форму ( $\Phi_{113122}$ ), яка утворюється за допомогою гибки ( $CB_{113122}$ ). Повздовжню задню об'язку ( $V_{113123}$ ) характеризується такими ж властивостями що і повздовжня передня об'язка ( $V_{113121}$ ). Тому на рівні властивостей – ( $V_{113123} = V_{113121}$ ). Поперечні бічні об'язки ( $V_{113124}$ ) характеризуються такими ж властивостями, що і повздовжня середня об'язка ( $V_{113122}$ ). Тому на рівні властивостей – ( $V_{113124} = V_{113122}$ ).

Кутник ( $V_{1131411}$ ) правого кронштейна виготовлено із низьколегованої сталі ( $KM_{1131411}$ ), має трикутну форму ( $\Phi_{1131411}$ ), яка утворюється за

допомогою різання ( $\Phi_{1131411}$ ). Скоба ( $V_{1131412}$ ) правого кронштейна може бути виготовлена із вуглецевої сталі ( $KM_{1131412}$ ) або низьколегованої сталі ( $KM_{1131412}$ ), має тороїдну форму ( $\Phi_{1131412}$ ), яка утворюється за допомогою гибки з прута ( $CB_{1131412}$ ). Кутник ( $V_{1131421}$ ) та скоба ( $V_{1131422}$ ) лівого кронштейна мають ті ж властивості, що і кутник ( $V_{1131411}$ ) та скоба ( $V_{1131412}$ ) правого кронштейна відповідно. Тому на рівні властивостей – ( $V_{1131421} = V_{1131411}$ ), ( $V_{1131422} = V_{1131412}$ ).

Посилюча накладка ( $V_{113151}$ ) виготовляється із низьколегованої сталі ( $KM_{113151}$ ), має форму кутника ( $\Phi_{113151}$ ), який утворюється за допомогою гибки ( $CB_{113151}$ ). З'єднувальна-посилюча косинка ( $V_{113152}$ ) виготовлена із низьколегованої сталі ( $KM_{113152}$ ), має форму трикутного листа ( $\Phi_{113152}$ ), який утворюється за допомогою різання ( $CB_{113152}$ ).

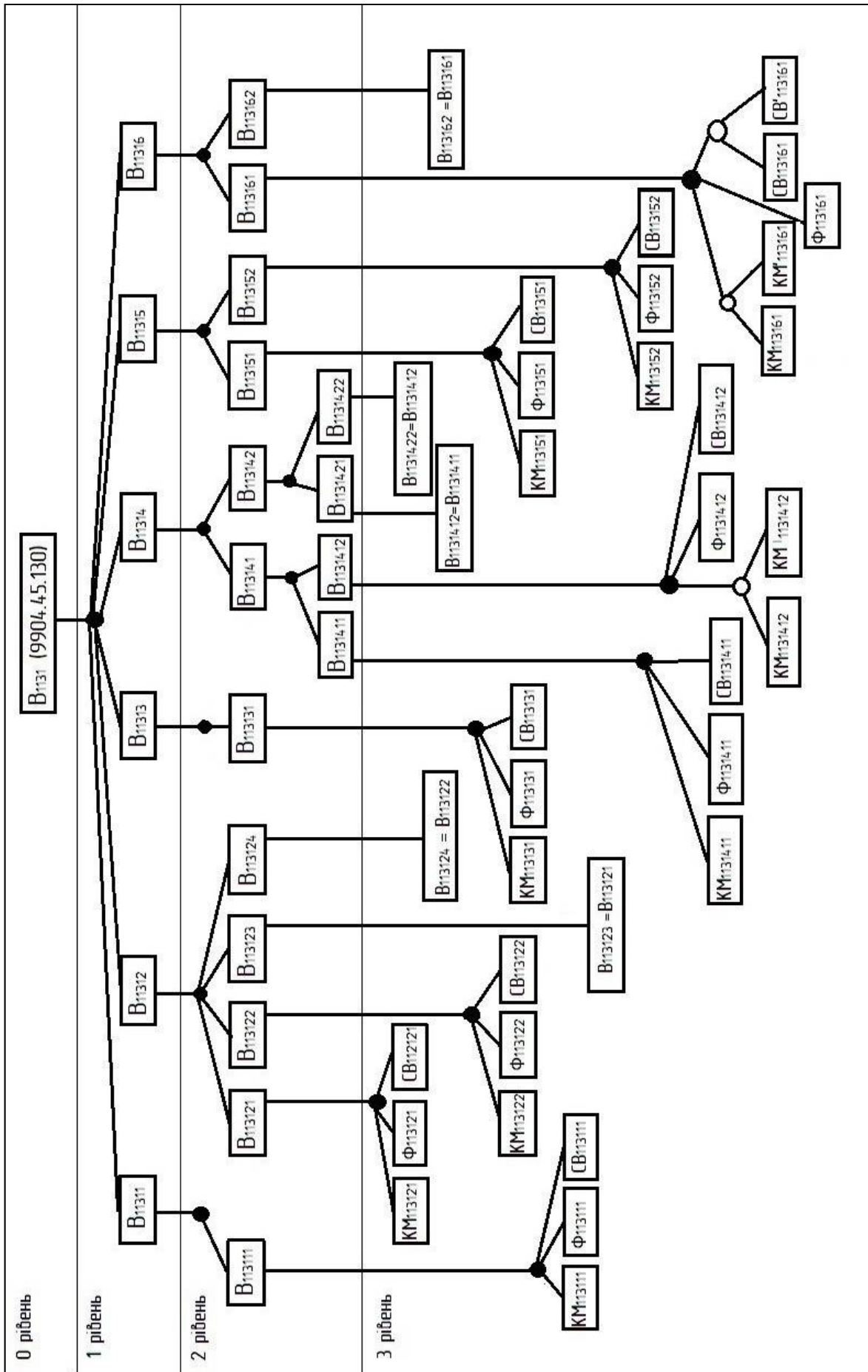


Рис 7. Блочно-ієрархічне описання (І-дерево) кришки лока проект 9904.45.130

Задня планка ( $B_{113161}$ ) може виготовлятися із вуглецевої сталі ( $KM_{113161}$ ) або із низьколегованої сталі ( $KM'_{113161}$ ), має форму листа з вирізом, а за способом виготовлення буває одиничного вирізання ( $CB_{113161}$ ) або штампування ( $CB'_{113161}$ ). Передня планка ( $B_{113162}$ ) має такі ж властивості, що і задня планка ( $B_{113161}$ ). Тому на рівні властивостей – ( $B_{113162} = B_{113161}$ ).

Розроблені та представлені варіаційні описання кришок люків ( проекти 9904.45.60 та 9904.45.130) у вигляді «I»-дерев

наприклад для застосування теорії графів) для дослідження процесів функціонування кришок люків в загальній конструкції напіввагонів, а також розв'язання трудомістких задач з визначення принципів побудови їх зразків нового покоління та ступеня значимості їх робочих органів, оцінки очікуваних техніко-економічних показників дослідження роботи по сприйняттю та перерозподілу різних видів навантажень, таксономії підвищення ступеня їх ідеальності, ідентифікації об'єктів, щорозглядаються у процесах проектування аналізу ремонтів. Наприклад розроблені описання можуть бути використанні при розробленні інноваційної кришки люка з перспективних порожнистих профілів [10].

#### Висновки:

В результаті комплексних (частина 1 та частина 2) дослідження та аналізу конструктивних виконань базових сучасних проектів кришок люків, зокрема, таких проектів: 9904.45.60, 9904.45.130, K14.05, 115-100, 115-1.00, 963.15.40 та УМ0042, з'ясовано, що вони спроектовані для габаритів 1-ВМ, 0-ВМ та характеризуються масою від 165 кг до 201 кг. В загальній ієрархічній побудові («I»-дерев) на блочному рівні вони мають однаковий конструктив, який включає такі блоки: лист кришки люка, каркас, блок кріплення кришки люка до хребтової балки, блок кріплення кришки люка до нижньої обв'язки напіввагона, блок взаємокріплення та посилення, блок кріплення торсіонного пристрою. При цьому конструктивні відмінності існуючих кришок люків можливо виділити починаючи з вузлового ієрархічного рівня.

В якості основних конструктивних відмінностей сучасних кришок люків можна виділити:

– зварювальне чи заклепкове виконання блоку кріплення кришки люка до хребтової балки;

– виконання листа кришки люка плоского виду з відповідним посиленням – стрингером, гофрованого (найбільш поширений) виду та як зварювальної збірки з плоского листа та кутиків, геометрично виконаних методом накладання контурів;

– існуюча можливість виконання елементів методом згинань чи виконання відповідних прокатних (характеризується збільшеною собівартістю) профілів;

– блок кріплення торсіонного пристрою адаптується до конструктивної можливості встановлення (загального) торсіону чи двохторсійного виконання.

Розроблені блочно-ієрархічні описання існуючих кришок люків у вигляді «I»-дерев доцільно використовувати при проведенні відповідних інженерних та наукових досліджень. Наприклад, зазначені структурні описання можна використовувати при складанні загального варіаційного описання у вигляді «I» – дерева та структурно-функціональних описань.

#### Л і т е р а т у р а

1. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.
2. Мороз, В.І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» / В.І. Мороз, В.В.Фомін, О.В. Фомін // Зб. наук. праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2008.- Вип. 99.- С. 72-81.
3. Мямлин С. В., Барановський Д. Н., Кебал И. Ю. Крышка люка универсального полувагона / С. В. Мямлин, Д. Н. Барановский, И. Ю. Кебал // Транспорт и транспортная логистика. – 2014. – 22 декабря. – с. 45 – 48.
4. Конструирование и расчет вагонов : учебник для вузов ж.-д. трансп./ В.В. Лукин, Л.А. Шадур, В.Н. Котуранов, А.А. Хохлов, П.С. Анисимов.; под общ. ред. В.В.Лукина. - М.: УМК МПС России, 2000. 731с.
5. Кебал И. Ю., Мямлин С. С. Совершенствование конструкции крышки люка полувагона / И. Ю. Кебал, С. С. Мямлин // Вагоний парк. – 2016. – №7-8 – с. 41 – 43.
6. Кельріх, М.Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів [Текст]/ М.Б. Кельріх, В.І.Мороз, О.В. Фомін // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2014. – № 2(210). – С. 94-103.
7. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
8. ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)
9. ГОСТ 26725-97 Полувагоны четырехосные универсальные магистральных железных дорог колеи 1520мм. Общие технические условия.
10. Фомін, О.В. Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів/ О.В. Фомін //Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: науковий журнал. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2014. – Вип. 6(54) – С. 146-153

## References

1. Fomin O. (2015) Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. Metallurgical and Mining Industry. No 1, p.p. 45-48
2. Moroz, V.I. Vznachenja perspektivnih naprjavkiv udoskon alenja konstrukcii naprjavkiv virobnictva DP «Ukrpec vagon»/ V.I. Moroz, V. V. Fomin, O.V. Fomin // Zb. nauk. prac.- Kharkiv: UkrDAZT, 2008.- Vip. 99.- P. 72-81.
3. Myamlin S. V., Baranovskiy D. N., Kibal I. Yu. Kryishka lyuka universalnogo poluvagona / S. V. Myamlin, D. N. Baranovskiy, I. Yu. Kibal // Transport i transportnaya logistika. – 2014. – 22 dekabrya. – s. 45 – 48.
4. Konstruirovaniye i raschet vagonov : uchenik dlya vuzov zh.-d. transp./ V.V. Lukin, L.A. Shadur, V.N. Koturanov, A.A. Hohlov, P.S. Anisimov.; pod obsch. red. V.V.Lukina. - M.: UMK MPS Rossii, 2000. 731s.
5. Kibal I. Yu., Myamlin S. S. Sovershenstvovanie konstruktivnykh kryishki lyuka poluvagona / I. Yu. Kibal, S. S. Myamlin // Vagoniy park. – 2016. – #7-8 –s. 41 – 43.
6. Kelrikh, M. B., Moroz, V. I., Fomin, O. V. (2014). Strukturno-funktsionalne opysannia konstruktivnykh moduliy kuzova suchasnykh universalnykh naprjavkiv. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnogo universytetu im. V. Dalia, 2 (210), 94–103.
7. Polovinkin A. I. Osnovy inzhenernogo tvorchestva: Ucheb. posobie dlya studentov vtuzov. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 368 s.
8. DSTU 7598:2014 Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv kolii 1520 mm (nesamohidnih)
9. GOST 26725-97 Poluvagoniy chetyrehosnyie universalnyie magistralnyie zheleznyie dorog kolei 1520mm. Obschie tehnicheskie usloviya.
10. Fomin O. V. Analiz dotsilnosti zastosuvannya shestyrannykh porozhnytykh profiliv v yakosti skladovykh elementiv nesuchykh system naprjavkiv // Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazariana. Nauka ta prohres transportu, 6 (54). – 2014. – С. 146-153.

**Фомин О.В., Горбунов Н.И., Коваленко В.В., Мищук И.Р. Формализованные описания конструкций крышек полувагонов (часть 1)**

На сегодняшний день подавляющее большинство подвижного состава сформирован универсальными полувагонами, что объясняется соответствующим уровнем востребованности. При этом более 90% таких вагонов характеризуется физической и моральной устарелостью. Сказанное обосновывает необходимость пополнения их парка образцами с улучшенными технико-экономическими показателями. Разработка таких образцов связана с созданием их соответствующих составляющих. Одним из наиболее востребованных при изготовлении и ремонтах полувагонов узлом является крышка люка, сказанное аргументирует важность и актуальность развертывания научно-исследовательских и опытно-конструктивных работ по улучшению конструкции именно крышки люка.

Для формирования исчерпывающей информации о конструктивных и эксплуатационных особенностях работы крышки люка целесообразно использовать ее формализованные описания

которые до этого не были созданы. В работе представлены особенности и результаты в виде «И» - деревьев конструктивных исследований базовых (гофрированные полотно, напряжен предварительно каркас, мономатериальные исполнения) исполнений крышек люков полувагонов. В качестве базовых конструкций крышек люков выбраны их проекты 9904.45.60 и 9904.45.130 отечественного производства.

**Ключевые слова:** транспортная механика, грузовые вагоны, полувагоны, крышка люка; формализованные описания; конструктивные «И» - дерева.

**Fomin O., Horbunov M., Kovalenko V., Mishchuk I. Formalized description of the constructions of the crushes of the semiconductors (part 1)**

To date, the vast majority of rolling stock of railways is formed by universal gondolas, which is explained by the corresponding level of demand. In this case, more than 90% of these cars is characterized by physical and moral obsolete. The above justifies the need to replenish their park with samples with improved technical and economic indicators. The development of such samples is due to the creation of their respective components. One of the most demanded in the manufacture and repair of gondola cars is the hatch, the said argues the importance and relevance of the deployment of research and development work to improve the design of the hatch itself.

For the formation of exhaustive information on the design and operational features of the hatch cover, it is expedient to use its formalized descriptions which have not been created before. The paper presents the features and results in the form of I<sup>n</sup>- trees of constructive research of basic (corrugated sheet, non-elastic pre-frame, monomaterial execution) of manhole covers of gondolas. As the basic designs of manhole covers, their projects were selected 9904.45.60 and 9904.45.130 domestic production.

**Key words:** transport mechanics, freight wagons, gondola cars, hatch cover; formalized descriptions; constructive I<sup>n</sup> trees.

**Фомин О.В.** – д.т.н., доц., (професор каф. «Вагоны та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій)

**Горбунов М.И.** – д.т.н., проф. (завідувач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені В.Далія.)

**Коваленко В.В.** – аспірант (кафедра «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет ім. В. Далія національний університет ім. В. Далія.)

**Мищук І.Р.** – студентка магістратури (кафедра «Вагоны та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій)

Рецензент: д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

УДК 629.463.001.63

**ТЕОРЕТИЧНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ  
КОЕФІЦІЕНТУ СТІЙКОСТІ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ  
В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ДЕГРАЦІЙНИХ ЗМІН ТАРИ**

**Фомін О.В., Прокопенко П.М.**

**THEORETICAL-EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE RATIO  
OF THE STABILITY OF THE WAGON-PLATFORM DEPENDING  
ON THE OPERATING-DEGRATIONAL CHANGES OF THE TAR**

**Fomin O., Prokopenko P.**

*В даній статті описана методика процесу проведення ходових динамічних випробувань вагона-платформи моделі 13-401-17. Практичне визначення коефіцієнту запасу стійкості колеса зі сходу з рейок вагона дозволить визначити безпечну швидкість руху вагона-платформи.*

**Ключові слова:** вагон-платформа моделі 13-401-17, ходові динамічні випробування, швидкість, коефіцієнт запасу стійкості.

#### **Вступ**

За результатами проведених випробувань встановлено, що більшість ходових динамічних показників платформи: коефіцієнти вертикальної і горизонтальної динаміки, відношення бокової сили до статичного навантаження на вісь, значення вертикального і горизонтального прискорень, коефіцієнт стійкості від бокового перекидання задовільняють вимоги. Винятком є показник коефіцієнту запасу стійкості колеса зі сходу з рейок вагона-платформи у порожньому режимі на прямих і кривих відрізках залізничної колії у діапазоні експлуатаційних швидкостей, який не відповідає вимогам нормативної документації.

Для вирішення питання з визначення безпечної швидкості руху вагона-платформи моделі 13-4012-45 проведено ходові динамічні випробування з визначенням коефіцієнту запасу стійкості колеса зі сходу з рейок в порожньому стані.

#### **Аналіз літературних даних**

Сучасні дослідження, присвячені питанням зниження вартості вантажних вагонів, в основному спрямовані на поліпшення їх конструкцій за рахунок вдосконалення процедур їх проектування або впровадження нових матеріалів. Зокрема, стаття [4] присвячена висвітленню запропонованих інновацій для конструкцій піввагонів «залізничного простору 1520 мм» і особливостей їх проектування, однак в ній обмежено представлені можливості

застосування таких інновацій для піввагонів-хоперів. Автори роботи [5] відображають певні ними перспективні напрямки конструювання кузовів залізничних напіввагонів з метою поліпшення техніко-економічних показників, але не розкривають економічного потенціалу ділового використання спеціального дорогого вагонного прокату немірної довжини. У роботах [8, 9] представлені нові підходи до вдосконалення динамічних розрахунків вагонних конструкцій і отримані на їх основі більш точні результати. Так, в роботі [8] описані характерні риси та результати динамічних характеристик вагонів-платформ. А робота [9] присвячена представленню запропонованих методів визначення динамічних характеристик для різних виконань несучих вагонних конструкцій. Ряд сучасних публікацій присвячені конструкціям вантажного вагонобудування нового покоління, які спроектовані з використанням передових матеріалів та технологій. Наприклад, в [5] автори відображають результати комп'ютерного моделювання прототипу вантажного вагона з основними несучими елементами, виконаними без надлишкових зв'язків. Однак представлені в роботах [5, 8, 9] підходи орієнтовані на використання цілісних профілів і не дозволяють з достатньою точністю розрахувати впровадження зістикованих варіантів виконання балок в різних вузлах вантажних вагонів. В роботі [6] представлені особливості запропонованих авторами інновацій в модулі ходової частини, також відображено їх вплив на модуль кузова але без урахування варіації його виконань. У статті [7] опубліковані результати робіт з генерування перспективних конфігурацій профілів, які можуть бути використані у виробництві різних видів рухомого складу. Але автори не пропонують даних про можливість створення перспективних профілів в зістикованих по довжині виконаннях. Робота [10]

висвітлює запропоновані методи аналізу залізничних конструкцій майбутнього і способи розширення їх функціональності, проте в ній, так само як і в статті [5], відсутні дані про підвищення ділової функціональності немірних спеціальних профілів. Також важливу роль в сучасному вагонобудуванні грають відповідні підходи в проектуванні, наприклад в статті [11] представлений розроблений методологічний апарат для прийняття оптимальних рішень. Але він так само не надає вичерпних можливостей щодо формування оптимальних по довжині і конфігурації зчленованих балок.

З урахуванням вищесказаного можна зробити висновок, що результати аналізу інформаційних джерел з досліджуваного питання свідчать про відсутність достатніх методичних і практичних матеріалів про визначення коефіцієнту стійкості колеса від сходу з рейок.

**Постановка проблеми.** Необхідно сформулювати необхідність проведення даних ходових динамічних випробувань.

Проведені теоретичні та практичні дослідження з визначенням та оцінкою показників динамічних та ходових якостей вагона-платформи моделі 13-401-17, визначення коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок, що в свою чергу дозволить визначити безпечну швидкість руху вагона-платформи в порожньому стані.

#### Мета роботи і задачі дослідження

Метою ходових динамічних випробувань є визначення та оцінка показників ходових динамічних якостей вагона-платформи моделі 13-401-17 при русі з різними швидкостями по характерних ділянках залізничної колії, а також визначення умов експлуатації на залізницях колії 1520 мм.

Для досягнення поставленої мети було визначено та вирішено наступні задачі:

- вибір дослідного зразка та аналіз його технічного стану;
- проведення випробувань скидання з клинів із визначенням оцінки власних частот коливань та динамічних напружень в елементах несучої конструкції;
- проведення ходових динамічних випробувань з визначенням показників

динамічних якостей вагона при його русі на залізничній колії з різними експлуатаційними швидкостями аж до конструкційної (120 км/год).

#### Відбір та ідентифікація дослідного зразка

Об'єктом випробувань є вагон-платформа моделі 13-401-17 в порожньому стані, виготовлений у відповідності до вимог нормативної технічної документації. (Рис. 1).

Ідентифікація вагону виконується за нормативною документацією, зовнішнім видом, конструкцією (складом), комплектністю й маркуванням перед початком випробувань. Відібраний вагон повинен бути ідентифікований за такими ознаками:

- найменування об'єкта;
- заводський номер;
- підприємство виготовлювач;
- дата виготовлення;
- дата, вид та підприємство, яке виконувало останній плановий ремонт.

При проведенні технічного діагностування особу увагу привертають несучим елементам конструкції, а саме хребтовій та шворневій балкам та повній комплектності вагона.

#### Характеристики що визначаються під час випробувань

В процесі скидання платформи з клинів визначаються величини частот коливань і напружень в окремих елементах платформи в залежності від кількості використання клинів і місць їх розташування під відповідними колесами візків.

У процесі ходових динамічних випробувань «ВП» вимірюються, аналізуються і оцінюються наступні величини і показники:

- динамічні і статичні прогини ресорного підвішування візка;
- вертикальні і горизонтальні (поперечні) прискорення обресорних мас вагону в зоні під'ятника вагона;
- коефіцієнти вертикальної динаміки по надресорній балці і бічним рамам візка;
- динамічні бічні (рамні) сили, що діють на букси колісних пар;
- коефіцієнт стійкості колеса від сходу з рейок;
- швидкості руху.

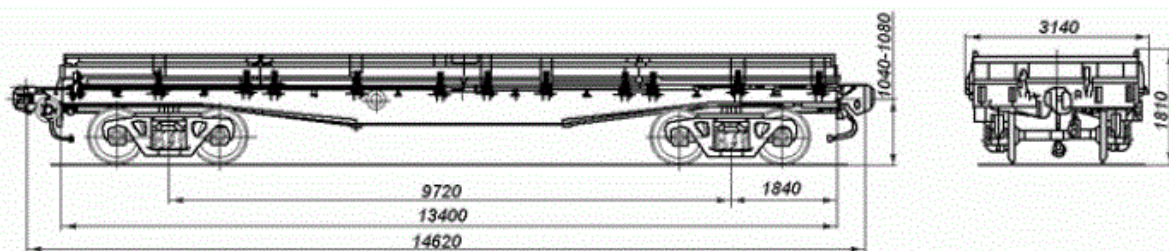


Рис. 1. Вагон-платформа моделі 13-401-17

Таблиця 1

**Технічні характеристики дослідного зразка**

Характеристика	13-401-17 ОАО «Днепрвагонмаш» (контейнерная)
Вантажопідйомність, т	66,0
Маса тари вагона (мін / мах), т	19,3/20,5
Навантаження осьове, кН (тс)	210 (21,50)
Швидкість конструкційна, км / год	120
Габарит	0-ВМ (01-Т)
База вагона, мм	9720
Довжина по осях зчеплення автзцепки, мм:	14620
Висота від рівня верху головок рейок до рівня підлоги / максимальна, мм:	1310
Кількість осей, шт.	4
Модель 2-вісного візка	18-100
Наявність перехідного майданчика	ні
Наявність стоянкового гальма	так
Довжина кузова всередині	13300
Довжина по торцях рами	13400
Рік постановки на серійне виробництво	1964

**Випробування скидання з клинів**

При випробуваннях скидання з клинів визначається частота і напруження.

Оцінка власних частот коливань здійснюється за результатами випробувань «скидання з клинів». Відповідно до розробленої схеми контрольних точок проводиться установка тензорезисторів на

надресорній балці та рамі вагона. Під колеса вагона-платформи в залежності від досліджуваних частот власних коливань встановлюються клини, а потім проводиться скидання вагона шляхом його нахату на клин.

Завантажений вагон-платформа, накочується за допомогою локомотива на клини. Клинни встановлюються по черзі (табл. 3):

під колеса одного боку хопера (імітація бічної хитавиці);

під колеса одного боку одного візка й іншого боку другого візка (імітація скручування);

під всі колеса візка (імітація галопування);

під всі колеса вагона (імітація підскакування);

Таблиця 2

**Схема установки клинів під колеса вагона**

№	Вид коливань	Номер колісної пари			
		1	2	3	4
1	Підскакування	■	■	■	■
2	Скручування кузова	■	■	■	■
3	Галопування	■	■	■	■
4	Бокова хитавиця	■	■	■	■

В залежності від кількості використаних клинів і місця їх розташування під відповідними колесами вагонів визначають види коливання при проході і скиданні вагонів з клинів.

Вибір точок для визначення частот коливань та динамічних напружень при випробуваннях по скиданню з клинів виконується на підставі аналізу результату розрахунку напружено-деформованого стану несучої конструкції вагона.

**Місця встановлення тензодатчиків при випробуваннях скидання з клинів та ходових динамічних випробуваннях**

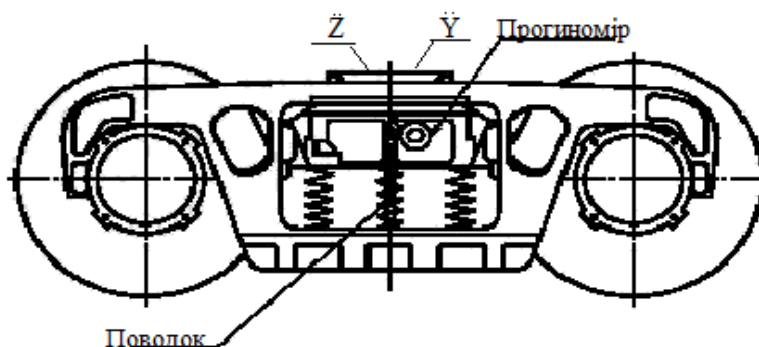


Рис. 2. Установка прогиноміра та акселерометрів для вимірювання вертикальних прогинів ресорного підвішування і прискорень обресорених частин візка вагона

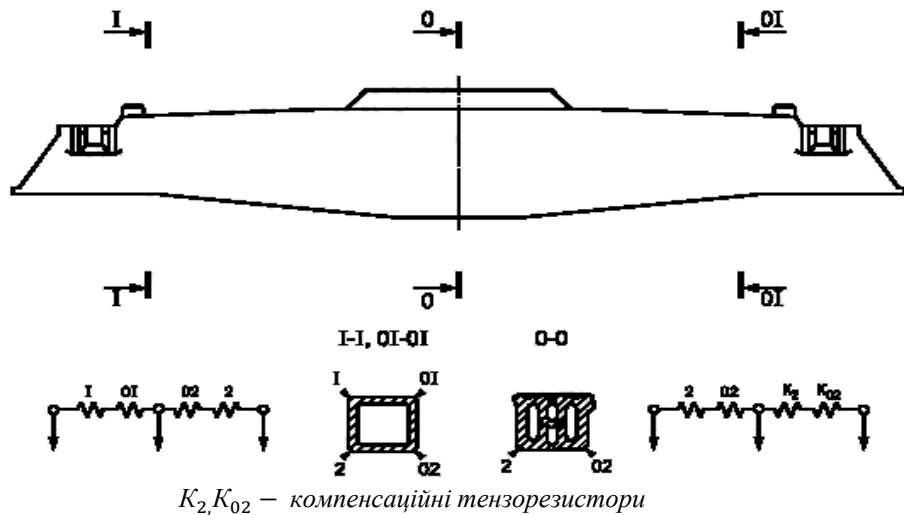


Рис. 3. Схема установки і з'єднання тензорезисторів для визначення коефіцієнтів вертикальної динаміки в перетинах надресорної балки візка вантажного вагона

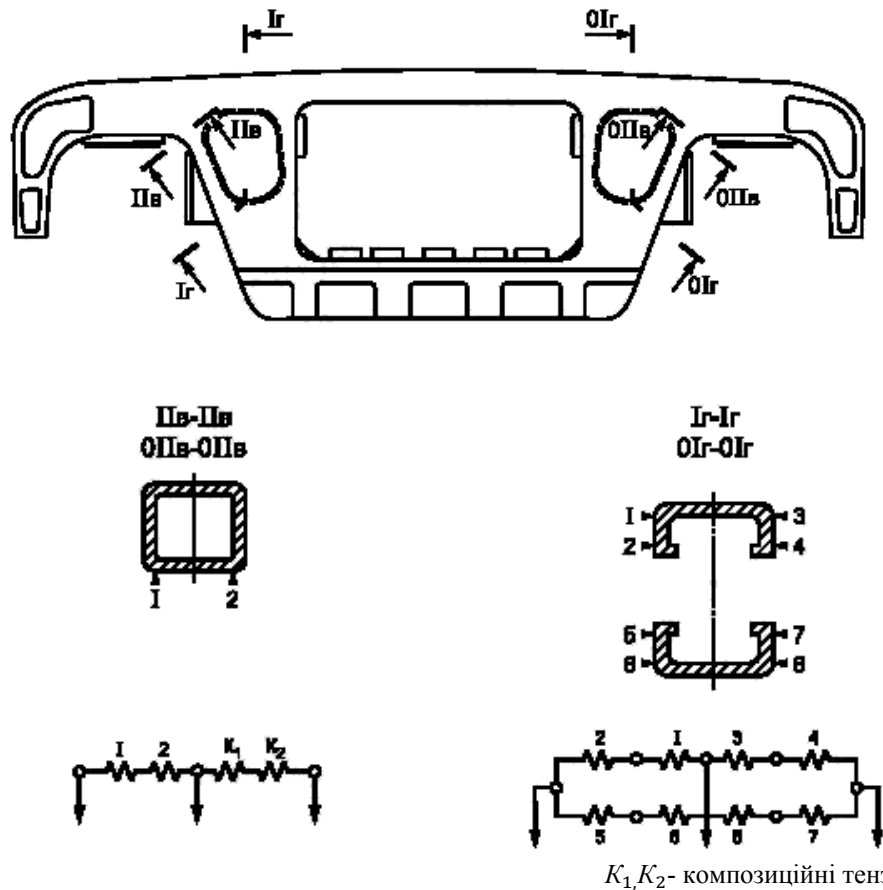


Рис. 4. Схема установки і з'єднання тензорезисторів для вимірювання горизонтальних (рамних) і вертикальних сил (перетину з індексом «В») і вертикальних сил (перетину з індексом «Г») на рамі візка вантажного вагона

**Дослідне визначення коефіцієнта запасу стійкості колеса від схода вагону з рейок**

Ходові динамічні випробування проводять методом реєстрації процесів у контрольних точках деталей візка під час дослідних поїздок у діапазоні експлуатаційних швидкостей, якщо це не загрожує безпеці руху. За результатами вимірювань

виконують розрахунки, оцінюють ходові динамічні якості.

Реєстрацію динамічних процесів вагону здійснюють шляхом запису величин експериментальних даних на жорсткий диск комп'ютера з використанням програмно-апаратних засобів збору інформації.

Необхідний обсяг експериментальних поїздок і вимірювань визначається нормативною документацією з урахуванням конкретних завдань, ступеня новизни конструкції і висунутих до неї вимог. У загальному випадку необхідний масив експериментальної інформації по досліджуваним величинам при ходових динамічних випробуваннях утворюється шляхом послідовного набору записів (реалізацій) процесів при різних швидкостях і режимах руху дослідного поїзда як на характерних заздалегідь обраних, так і на випадкових відрізках залізничної колії загальною протяжністю не менше 50 км..

Реєстрація вимірюваних процесів ходових динамічних випробувань проводиться на прямих і кривих ділянках колії і стрілочних переводах у всьому проектному діапазоні допустимих експлуатаційних швидкостей аж до конструкційної швидкості (120 км/год).

Сумарна тривалість записів (реалізацій) досліджуваних процесів в кожному інтервалі (10 ... 15 км / год) швидкостей руху на різних відрізках колії повинна бути не менше 300 с при реєстрації процесів за допомогою магнітографів.

Загальний обсяг тривалості вимірювань основних процесів у всьому діапазоні швидкостей повинен бути не менше 50 хв.

Під час руху в кривих і стрілочних переводах потрібно дотримуватися установлених правил технічної експлуатації і нормативних указівок щодо швидкостей руху. При цьому рекомендовано починати випробування з малих швидкостей 8,33 м/с - 11,1 м/с (30-40) км/год, із подальшим збільшенням швидкості руху через кожні 2,78 м/с (10 км/год). Масив експериментальної інформації по досліджуваним величинам створюється шляхом послідовного набору обсягу записів (реалізацій) процесів при різних швидкостях і режимах руху дослідного поїзда як на характерних, попередньо вибраних (намічених), так і на випадкових (що довільно чергуються) відрізках залізничної колії.

Ходові динамічні випробування можуть проводитися, як порівняльні, з використанням вагона-еталона, в якості якого використовується технічно справний вагон який добре вивчений і перевірений в експлуатації.

#### **Обробка та озрахунок коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейки**

Обробка даних при статичних навантаженнях виконується з використанням автоматизованих комплексів обробки дослідних даних. Величину напружень при статичних випробуваннях визначають за різницею показань засобів виміральної техніки до завантаження об'єкту випробувань та після нього:

$$\sigma_{вер} = (\Delta - \Delta_0) \cdot K \quad (1)$$

де:  $\Delta$  - показання засобів виміральної техніки у завантаженому стані об'єкта випробувань;

$\Delta_0$  - показання засобів виміральної техніки у порожньому стані об'єкта випробувань;

$K$  - калібрувальний коефіцієнт засобів виміральної техніки, що визначається за формулою (6.1):

$$K = \frac{R_\delta}{R_{ш}A_{ш}} \quad (2)$$

де:  $R_\delta$  - опір тензорезистора, Ом;

$R_{ш}$  - опір калібрувального шунта, Ом;

$A_{ш}$  - амплітуда (відхилення) процесу, виміряна при калібруванні, В.

9.2. Напруження  $a$  МПа, в елементах конструкції у місцях установки тензорезисторів визначаються за формулою (2):

$$\sigma = a \cdot \frac{R_\delta}{R_{ш}A_{ш}} \cdot \frac{E}{K_{ш}} \quad (3)$$

де:  $a$  - амплітуда (відхилення) процесу, В;

$R_\delta$  - опір тензорезистора, Ом;

$R_{ш}$  - опір калібрувального шунта, Ом;

$A_{ш}$  - амплітуда (відхилення) процесу, виміряна при калібруванні, В.

$E$  - модуль пружності матеріалу досліджуваної деталі, МПа;

$K_{ш}$  - коефіцієнт чутливості тензорезистора.

9.3. Результати ходових динамічних випробувань визначають на підставі даних (вимірювань, розрахунків, контролю, візуального огляду) зафіксованих на магнітних носіях і в журналі випробувань.

Попередній перегляд і обробку даних, отриманих під час проведення ходових динамічних випробувань, проводять з використанням ПЕОМ, як у реальному режимі часу, так і після проведення випробувань з використанням стандартного програмного математичного забезпечення статистичної обробки динамічних процесів.

За даними зареєстрованих процесів обчислюють такі показники:

- коефіцієнти вертикальної динаміки обресорених та не обресорених мас візка вагона;

- коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейки;

- рамні сили в долях осевого навантаження  $P_0$ ;

- прискорення обресорених частин вагону.

Зареєстровані на магнітному носії динамічні процеси випробувань вагона обробляють програмою обчислення миттєвих значень амплітуд процесу. Записи реалізацій проводять в обох напрямках руху поїзда у кожному діапазоні швидкостей. Частоту дискретизації записів динамічних процесів вибирають не менше ніж 128 Гц, що дозволяє визначати показники у потрібному частотному діапазоні. По кожній реалізації обчислюють величини процесів і їхні максимальні значення при імовірності, що відповідає нормативним значенням. Остаточні величини показників у кожному діапазоні швидкостей отримують шляхом вибору середнього

значення по окремих реалізаціях. У підсумку визначають одну величину показника у межах кожного діапазону швидкостей з інтервалом 10 км/год, починаючи зі швидкості 30-40 км/год. За цими показниками наводять основні висновки про ходові динамічні якості дослідного вагона.

За результатами обробки для кожного діапазону швидкостей отримують максимальні величини коефіцієнтів динаміки з довірчою імовірністю 0,999, а мінімальні величини коефіцієнтів запасу стійкості колеса від сходу колеса з рейки - з ймовірністю 0,001.

Коефіцієнт вертикальної динаміки обчислюють як відношення динамічних сил до статичного навантаження на колісну пару.

Стійкість колеса від сходу колеса з рейки визначають для найбільш небезпечних випадків поєднання великої поперечної сили взаємодії колеса, що набігає, з рейкою та малим вертикальним навантаженням на це колесо. При одночасній, протягом деякого часу, дії такого поєднання екстремальних сил можливе вкочування гребеня колеса, що набігає, на головку рейки і подальший схід вагона з рейки.

Обробка даних ходових динамічних випробувань вагонів передбачає

розшифровку, ідентифікацію та систематизацію параметрів зареєстрованих динамічних процесів. При обробці враховуються показники якості ходу вагона - до 20 Гц. Частота квантування при обробці дослідних даних на ЕОМ повинна бути не менше 100 Гц.

Дослідні дані групуються за діапазонами швидкостей руху (10..20 км / год), характерних особливостей ділянок колії (пряма, крива, стрілки і ін.).

При аналізі записів процесів встановлюються характерні види коливань, визначаються їх частоти, оцінюються залежність характеру і інтенсивності коливань від умов руху. У зв'язку з ймовірнісною природою показників динамічної навантаженості ходових якостей вагонів (в тому числі під впливом особливостей технічного стану ходових частин і транспортної структури) застосовується відповідний апарат теорії ймовірностей.

Для оцінки ходових якостей за величинами вимірених динамічних показників вагона, з використанням співвідношень з урахуванням тарувальних даних визначаються ймовірні максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки обрессорених  $K_{до}$  і необрессорених  $K_{дн}$  мас вагона, бічні (рамні) сили, значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок  $K_{yc}$ .

Максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки і рамних сил визначаються з довірчою ймовірністю 0,97 (за амплітудним значенням) і 0,997 (по миттєвим значенням), а мінімальні значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок, з довірчою ймовірністю не більше 0,0001. За величину бокового (рамного) зусилля  $H_p$

приймається сума рамних зусиль, що діють в один і той самий момент часу, на раму від кожної букси однієї колісної пари.

Методика розрахунку коефіцієнта запасу стійкості вагона проти сходу з рейок при вповзанні гребеня колеса на рейку під дією динамічних зусиль, що виникають при русі, коефіцієнтів вертикальної динаміки обрессорених і необрессорених мас вагона наведені нижче. Коефіцієнт вертикальної динаміки  $K_d$  в загальному вигляді визначається з наступного виразу:

$$K_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{cm}}, \quad (4)$$

де  $\sigma_d$  - динамічне напруження від вертикального навантаження в перерізі даного елемента;

$\sigma_{cm}$  - статичне навантаження від вертикального навантаження у тому ж перерізі.

Коефіцієнти вертикальної динаміки визначаються для обрессорених ( $K_{до}$ ) і необрессорених ( $K_{дн}$ ) мас візків.

Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейки  $K_{yc}$  визначають розрахунковим шляхом за інтегральним коефіцієнтом, обчисленим для діапазону експлуатаційних швидкостей при ймовірності 0,001, за формулою (5; 6):

Оцінка стійкості колеса проти сходу з рейки проводиться формулою [5; 6],

$$K_{yc} = \varepsilon \frac{P_g}{P_g} \geq [K_{yc}], \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta}, \quad (6)$$

де  $\beta$  - Кут нахилу твірної гребеня колеса до горизонтальної осі;

$$\beta = 60^\circ;$$

$$\mu - \text{коефіцієнт тертя, } \mu = 0,25;$$

$P_g$  - вертикальна складова сили реакції набігаючого колеса на головку рейки;

$P_g$  - горизонтальна складова сили реакції набігаючого колеса на головку рейки, що діє одночасно з  $P_g$ ;

$[K_{yc}]$  - допустиме значення коефіцієнта запасу стійкості.

При використанні візків моделі 18-100 формула (7) має вигляд .;

$$K_{yc} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \cdot \frac{Q_{ш}(1,03 - 1,17K_d^{дн} + K_d^{до}) + 0,515q_{кн} + 0,305H_p}{Q_{ш}(0,242 + 0,042K_d^{дн} - 0,285K_d^{до}) + 0,121q_{кн} + 0,92H_p}, \quad (7)$$

де  $Q_{ш}$  - сила тяжіння надресорних частин вагона, діюча на шийку осі колісної пари, кН, визначається, за формулою:

$$Q_{ш} = \frac{Q - nq_{кн}}{2n_0}, \quad (8)$$

$Q$  - сила ваги вагона, кН,

$q_{кп}$  - сила тяжіння необресорених частин, яка припадає на колісну пару, кН;

$n_0$  - число осей вагона;

$K_{\delta}^{II}$  - коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесу;

$K_{\delta}^{III}$  - коефіцієнт вертикальної динаміки на ненабігаючому колесу;

$H_p$  - горизонтальна бічна рамна сила.

Значення  $H_p$  приймають позитивними в разі направлення її в сторону набігання колеса, а  $K_{\delta}^{II}$  і  $K_{\delta}^{III}$  - в разі розвантаження коліс.

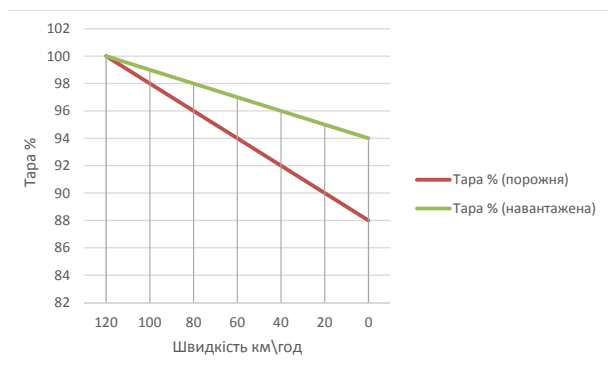


Рис. 5. Залежність швидкості від зміни тари

Номінальна тара (проектна) – закладена при проектуванні та зазначена в ТУ на вагон.

#### Висновки

В ході проведення теоретичних та експериментальних досліджень з визначення показника коефіцієнту запасу стійкості колеса зі сходу з рейок вагона-платформи у порожньому режимі на прямих і кривих відрізках залізничної колії у діапазоні експлуатаційних швидкостей було встановлено що він змінюється в негативну сторону в залежності від зменшення тари від нормативної, залежність наведена на графіку. Таким чином отримані результати дозволять оцінити вплив зменшення тари на стійкість вагона від перекидання.

#### Література

- Butko, T. V. Formalization of the technology of arranging tactical group trains [Text] / T. V. Butko, A. V. Prokhorchenko, A. Kyman // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – 3 (76). – P. 38-43.
- Panchenko, S. V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises [Text] / S. V. Panchenko, T. V. Butko, A. V. Prokhorchenko, L. O. Parkhomenko // Науковий вісник НГУ. – 2016. – № 2. – P. 93-99.
- Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model [Text] / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2015, №.1. – P.45-48.
- Tadeusz, Niezgodna. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software / Tadeusz Niezgodna, Wieslaw

Krason, Michal Stankiewicz // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2012. – Vol. 19, No. 4. – P. 495 – 502.

- Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas [Text] / M. Kelrykh, O. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2014, №6. – P.64-67.
- M. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko, The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU, Arłamów. – 2016, pp. 114 – 126.
- Фомін, О.В. Поліпшення несучої здатності вагона-хопера для перевезення зерна з метою підвищення опору динамічним зусиллям / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І. Сапронова С.Ю.// Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Сєверодонецьк: ЧУ ім. В.Даля, 2017. – № 5(235) – С. 88-99;
- Sapronova S, Tkachenko V., Kramar N., Voron'ko A. Regularities of shaping of a wheel profile as a result of deterioration of the rolling surface in exploitation [Text] / Transport Problems // International Scientific Journal. – 2008.– V.3. – Is. 4. – P.2.– 47–57.
- Lovska A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision [Text] / A. A. Lovska, A. Rybin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 3 – p. 4 – 8.
- Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie [Text] / S. Myamlin, L. P. Lingaitis, S. Dailydka [et al.] // Transport. – 2015. – Vol. 30. – Iss. 1. – P. 88–92. doi: [10.3846/16484142.2015.1020565](https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1020565).
- Gorbunov N., Kravchenko E., Demin R., Nogenko O., Prosvirova O. Analysis of the constructive features of railway brakes and methods of improving the process of their functioning [Text] / N. Gorbunov, E. Kravchenko, R. Demin, O. Nogenko, O. Prosvirova // ТЕКА Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, No. 5, Poland, pp. 98 - 102.
- Tartakovskiy E. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems [Text] / E. Tartakovskiy, O. Gorobchenko, A. Antonovych // Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies. – 2016. – №. 5/ 3 (83). – P. 4–11. doi: [10.15587/1729-4061.2016.80198](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.80198).
- ТУ У 35.2.-01124454-035:2005. Вагон-хопер чотирирівний для гарячих окатишів та агломерату моделі 20-9749. Технічні умови. – 2005. – Київ.
- Fomin, O.V. Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages [Text] / O.V. Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2015. – Issue 2, pp. 68-76.

#### References

- Butko, T. V. Prokhorchenko A.V., Kyman A. (2015). Formalization of the technology of arranging tactical group trains. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (76), 38-43.
- Fomin, O. (2015). Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry», 1, 45-48.
- Panchenko S.V., Butko T.V, Prokhorchenko A.V., & Parkhomenko L.O. (2016). Formation of an automated

- traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises. *Naukovyi Visnyk NHU*, 2, 93–99.
4. Kelrykh M., Fomin O. (2014). Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*, 6, 64–67.
  5. Tadeusz Niezgodna, Wieslaw Krason, Michal Stankiewicz. (2012). Tadeusz, Niezgodna. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 19 (4), 495–502.
  6. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. (2016). The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU*, Arłamów, 114–126.
  7. Fomin O.V., Prokopenko P.M., Horbunov M.I. Sapronova S.YU. (2017). Polipshennya nesuchoyi zdatnosti vahonakhopera dlya perevezennya zerna z metoyu pidvyshchennya oporu dynamichnym zusylyam // *Naukovyy zhurnal – Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya. – Syeverodonets'k: SNU im. V.Dalya, – № 5(235) – S. 88-99*
  8. Sapronova S, Tkachenko V., Kramar N., Voron'ko A. (2008). Regularities of shaping of a wheel profile as a result of deterioration of the rolling surface in exploitation. *Transport Problems // International Scientific Journal*, 3(4), 47–57.
  9. Lovska A., Rybin A. (2015). The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 3, 4–8.
  10. Myamlin S., Lingaitis L. P., Dailydka S., Vaičiūnas G., Bogdevičius M., Bureika G. (2015). Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. *Transport*, 30 (1), 88–92.
  11. N. Gorbunov, E. Kravchenko, R. Demin, O. Nogenko, O. Prosvirova. (2013). Analysis of the constructive features of railway brakes and methods of improving the process of their functioning. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 13(5), Poland, 98–102.
  12. Tartakovskiy E., Gorobchenko O., & Antonovych A. (2016). Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*. 5(3 (83)), 4–11. doi: 10.15587/1729–4061.2016.80198.
  13. Hopper carriages for pellets and agglomerate of model 20-9749. Technical requirements. TU У 35.2.–01124454–035:2005. Kyiv.
  14. Fomin, O.V. (2015). Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages, *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2, 68–76.
- Фомин А.В., Прокопенко П.Н. Теоретико-экспериментальное определение коэффициента устойчивости вагоны-платформы в зависимости от эксплуатационно-деградационных изменений тары**  
*В данной статье описана методика процесса проведения ходовых динамических испытаний вагона-платформы модели 13-401-17. Практическое определение коэффициента запаса устойчивости колеса со схода с рельсов вагона позволит определить безопасную скорость движения вагона-платформы.*  
**Ключевые слова:** вагон-платформа модели 13-401-17, ходовые динамические испытания, скорость, коэффициент запаса устойчивости.
- Fomin O., Prokopenko P. Theoretical and experimental determination of the stability factor of the platform car depending on the operational and degradation changes in the packaging**  
*This article describes the method of the process of running dynamic tests of the platform car model 13-401-17. Practical determination of the wheel stability factor from the derailment of the car will allow to determine the safe speed of the platform car.*  
**Key words:** platform car model 13-401-17, running dynamic tests, speed, stability factor.
- Фомин Олександр Вікторович** – доктор технічних наук, доцент Кафедра «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій E-mail: [fomin1985@ukr.net](mailto:fomin1985@ukr.net)  
**Прокопенко Павло Миколайович** – магістр, інженер Філія «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Укрзалізниця» E-mail: [prokopenko1520mm@gmail.com](mailto:prokopenko1520mm@gmail.com)
- Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 23.03.2018.

УДК 629.4.02

**КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ТЕРМІЧНОЇ ПРАВКИ****Фомін О.В., Бурлуцький О.В., Горбунов М.І., Логвіненко О.А.****CONCEPTUAL BASIS OF THERMAL EDITING****Fomin O.V., Burlutskyi O.V., Horbunov M.I., Logvinenko O.A.**

*Відмічено, що однією з перспективних галузей транспортного машинобудування є вагонобудування. Зазначена актуальність удосконалення технологій виробництва в напрямку підвищення надійності вітчизняного парку вантажних вагонів. Відмічена важлива роль технологічного процесу зварювання при виготовленні та ремонті вагонних металокопункцій. Обумовлена актуальність використання процесу термічної правки зварювальних елементів. Представлено загальний вид оптимізаційного дослідження термічної правки вагонних металокопункцій. Підтверджено точність отриманих, при моделюванні термічної правки об'єкту верхнього напіввагону, результатів в рамках експериментального дослідження його натурального зразка. Відмічено, що після проведення термічної правки практично не відбувається зміна структури основного металу елемента, а відхилення в механічних характеристиках до і після процесу правки є незначними.*

**Ключові слова:** вагонобудування, елементи вантажних вагонів, деформації, термічна правка, моделювання, експериментальне дослідження, оптична мікроскопія, механічні характеристики.

**Вступ.** До однієї з перспективних галузей транспортного машинобудування, якому відводиться основна роль в прискоренні соціально-економічного розвитку країни, слід віднести вагонобудування, яке в цілому орієнтоване на виробництво різноманітних моделей вантажних вагонів. У відповідності до Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, яку схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року №1555-р., підвищення надійності вітчизняного парку вантажних вагонів є актуальною та комплексною проблемою, вирішення якої потребує розв'язання наступних основних завдань: розробка та створення більш досконалої їх конструкції; удосконалення технології виробництва, а також систем ремонту та технічного обслуговування; використання в експлуатації сучасних високоефективних пристроїв контролю технічного стану вагонів та підвищення їх довговічності [1,2].

Як показав світовий досвід виробництва металокопункцій вантажних вагонів основним технологічним процесом, який значною мірою визначає їх надійність та довговічність (які безпосередньо пов'язані з безпекою руху) є зварювання [3,4]. В той же час його застосування викликає зміну як фізичних так і механічних характеристик матеріалу зварювальних металокопункцій та призводить до появи післязварювальних залишкових напружень та деформацій [5,6], які суттєво знижують якість зварювальних елементів. У зв'язку з цим при виготовленні елементів вантажних вагонів виникає потреба в проведенні відповідних заходів щодо усунення наслідків їх появи і здійсненні відповідного технологічного контролю. Вищезазначена ситуація обумовлює актуальність та важливість проведення робіт в напрямку удосконалення технологій виробництва та ремонту вантажних вагонів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій** показав, що запобігти появі залишкових напружень та деформацій при зварюванні можливо за рахунок застосування конструктивного або технологічного способів. При цьому конструктивний спосіб полягає в раціональному конструюванні зварювальних вузлів, а технологічний спосіб заснований на раціональному виборі теплового режиму, а також способі збирання та технології зварювання.

В тому випадку, коли у виробництві зварювальних конструкцій неможливо застосувати вищенаведені способи, використовують технологічні підходи пов'язані з їх післязварною обробкою, яка отримала назву «правка». Всю чисельність існуючих методів правок можна звести до двох груп, а саме до методів: деформування зовнішніми силами (холодна правка) та деформування температурою (термічна правка).

В останній час при виробництві елементів вантажних вагонів широкого розповсюдження отримала холодна правка, яка полягає у деформуванні металокопункцій пластичним

згинанням при звичайній температурі та дозволяє усунути їх викривлення, а саме надати їм прямолінійної форми. Але в результаті вказаного деформування в металокопструкції утворюється наклеп, який підвищує межу текучості матеріалу (яка знижує статичну та втомну міцність копструкції) та призводить до появи неоднорідності механічних властивостей. В той же час використання вказаного методу правки не забезпечує стабільної форми виправлених деталей і в процесі експлуатації усунена правкою деформація може виникнути знову. У зв'язку з цим особливої уваги при виготовленні зварних металокопструкцій заслуговує термічна правка, яка позбавлена зазначених недоліків [7 – 10].

**Метою статті** є викладення концептуальних основ термічної правки зварних металокопструкцій.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Як було відмічено раніше, традиційним способом стабілізації форм технологічно-деформованих вагонних металокопструкцій при їх виготовленні на вагонобудівних підприємствах України є холодна правка але однією з найбільш раціональних та економічно-доцільних з точки зору зниження залишкових деформацій і стабілізації форм є процедура правки термічним впливом, яка полягає в місцевому високотемпературному нагріванні відповідних зон елементів за допомогою газокисневого полум'я або електричної дуги та призводить до виправлення прогинів, що виникають в процесі зварювання. Отже вказана правка представляє собою термічну обробку, під якою розуміють процеси, що полягають в тепловому впливі за певними режимами, з метою зміни структури та властивостей матеріалу.

Основною перевагою цього виду правки є її універсальність, тобто з її допомогою можливо виправити будь-яку зварювальну металокопструкцію, яка має складну конфігурацію та габарити (наприклад хребтову балку напіввагону). Також слід зазначити, що термічна правка з місцевим нагріванням може бути виконана практично у всьому діапазоні робіт по виправленню вертикального прогину елементів несучих систем вагонів та грибовидності кузова, в той час як холодна правка має області, коли її здійснення неможливе. Таким чином, потенційні можливості термічної правки вище, ніж холодної.

Для зазначеної правки застосовують три види нагрівання: нагрівання, яке виконується симетрично відносно осі виробу і не викликає появу згинального моменту (застосовується при правці випучин та хлопавок на тонких листах); нагрівання, яке виконується несиметрично відносно осі виробу, що викликає в результаті залишкової пластичної деформації стискання появу моменту, який згинаючи деформований виріб, доводить його до виправлення; нагрівання, що розташоване незалежно від осі симетрії та викликає в результаті пластичної деформації стискання вкорочення

подовжених волокон виробу та внаслідок цього випрямлення копструкції.

Використання термічної правки з місцевим нагріванням пов'язано з виконанням наступних етапів: виявлення деформацій, які виникають в копструкції; вимірювання величин цих деформацій та розкладання складних деформацій на прості; в залежності від характеру та величини деформацій встановлення розташування, форми, розміру та режиму нагрівання; за необхідністю застосування попередньої пружної деформації; застосування нагрівання, а потім повного охолодження копструкції. З усіх вищенаведених етапів особлива увага приділяється вибору форм та розмірів нагрівання.

За існуючою класифікацією розрізняють наступні форми [5]: нагрівання точками, які розташовані за концентричними колами; кругове нагрівання по кільцю; кругове нагрівання по спіралі; нагрівання половою або кружками, які розташовані один за одним в один ряд; нагрівання з використанням трикутників («клинів»); використання «клинів нагріву» в комбінації з половою нагріву; застосування «хреста нагріву» в комбінації з половою нагріву. Аналіз представлених вище форм дозволив зробити висновок, що згинаючий момент, необхідний для вирівнювання копструкції, можна отримати використовуючи повздовжнє, або поперечне скорочення металу копструкції. При цьому у випадку термічної правки елементів несучих систем вантажних вагонів доцільно використовувати поперечне скорочення металу та форму нагрівання у вигляді «клина» [11].

Основним питанням правки є вирішення задачі о розмірах та режимах нагрівання. Так отримання оптимальних геометричних розмірів клина та температури нагрівання, необхідних для проведення термічної правки з метою усунення зварювальних деформацій вагонних металокопструкцій, можливе за результатами проведення відповідного оптимізаційного дослідження. В загальній постановці його метою є визначення вектору керованих параметрів  $\bar{X}^*(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , який називається оптимальною точкою і задовольняє усім заданим обмеженням, при яких досягається екстремальне значення цільової функції (ЦФ)  $F^*(\bar{X})$  – значення ЦФ в оптимальній точці. Загальний запис такої задачі має наступний вигляд:

$$F(\bar{X}) \rightarrow \text{extremum}, \quad \bar{X} \in D_x \in D, \quad (1)$$

де  $F$  – головний критерій оптимальності, який обрано відповідно до основної мети оптимізаційного дослідження;

$\bar{X}$  – вектор керованих параметрів  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , варіювання якими призводить до зміни головного критерію  $F$ ;

$D$  – область можливих рішень;

$D_x$  – область допустимих рішень.

Стосовно до задачі оптимізаційного дослідження процесу термічної правки вагонних металокопункцій з метою зменшення їх післязварних деформацій, у якості головного критерію оптимальності доцільно використовувати величину прогину  $f$ , який є основною зварювальною деформацією що має місце при їх виготовленні.

Тоді загальний вид оптимізаційного дослідження термічної правки вагонних металокопункцій буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} f(\bar{X}) \rightarrow \min, \\ \bar{X} \in D_x \in D. \end{aligned} \quad (2)$$

Результатами такого оптимізаційного дослідження є отримані математичні залежності та побудовані на їх основі допоміжні графіки, аналіз яких дозволяє обґрунтовано підходити до вибору розмірів та режимів нагрівання при термічній правці зварювальних металокопункцій.

Авторами було відмічено, що підтвердження ефективності термічної правки можна отримати за результатами проведення її моделювання з використанням відповідних програмних комплексів систем автоматизованого проектування таких як ANSYS, Nastran, MARK, SolidWorks, T-flex та ін. Так авторами було проведено моделювання термічної правки об'язування верхнього напіввагону (на основі розробленої скінченно-елементної моделі) з використанням SolidWorks. Також виконано підтвердження точності та отриманого в ході такого моделювання ефекту (відміченого усунення, отриманого при накладанні зварювального шва, прогину зазначеного елемента) в рамках експериментального дослідження його натурального зразка. При цьому результати проведеної оптичної мікроскопії та отримані в ході випробувань механічні характеристики зразка об'язування верхнього напіввагону дозволили зробити висновок, що після проведення термічної правки практично не відбувається зміна структури основного металу елемента, а відхилення в механічних характеристиках до і після процесу правки є незначними (в межах 3%).

**Висновки і перспективи подальшого використання.** Викладені в статті матеріали обґрунтовують доцільність застосування термічної правки при виготовленні металокопункцій. Також вони можуть бути використані при виробництві та ремонті одиниць рухомого складу існуючого вагонного парку.

## Література

1. Фомін О.В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія / О. В. Фомін. – Київ: ДЕТУТ, 2014. – 299 с.
2. Фомін О.В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва: монографія / О. В. Фомін. – Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 252 с.
3. Шляпин В.Б. Ремонт вагонів сваркой / В.Б. Шляпин, А.Ф. Павленко, В.Ю. Емельянов // Справочник. – М.: Транспорт, 1983. – 246 с.
4. ОСТ 24.050.34-84 Проектирование и изготовление стальных сварных конструкций вагонов. Технические требования. – Введ. 1988-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 183 с.
5. Биргер И.А. Остаточные напряжения / И.А. Биргер. – М.: Транспорт, 1963. – 232 с.
6. Винокуров В. А. Сварочные деформации и напряжения / В.А. Винокуров. – М.: Машгиз., 1963. – 235 с.
7. Фомін О.В. Процедура правки технологічно-деформованих вагонних металокопункцій шляхом створення внутрішнього напруженого стану термічним впливом / О.В. Фомін, О.А. Логвіненко, О.В. Бурлуцький // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. – Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2017. – N 3(233). – С. 234-238.
8. Фомін О.В. Термічна правка технологічно-деформованих верхніх об'язувань піввагонів / О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький, М.І. Горбунов, О.А. Логвіненко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка та міцність машин. – Харків: НТУ(ХПІ), 2017. – № 39 (1261). – С. 76-80.
9. Патент України на корисну модель №122862, МПК (2017.01) B21D 1/00 B61D 3/00 Спосіб термічної правки об'язування верхнього піввагона / Фомін О.В., Горбунов М.І., Бурлуцький О.В., Логвіненко О.А., Фоміна А.М (Україна); власник: автори – № u 2017 08878; заявка 05.09.2017; публ. 25.01.2018, Бюл. № 2.
10. Патент України на корисну модель № 118285, МПК (2017.01) B61F 1/02 (2006.01) B61D 3/00 Спосіб термічної правки балки хребтової піввагона / Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В. (Україна); власник: автори. – № a2017 02689; заявка 22.03.2017; публ. 25.07.2017, Бюл. № 14.
11. Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В. Наукове обґрунтування вибору геометричних параметрів зон нагріву при термічній правці елементів несучих систем вантажних вагонів / О.В. Фомін, О.А. Логвіненко, О.В. Бурлуцький // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. – Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2017. – N 4(234). – С. 227-232.

## References

1. Fomin O.V. Research of defects and damages of bearing systems of railway open wagons: monograph. – Kiev: State University of Economics and Technology Publ., 2014. 299 p.
2. Fomin O.V. Optimization of the design of the elements of the bodies of railway gondola cars and the organization of their production: monograph. – Donetsk: Donetsk Institute of Railway Transport Publ., 2013. 252 p.

3. Shljapin V.B., Shljapin V.B., Pavlenko A.F., Emel'janov V.Ju. Repair of wagons by welding. Spravochnik. Moscow: Transport Publ., 1983. 246 p.
4. Industry standard 24.050.34-84 Designing and manufacturing of welded steel structures of wagons. Technical requirements. Introduced 1988-01-01. M.: Publishing standards, 1988. 183 p.
5. Birger I.A. Residual stresses. Moscow: Transport Publ., 1963. 232 p.
6. Vinokurov V.A. Welding deformations and stresses. M.: Mechanical engineering Publ., 1968. 236 p.
7. Fomin O.V., Logvinenko O.A., Burlutskiy O.V. The procedure for straightening technologically deformed carload metal structures by creating an internal stress state by thermal action. Bulletin of Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University: Scientific Journal, Severodonetsk, Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University Publ., 2017, no. 3(233), pp. 234–238.
8. Fomin O.V., Burlutskiy O.V., Gorbunov M.I., Logvinenko O.A., Fomina A.M. Thermal correction of technologically deformed upper bounds of gondola. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Dynamics and Durability of Machines, Kharkiv, National Technical University "KhPI" Publ., 2017, no. 39(1261), pp. 76–80.
9. Fomin O.V., Gorbunov M.I., Burlutskiy O.V., Logvinenko O.A., Fomina A.M. (Ukraine) Patent of Ukraine for utility model №122862, МПК (2017.01) B21D 1/00 B61D 3/00 The method of thermal dressing tying the upper gondola car; owner: authors - No. u 2017 08878; application 05/09/2017; pub. January 25, 2018, Bulletin No. 2
10. Fomin O.V., Logvinenko O.A., Burlutskiy O.V. (Ukraine) № 118285, МПК (2017.01) B61F 1/02 (2006.01) B61D 3/00 The method of thermal correction of a beam of a spinal gondola car; owner: authors. - No. a2017 02689; application on 03/22/2017; pub. 07/25/2017, Bul. No. 14.
11. Fomin O.V., Logvinenko O.A., Burlutskiy O.V. Scientific substantiation of the choice of geometrical parameters of heating zones during thermal adjustment of the elements of load bearing systems of freight cars. Bulletin of Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University: Scientific Journal, Severodonetsk, Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University Publ., 2017, no. 4(234), pp. 227–232.

**Фомин А.В., Бурлуцкий А.В., Горбунов Н.И., Логвиненко А.А. Концептуальные основы термической правки.**

*Отмечено, что одной из перспективных отраслей транспортного машиностроения является вагоностроение. Обоснована актуальность совершенствования технологий производства в направлении повышения надежности отечественного парка грузовых вагонов. Отмечена важная роль технологического процесса сварки при изготовлении и ремонте вагонных металлоконструкций. Обусловлена актуальность использования процесса термической правки свариваемых вагонных элементов. Представлен общий вид оптимизационного исследования термической правки вагонных металлоконструкций. Подтверждена*

*точность полученных, при моделировании термической правки обвязывания верхнего полувагона, результатов в рамках экспериментального исследования его натурального образца. Отмечено, что после проведения термической правки практически не происходит изменения структуры основного металла элемента, а отклонения в механических характеристиках до и после процесса правки незначительны.*

**Ключевые слова:** вагоностроение, элементы грузовых вагонов, деформации, термическая правка, моделирование, экспериментальное исследование, оптическая микроскопия, механические характеристики.

**Fomin O.V., Burlutsky O.V., Gorbunov M.I., Logvinenko O.A. Conceptual foundations of thermal editing.**

*It is noted that one of the most promising branches of transport engineering, which is focused on the production of various types of wagons, is car building. The urgency of improving production technologies in the direction of increasing the reliability of the domestic fleet of freight cars is indicated. An important role of the welding technological process in the manufacture and repair of carload metal structures was noted. Its advantages and disadvantages are given. The urgency of using the process of thermal dressing of the welded elements is determined, which is aimed at eliminating post-welding deformations and stabilizing the molds. A general view of the optimization study of the thermal correction of wagon metal structures is presented. The accuracy of the results of the binding of the upper gondola car obtained during the simulation of its full-scale sample was confirmed. It is noted that after the thermal dressing, the structure of the base metal of the element practically does not change, and the deviations in the mechanical characteristics before and after the dressing process are insignificant.*

**Keywords:** car building, freight car elements, deformations, thermal correction, modelling, experimental research, optical microscopy, mechanical characteristics.

**Фомін Олексій Вікторович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри вагони та вагонне господарство, Державний університет інфраструктури та технологій, e-mail: fomin1985@list.ru.

**Бурлуцький Олексій Вікторович** – завідувач навчальними лабораторіями кафедри механіки і проектування машин, Український державний університет залізничного транспорту, e-mail: leha200681@mail.ru.

**Горбунов Микола Іванович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, e-mail: gorbunov0255@gmail.com.

**Логвіненко Олександр Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механіки і проектування машин, Український державний університет залізничного транспорту, e-mail: dragondaewoo@gmail.com.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 11.04.2018.

УДК 629.463.65

## АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОВЗУНІВ З ЗАЗОРОМ У КОНСТРУКЦІЇ КРИТИХ ВАГОНІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЛЕГКОВАГОВИХ ВАНТАЖІВ

Фомін О.В., Осьмак В.Є., Лебедєв В.С.

## ANALYSIS OF THE USE OF STEEL COUPLERS WITH THE END OF THE CONSTRUCTION OF CRITICAL WAGONS FOR THE TRANSPORT OF LIGHTHOUSE CARGOES

Fomin O., Osmak V., Lebedev V..

На даний час в Україні та країнах СНД збільшилися об'єми перевезення, тарно-штучних та легковагових пакетованих вантажів. Умови перевезення цих вантажів потребують формування парку спеціалізованих критичних вагонів. Для створення і поставки на залізниці України та інших країн СНД даного типу вагонів проводиться їх розробка, виробництво та випробування. При цьому недостатнє фінансування закупівель не дозволяє формувати відповідний парк вагонів з новими зразками конструкцій. Тому виникає необхідність поповнювати парк вагонами з урахуванням наявних конструкцій вагонів. В якості таких конструкцій можуть бути використані критичні спеціалізовані вагони з ковзунами з зазорами. Для забезпечення необхідного рівня ходових якостей зазначених вагонів необхідно комплексно дослідити функціонування заміни контактних ковзунів на ковзуни з зазором. В статті представлені результати таких досліджень.

**Ключові слова:** вагон критичний спеціалізований, сталевий ковзун з зазором, ходові динамічні випробування, динамічні якості, стійкість проти сходу з рейок стійкість проти перекидання.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день вагонобудівні заводи випускають критичні вагони для перевезення легковагових вантажів котрі обладнані пружно-катковими ковзунами типу ISB-12 фірми «А. Стакі». В той же час на мережі залізниць країн СНД експлуатується велика кількість вагонів, що обладнані сталевими ковзунами з зазорами та мають близькі технічні характеристики.

В зв'язку з економічною доцільністю був розроблений проект обладнання вагона моделі 11-1709 сталевими ковзунами з зазорами. Для перевірки можливості експлуатації вагонів з вказаними змінами проводились ходові динамічні випробування.

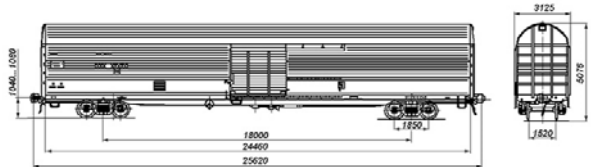


Рис. 1. Вагон критичний спеціалізований моделі 11-1709

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблемам дослідження і поліпшення ходових якостей рухомого складу присвячено значну кількість науково-практичних праць. Так в роботах [1,6,8] визначені можливі варіанти з'єднань відповідних елементів вагонів і зазначені принципи відтворення належних характеристик. В статті [2,7] автори досліджують вплив характеристик системи «візок-рейка» та визначають шляхи поліпшення цього зв'язку на динамічні якості рухомого складу. В роботах [3,5] визначені перспективні розв'язки розвитку вантажних вагонів (з зазначенням параметрів рівня динамічних якостей) та структурно-функціональні зв'язки їх елементів. Результати аналізу відповідних літературних джерел засвідчили відсутність належних даних з розгляду ефективності застосування сталевих ковзунів з зазором замість пружно-контактних ковзунів.

**Мета статті.** Дати оцінку ефективності і доцільності змін, що вносяться в конструкцію вагона а також виконати аналіз можливості експлуатації вагонів мод. 11-1709 обладнаних сталевими ковзунами з зазорами.

Об'єкт дослідження – дослідний зразок вагона критичного спеціалізованого моделі 11-1709, обладнаного сталевими ковзунами з зазорами.

Предмет дослідження – визначення і оцінка показників ходових якостей вагона критичного спеціалізованого моделі 11-1709 обладнаного сталевими ковзунами з зазором.

**Основний зміст.** Виконуючи аналіз типових випробувань 4-вісного вагона критого спеціалізованого моделі 11-1709 призначеного для перевезення легковагових упакованих вантажів, що потребують захисту від атмосферного впливу та порівнюючи з досвідом їх експлуатації на залізницях колії 1520мм. Це вагони уявляють собою полу суцільнометалеву зварну конструкцію котру утворюють кузов, рама і дах, що спираються на два візка двовісних. Спирання на візки відбувається через п'ятниковий вузол та два бічних ковзуна. Дослідний вагон відрізняється від попередніх серійних вагонів даної моделі встановленими сталевими ковзунами з зазором замість пружно-каткових ковзунів типу ISB-12 фірми «А.Стакі».



Рис. 2. Пружно-катковий ковзун фірми «А.Стакі»

Ковзуни це додаткові бічні опори між рамою вагона і візком, що підтримують від перекидання на п'ятники кузов за несиметричного навантаження його або при дії на нього бічних горизонтальних сил (вітру і відцентрових сил). Вони прикріплюються до шкворневої балці рами вагона (знизу) і до надресорної балці візка (зверху) по обидві сторони.

Бічні ковзуни це складова частина візка, розташовані в кінцевих частинах надресорної балки і призначена для обмеження кутових переміщень між кузовом вагона і візком щодо поздовжньої осі колії.

Класифікація ковзунів які існують в теперішній час наведена в таблиці 1

Таблиця 1

**Класифікація бічних ковзунів за типами**

Наявність зазору між робочими поверхнями	Спосіб встановлення	Форма робочої поверхні	Тип пружного елементу
з зазором	вбудований	плоска	-
		плоска	-
	земний	циліндрична	-
постійний контакт	вбудований	плоска	гвинтова пружина
		плоска	неметалевий пружний елемент
	земний	плоска	гвинтова пружина
		плоска	неметалевий пружний елемент

До основних параметрів і розмірів ковзуна відносять:

а) для всіх типів ковзунів:

1) твердість робочої поверхні, НВ;

2) коефіцієнт тертя робочої поверхні по сталі (для ковзунів по-постійного контакту вказують значення при номінальній статичній силі стискання);

б) для земних ковзунів:

1) маса, кг;

2) габаритні розміри, мм;

в) для ковзунів постійного контакту:

1) установча висота, мм;

2) статичний прогин, мм;

3) статична сила стиснення (мінімальне, номінальне і максимальне значення), кН;

4) динамічний прогин, мм;

5) найменшу вагу кузова вагона, що припадає на візок, кН.

Також ковзуни постійного контакту додатково призначені для створення стабілізуючого моменту опору повороту візка щодо кузова вагона.

Ковзун з зазором це ковзун, що передбачає при установці кузова вагона на візок зазор між робочою поверхнею ковзуна і відповідної поверхнею бічної опори на кузові вагона.

Робоча поверхня ковзуна призначена для сприйняття навантажень і сил тертя, що виникають при контакті з відповідною бічною опорою на кузові вагона. Також робочою поверхнею ковзуна постійного контакту з ковпаком або з ковпаком і з роликами є зовнішня (верхня) поверхня ковпака ковзуна, що контактує з відповідною бічною опорою кузова вагона при встановленні висоти. Робочою поверхнею ковзуна з зазором з роликами є зовнішня (верхня) поверхня ковпака, що контактує з відповідною бічною опорою кузова вагона при його нахилі і замиканні зазору, а в разі роликових ковзунів з зазором, що утворює ролик (ролики), розташований в його верхній частині, що контактує з відповідною бічною опорою кузова вагона при його нахилі і замиканні зазору.

Під час аналізу ефективності і доцільності змін, що вносяться в конструкцію вагона, вирішувалася задача виконання динамічних випробувань з оцінкою показників ходових якостей при русі з різними швидкостями, на характерних ділянках залізниці з відповідними конструкціями і поточним станом.

Умови які були створені для проведення ходових динамічних випробувань відповідали діючій ділянці шляху на залізниці.

Ходові динамічні випробування проводилися як порівняльні, з використанням вагона-еталона, в якості якого використовувався напіввагон мод. 12-1704, що випускається серійно і добре вивчений в експлуатації.

Випробування проводилися в порожньому режимі, так як цей режим є найбільш

несприятливим з точки зору забезпечення стійкості вагона.

У процесі випробувань систематично контролюється технічний стан всіх вузлів дослідних вагонів, особливо ходових частин і гальм.

Випробування проводилися при фактичних температурах, атмосферному тиску і вологості навколишнього середовища, відповідних кліматичному виконанню вагона згідно технічних умов та інструкції по експлуатації.

В процесі ходових динамічних випробувань вимірювалися, аналізувалися і оцінювалися наступні величини і процеси:

- динамічні і статичні прогини ресорного підвищення;
- вертикальні і горизонтальні прискорення в п'ятикових вузлах;
- коефіцієнти вертикальної динаміки обресорених і необресорених мас;
- динамічні бічні (рамні) сили, що діють на букси колісних пар;
- коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок;
- коефіцієнт запасу стійкості вагона від бокового перекидання при русі в кривих;
- кути повороту візків;
- швидкості руху.

До початку випробувань усі встановлені прилади, пристосування і вимірювальні схеми були проградуєвані.

Дослідні вагони були обладнані первинними вимірювальними перетворювачами і пристосуваннями для вимірювання досліджуваних величин і процесів у відповідності з вище перерахованими.

Реєстрація вимірюваних процесів ходових динамічних випробувань виконувалась на прямих, кривих ділянках колії і стрілочних переводах в діапазоні швидкостей 40-120 км/год з інтервалом 10 км/ч, в порожньому режимі.

Сумарна тривалість записів (реалізацій) досліджуваних процесів в кожному інтервалі швидкостей руху на різних відрізках шляху була не менше 300 с.

Обробка даних ходових динамічних випробувань передбачала розшифрування, ідентифікацію та систематизацію параметрів зареєстрованих динамічних процесів. При обробці враховувалися частоти показників якості ходу вагона - до 16 Гц. Частота квантування при обробці дослідних даних на ЕОМ приймалася не менше 100 Гц.

Дослідні дані групувалися за діапазонами швидкостей руху (10 км/год), характерних особливостей ділянок шляху (пряма, крива, стрілки і ін.).

Для оцінки ходових якостей за величинами вимірюваних динамічних показників вагонів за відомим співвідношенням з урахуванням градуєвальних даних визначалися ймовірні

максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених  $K_{до}$  і необресорених  $K_{он}$  мас візків, бічні (рамні) сили, коефіцієнти горизонтальної динаміки (рамна сила в долях осьового навантаження  $H_p/P_0$ ), коефіцієнти запасу стійкості від сходу з рейок  $K_{yc}$  і від бокового перекидання під час руху по кривих ділянках шляху  $K_{yo}$ .

Максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки, рамних сил, прискорення і переміщення визначалися з ймовірністю 0,999 (за миттєвим значенням), мінімальні значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок з ймовірністю не більше 0,0001, а мінімальні значення коефіцієнтів запасу стійкості від бокового перекидання - з ймовірністю 0,001. За величину бокового (рамного) зусилля  $H_p$  приймалася сума рамних зусиль, що діють в один і той же момент часу на бічні рами вагона від кожної букси однієї колісної пари.

Методика розрахунку коефіцієнта запасу стійкості вагона проти сходу з рейок при вповзанні гребеня колеса на рейку під дією динамічних зусиль, що виникають при русі порожнього вагону, коефіцієнта запасу стійкості від бічного перекидання, коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених і необресорених мас вагона, а також коефіцієнта  $K_z$  наведені нижче.

Коефіцієнт вертикальної динаміки  $K_d$  у загальному вигляді визначався за наступним рівнянням:

$$K_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{cm}}, \quad (1)$$

де  $\sigma_d$  - динамічні напруження від вертикального навантаження в перерізі відповідного елемента;

$\sigma_{cm}$  - статичні напруження від вертикального навантаження в тому ж перерізі.

Коефіцієнти вертикальної динаміки визначалися для обресорених ( $K_{до}$ ) і не обресорених ( $K_{он}$ ) мас вагона.

Коефіцієнти горизонтальної динаміки  $K_z$  визначалися за формулою:

$$K_z = \frac{H_p}{P_0}, \quad (2)$$

де  $H_p$  - горизонтальна бічна рамна сила;

$P_0$  - вертикальне статичне навантаження від осі на рейки.

Оцінка стійкості колеса проти сходу з рейок проводилася за формулою:

$$K_{yc} = \varepsilon \frac{P_g}{P_0} \geq [K_{yc}], \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{\text{tg}\beta - \mu}{1 + \mu \text{tg}\beta}, \quad (4)$$

де  $\beta$  - кут нахилу твірної гребеня колеса до горизонтальної осі;  $\beta = 60^\circ$ ;

$\mu$  - коефіцієнт тертя,  $\mu = 0,25$ ;

$P_\sigma$  - вертикальна складова сили реакції набігаючого колеса на головку рейки;

$P_\rho$  - горизонтальна складова сили реакції набігаючого колеса на головку рейки, діюча одночасно з  $P_\sigma$ ;

$[K_{yc}]$  - допустиме значення коефіцієнта запасу стійкості.

$$K_{yc} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu g\beta} \cdot \frac{Q_u \left[ \frac{2(b-a_2)}{l} - K_\sigma^n \frac{(2b-a_2)}{l} + K_\sigma^{nn} \frac{a_2}{l} \right] + q \frac{b-a_2}{l} + \frac{r}{l} H_p}{\mu Q_u \left[ \frac{2(b-a_1)}{l} + K_\sigma^n \frac{a_1}{l} - K_\sigma^{nn} \frac{(2b-a_1)}{l} \right] + \mu q \frac{b-a_1}{l} + \left(1 - \frac{r}{l}\right) \mu H_p} \quad (5)$$

де  $Q_u$  - вертикальна статичне навантаження на шийку осі колісної пари при діючому режимі завантаження вагона, кН;

$q$  - сила тяжіння маси невідресорених частин, яка припадає на колісну пару, кН;

$2b$  - відстань між центрами шийок колісної пари; для типових колісних пар - 2,036 м;

$a_1, a_2$  - відстані від точок контакту коліс з рейками до середини відповідних (набігає, ненабігає) шийок осі колісної пари; для типових колісних пар і типової верхньої будови колії приймаються відповідно 0,250 і 0,220 м;

$l$  - відстань між точками контакту коліс колісної пари з рейками; для типових колісних пар і типового шляху приймається  $l = 1,58$  м;

$r$  - радіус кола катання колеса (для нового колеса приймається  $r = 0,47$  м);

$K_\sigma^n$  - коефіцієнт вертикальної динаміки на колесі, що набігає; значення коефіцієнта приймається позитивним в разі розвантаження коліс;

$K_\sigma^{nn}$  - коефіцієнт вертикальної динаміки на колесі, що не набігає; значення коефіцієнта приймається позитивним в разі розвантаження коліс;

$H_p$  - горизонтальна бічна рамна сила.

Значення  $H_p$  приймаються позитивними в разі направлення її в сторону колеса, що набігає.

Оцінка поперечної стійкості вагона від бокового перекидання в кривих розраховується за формулою:

$$K_{yo} = \frac{K_\sigma^n - K_\sigma^p + 2}{K_\sigma^n + K_\sigma^p} \geq [K_{yo}] \quad (6)$$

де  $K_\sigma^n$  і  $K_\sigma^p$  - максимальні можливі значення коефіцієнтів вертикальної динаміки (перевантаження і розвантаження) навантаженої і розвантаженої сторін візка вагона відповідно, певні по напруженням (деформацій) бічних рам.

Значення  $K_\sigma^n$  і  $K_\sigma^p$  приймаються позитивними в разі розвантаження коліс.

Гранично допустимі значення динамічних показників вагонів представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

**Гранично допустимі значення динамічних показників**

Показник	Величина показника*	
	Вантажний вагон	
	порожній режим	
Коефіцієнт вертикальної динаміки рами кузова	0,75/0,70 {0,7}	
Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка	0,90/0,95 {0,85}	
Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамні сили в долях осьового навантаження $P_\sigma, H/P_0$ )	0,40/0,40 {0,7}	
Коефіцієнт запасу стійкості від сходу вагона з рейок при ймовірності його значення		
0,00001	1,3/1,15 {-}	
0,0001	1,3/1,25 {1,25}	
0,001	1,3/1,45 {-}	
0,01	1,3/1,6 {-}	
Коефіцієнт запасу стійкості вагона від прокидання при русі по кривим ділянкам путі при ймовірності його значення		
0,001:		
- зовні кривої	1,3/1,8 {1,5}	
- всередину кривої	1,2/1,8 {1,2}	
Вертикальне прискорення кузова в долях $g(J_b)$	0,75/- {-}	
Горизонтальне прискорення кузова в долях $g(J_b)$	0,55/- {-}	

Оцінка ходових динамічних якостей вагона проводилася шляхом зіставлення отриманих динамічних показників зі шкалою оцінок ходу залізничних екіпажів, а також відповідними показниками вагона-еталона (піввагона моделі 12-1704).

Нижче на графіках наведені максимальні величини основних динамічних показників, за якими визначалась якість руху вагона і безпеку його експлуатації в порожньому режимі, зареєстрованих в ході випробувань.

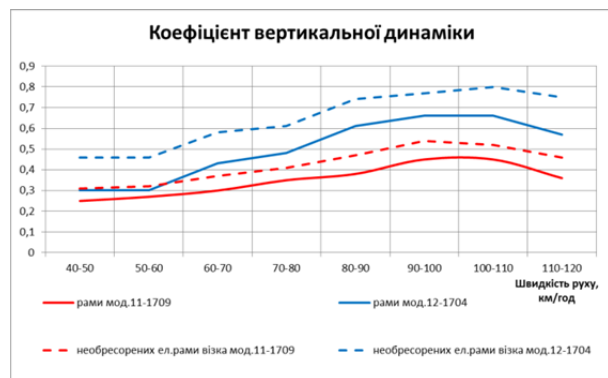


Рис. 3. Графік порівняння коефіцієнта вертикальної динаміки дослідних вагонів

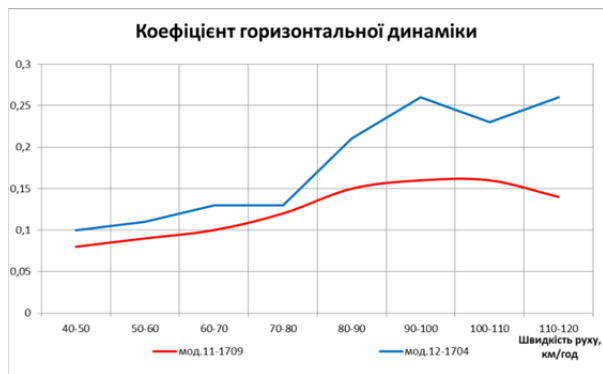


Рис. 4. Графік порівняння коефіцієнта горизонтальної динаміки дослідних вагонів

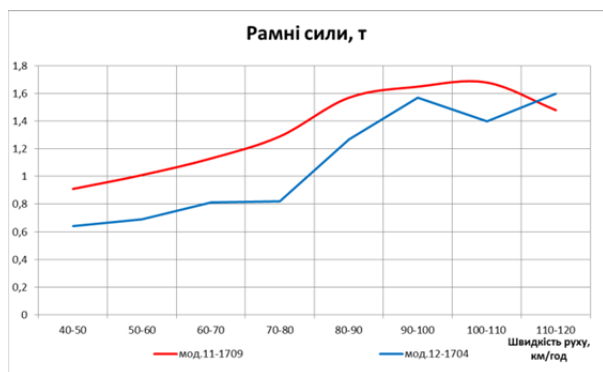


Рис. 5. Графік порівняння рамних сил дослідних вагонів

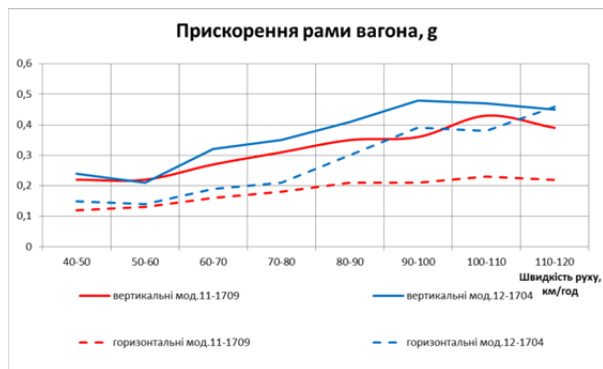


Рис. 6. Графік порівняння вертикальних і горизонтальних прискорень рами дослідних вагонів

Коефіцієнти запасу стійкості колеса від сходу з рейок в діапазоні швидкостей від 40 до 125 км / год для вагона критого спеціалізованого моделі 11-1709 і піввагона моделі 12-1704 в порожньому режимі, визначалися розрахунковим шляхом з ймовірністю 0,0001.

На рис. 7 наведені графічні залежності коефіцієнтів стійкості колеса від сходу з рейок для вагона критого спеціалізованого моделі 11-1709 і піввагона моделі 12-1704 в порожньому режимі.

Коефіцієнт запасу стійкості вагона критого моделі 11-1709 від перекидання під час руху по кривих ділянках шляху при ймовірності його значення 0,001 склав 2,6 назовні кривої при дозволеному значенні 1,5 і 2,0 - всередину кривої

при дозволеному значенні 1,2, а для піввагона моделі 12-1704-2,0 і 1,6 відповідно.

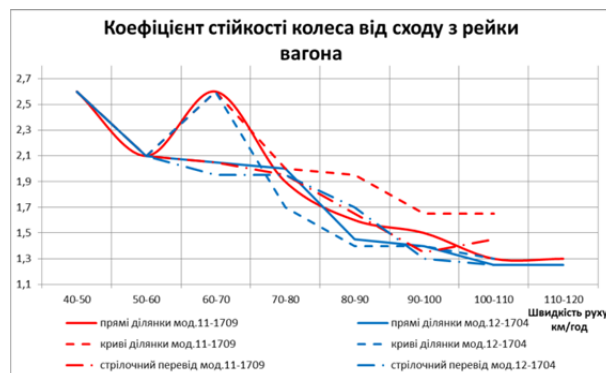


Рис. 7. Графік порівняння коефіцієнта стійкості колеса від сходу з рейки в порожньому стані для дослідних вагонів

Аналіз результатів порівняльних ходових динамічних випробувань вагона критого спеціалізованого моделі 11-1709 і піввагона моделі 12-1704, наведених на рис. 3-7, показав, що у всьому діапазоні швидкостей, аж до конструкційної, значення показників якості ходу вагона критого спеціалізованого моделі 11-1709 задовольняють нормативної документації, не поступаються показникам якості ходу піввагона моделі 12-1704, а в деяких випадках перевершують їх.

**Висновок.** На підставі виконаного аналізу результатів, отриманих при проведенні типових випробувань вагона критого спеціалізованого моделі 11-1709, призначеного для перевезення легковагових упакованих вантажів, що вимагають захисту від атмосферних опадів обладнаного сталевими ковзунами з зазором замість пружно - каткових ковзунів типу ISB-12 фірми «А.Стакі», можна зробити наступні висновки:

- дослідний вагон при швидкостях руху аж до конструкційної по ходовим якостям в порожньому режимі задовольняє вимогам і може експлуатуватися без обмеження на магістральних шляхах загального користування;

- внесені зміни в конструкцію вагона критого спеціалізованого моделі 11-1709 ефективні і доцільні і можуть бути рекомендовані для впровадження в серійне виробництво.

### Л і т е р а т у р а

1. Fomin, O. Development and application of cataloging in structural design of freight car building / O.V. Fomin, O.V. Burlutsky, Yu.V. Fomina / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 2 – P.250-256.
2. Gerlici, J. Slipping and skidding occurrence probability decreasing by means of the friction controlling in the wheel-braking pad and wheel-rail contacts [Text] / J. Gerlici, M. Gorgunov, K. Kravchenko, R. Domin, M. Kovtanets, T. Lack // Manufacturing Technology. – 2017. – Vol. 17. – P. 179-186.
3. Мороз, В.І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва

- ДП «Укрспецвагон» / В.І. Мороз, В.В.Фомін, О.В. Фомін // 36. наук. праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2008.- Вип. 99.- С. 72-81.
4. Кельріх, М.Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів [Текст]/ М.Б. Кельріх, В.І.Мороз, О.В. Фомін // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СХУ ім. В.Даля, 2014. – № 2(210). – С. 94-103.
  5. Osmak, V. Classification isothermal rolling stock with the main criteria thermal properties fence body [Text] / V. Osmak / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 3 – P.265-267.
  6. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model [Text] / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2015, №1. – P.45-48.
  7. Tadeusz, Niezgoda. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software / Tadeusz Niezgoda, Wieslaw Krason, Michal Stankiewicz // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2012. – Vol. 19, No. 4. – P. 495 – 502.
  8. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas [Text] / M. Kelrykh, O. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2014, №6. – P.64-67.

#### References

1. Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomina Yu.V. (2015) Development and application of cataloging in structural design of freight car building // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, no. 2, pp. 250–256.
2. Gerlici, J., Gorgunov, M., Kravchenko, K., Domin, D., Kovtanets, M., & Lack, T. (2017) Slipping and skidding occurrence probability decreasing by means of the friction controlling in the wheel-braking pad and wheel-rail contacts. «Manufacturing Technology», Vol. 17 No 2. pp. 179-186.
3. Moroz, V. I. Vznachenja perspektivnih naprjavkiv udoskon alenja konstrukcii napivvagoniv virobnictva DP «Ukrspets vagon»/ V.I. Moroz, V. V. Fomin, O.V. Fomin // Zb. nauk. prac.- Kharkiv: UkrDAZT, 2008.- Vip. 99.- P. 72-81.
4. Kelrikh, M. B., Moroz, V. I., Fomin, O. V. (2014). Strukturno-funktsionalne opysannia konstruktsii modulua kuzova suchasnykh universalnykh napivvahoniv. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia, 2 (210), 94–103.
5. Osmak, V. Classification isothermal rolling stock with the main criteria thermal properties fence body [Text] / V. Osmak / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 3 – P.265-267.
6. Fomin, O. (2015). Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry», 1, 45-48.
7. Panchenko S.V., Butko T.V, Prokhorchenko A.V., & Parkhomenko L.O. (2016). Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises. Naukovyi Visnyk NHU, 2, 93–99.
8. Kelrykh M., Fomin O. (2014). Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry», 6, 64-67.

#### **Фомин А.В., Осьмак В.Е. Лебедев В.С. Анализ применения стальных скользунов с зазором в конструкции крытых вагонов для перевозки легковесных грузов**

*В настоящее время в Украине и странах СНГ увеличились объемы перевозки, тарно-штучных и легковесных пакетированных грузов. Условия перевозки этих грузов требуют формирования парка специализированных крытых вагонов. Для создания и поставки на железной дороге Украины и других стран СНГ данного типа вагонов проводится их разработка, производство и испытания. При этом недостаточное финансирование закупок не позволяет формировать соответствующий парк вагонов с новыми образцами конструкций. Поэтому возникает необходимость пополнять парк вагонами с учетом имеющихся конструкций вагонов. В качестве таких конструкций могут быть использованы крытые специализированные вагоны со скользунами с зазорами. Для обеспечения необходимого уровня ходовых качеств указанных вагонов есть необходимость комплексно исследовать функционирование замены контактных скользунов на скользуны с зазором. В статье представлены результаты таких исследований.*

**Ключевые слова:** вагон крытый специализированный, стальной скользунов с зазором, ходовые динамические испытания, динамические качества, устойчивость против схода с рельсов устойчивость против опрокидывания.

#### **Fomin O., Osmak V., Lebedev V., Analysis of the use of steel slips with a gap in the construction of covered wagons for the transport of light loads.**

*Currently, in Ukraine and CIS countries, the volumes of transportation, containerized and lightweight cargo packages have increased. Conditions for the transportation of these goods require the formation of a fleet of specialized wagons. To create and supply rail cars of Ukraine and other CIS countries of this type of cars, their development, production and testing are carried out. At the same time, insufficient financing of purchases does not allow to form an appropriate fleet of wagons with new designs. Therefore, there is a need to replenish the fleet with wagons taking into account existing wagon structures. As such designs can be used roofed specialized cars with slips with gaps. To ensure the necessary level of running qualities of the mentioned cars, there is a need to comprehensively investigate the functioning of the replacement of contact slips on slips with a gap. The results of such studies are presented in the article.*

**Key words:** special-purpose covered car, steel bearing with clearance, dynamic running tests, dynamic qualities, stability against derailment, stability against tipping.

**Фомін О.В.** – д.т.н., професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ, м. Київ.

(fominaleksejviktorovic@gmail.com)

**Осьмак В.Є.** – к.т.н., доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство», ДУІТ, м.Київ.

**Лебедев В.С.** - інженер кафедри «Вагони та вагонне господарство», ДУІТ, м. Київ.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 15.04.2018.

УДК 629.4.02.001.76

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ПОПЕРЕДНЬО-СТИСКАЮЧОГО КОНСТРУКТИВУ В РАМИ НЕ ТЯГОВИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ВРАХУВАННЯМ ДІЇ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ

Фомін О.В., Стецько А.А.

## COMPUTER MODELING OF IMPLEMENTATION OF THE PRE-CONTAINING CONSTRUCTION IN AREA OF NON-TYPICAL RAILWAY VEHICLES WITH ACCOUNT OF VERTICAL LOADING

Fomin O., Stetsko A.

*В статті запропоновані теоретичні положення щодо комп'ютерного моделювання впровадження попередньо-стискаючого конструктиву в рами не тягових залізничних транспортних засобів з врахуванням дії вертикальної навантаженості. Також в роботі наведено методичку визначення оптимальних параметрів попереднього натягу (стиску). Більш поглиблено проведено аналіз ефективності впровадження попередньо напружено-деформованого стану для вагона-цистерни, зокрема до рами. Проведено комплексні дослідження напружено-деформованого стану рами вагона-цистерни в сучасному програмному комплексі КОМПАС-3D V16.*

**Ключові слова:** вантажні вагони, попередній напружений і/або деформований стан, комп'ютерне моделювання.

**Вступ.** Для економіки України вантажний вагон відіграє ключову роль як засіб транспортування вантажів, а також як кінцевий продукт машинобудування [1, 4-6]. Сьогодні в Україні функціонує більше 15 підприємств, які займаються будівництвом вантажних вагонів та понад 20 підприємств, які спеціалізуються на виготовленні окремих складових для них, на яких у сукупності працює близько 100 тис. працездатного населення.

Проте сьогодні питання оновлення вантажного рухомого складу залишається вкрай важким [2, 3, 8]. Потенціал України з продажу вантажних вагонів не реалізується, що перешкоджає надходженню коштів в бюджет країни. Причинами, які заважають отримувати позитивний економічний результат є наступні [1, 7, 9]: не реалізовані можливості із зниження тари вантажних вагонів та з підвищення вантажопідйомності; необґрунтовано дорогі матеріали та комплектуючі у конструкціях вантажних вагонів, що використовуються;

недостатньо ефективні схеми використання вантажного парку.

Наразі після тривалої експлуатації значна частина залізничних вагонів має ознаки фізичного зносу. Виникає необхідність підсилення конструкцій з причини фізичного старіння і під час технічного обслуговування та ремонту.

Проаналізувавши джерела [1, 3, 4, 10, 11] перспективними напрямками конструктивного вирішення цих проблем можуть бути:

- розроблення та впровадження в конструкції вантажних вагонів перспективних технічних рішень;
- розроблення методів пошуку та реалізації ресурсозберігаючих виконань конструкцій вантажних вагонів;
- пошук в конструкціях вантажних вагонів місць з недостатніми та надлишковими запасами міцності.

Істотний потенціал з впровадження може мати метод створення попередньо напруженого та/або деформованого стану конструкцій. Є результати успішного вирішення схожих проблем в інших галузях промисловості.

**Постановка проблеми.** Головним несучим елементом вантажних вагонів є рама [1, 3, 4, 7] в якості основних складових елементів якої можна виділити: хребтову, проміжні та поздовжні, шворневі, лобові (кінцеві) балки. Результати аналізу перспективних для вагонобудування профілів [1, 7] та також досвіду інших галузей машинобудування [7, 12, 13] вказали на доцільність розгляду питання впровадження труб круглого перерізу в якості несучих складових вагонів.

У роботі [12] представлені результати та особливості проведених досліджень з впровадження

труб круглого перерізу в якості складових елементів кузовів вантажних вагонів, які підтвердили правильність та перспективність такого напрямку.

Разом з тим одним з ефективних методів вдосконалення конструкції вантажних вагонів вважається створення попередніх напружень, що досягаються впровадженням попередньо-стискаючого конструктиву в рами не тягових залізничних транспортних засобів з врахуванням дії вертикальної навантаженості.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Теоретико-експериментальним дослідженням міцності, стійкості та жорсткості попередньо-напружених сталевих конструкцій, присвячені роботи Р.В. Алдушкіна, Є.І. Белені, Д.Ф. Белого, В.В. Бірюлева, А.А. Васильєва, Ю.В. Гайдарова, І.Г. Клінова, В.Ф. Мареніна, Б.М. Второва, А.М. Петрова, М.М. Стрелецького, О.Л. Шагіна, М.Ю. Ізбаша їх учнів та інших учених. Проблема поліпшення несучих конструкцій рухомого складу займалася багатьох наукових шкіл та вчених, а саме В.А. Лазарян, В.М. Бубнов, Л.А. Манашкін, Є.П. Блохін, В.Д. Данович, О.М. Савчук, Г.І. Богомаз, Н.Ю. Науменко, В.М. Філіпов, В.Л. Горобець, О.М. Пшінько, Й.Г. Барбас, М.Б. Кельріх, М.І. Горбунов, В.П. Ткаченко, С.Ю. Сапронова, Ю.В. Дьомін, О.Л. Голубенко, С.В. Панченко, І.Е. Мартинов, С.В. Мямлін та інші.

Проте розгляд сучасного науково-технічного матеріалу з даного питання засвідчив відсутність змістовної інформації з розгляду такого завдання для залізничного транспорту в цілому, та нетягових залізничних транспортних засобів зокрема. Тому доцільно та актуально провести дослідження, які будуть спрямовані на розроблення методів створення керованого напруженого та/або деформованого стану конструкцій вантажних вагонів та їх елементів.

**Мета статті.** Представлення особливостей теоретичного обґрунтування щодо впровадження попередньо-стискаючого конструктиву в рами не тягових залізничних транспортних засобів з врахуванням дії вертикальної навантаженості.

Також в роботі наведено методуку визначення оптимальних параметрів попереднього натягу (стиску). Більш поглиблено авторами було проведено аналіз ефективності впровадження попередньо напруженого-деформованого стану для вагона-цистерни, зокрема до рами. Так були проведені комплексні дослідження напружено-деформованого стану рами вагона-цистерни в сучасному програмному комплексі КОМПАС-3D V16.

**Результати досліджень.** Сучасний парк вантажних вагонів характеризується різноманіттям їх типів і конструкцій, що викликано необхідністю задоволення різних вимог перевезення вантажів. Парк вантажних вагонів складається з напіввагонів, вагонів-платформ, вагонів-цистерн, вагонів-хоперів, критих, ізотермічних та вагонів спеціального призначення.

Кузова вантажних вагонів можна класифікувати за наступними ознаками в залежності від:

- роду перевезених вантажів;
- конструкції рами;
- матеріалу обшивки;
- конструкції елементів для завантаження і вивантаження вантажів.

Конструкція кузова того чи іншого типу вагона визначається його призначенням, тому кузова різних типів вагонів по своїй конструкції різні, але у всіх них багато спільного.

Рама є однією з частин вагона і слугує основою кузова. На рамі кріпиться автотягач і гальмівне обладнання вагона. Сама вона через п'ятники опирається на ходові частини і сприймає всі види навантажень, що діють на кузов. Рама повинна володіти достатньою міцністю і жорсткістю, бути простою за конструкцією, надійною в експлуатації, доступною для технічного огляду, саме тому вона виконується з найбільш міцних і матеріаломістких прокатних профілів. Для зазначених конструкцій вантажних вагонів (рис. 1), попередньо пророблені можливості впровадження ПНДС та запатентовані відповідні технічні рішення.

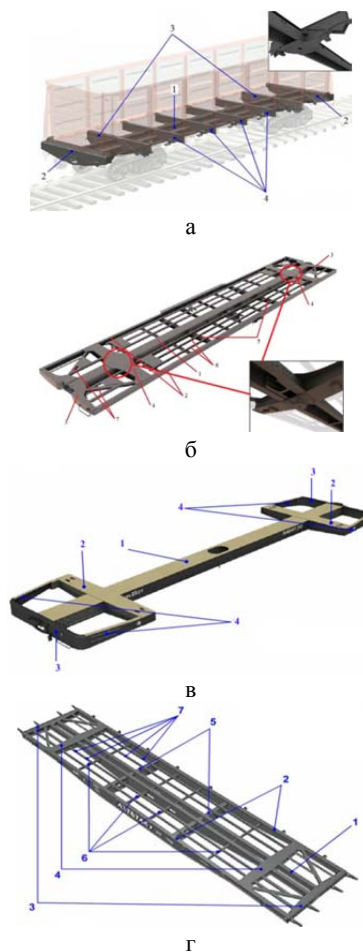


Рис. 1. Рами вагонів: а – напіввагон, б – критий вагон, в – вагон-цистерна, г – вагон-платформа

У всіх типів вагонів рама складається з трьох основних несучих балок:

1. хребтової;
2. бічних поздовжніх;
3. набору поперечних: кінцевих, шворневих та проміжних.

Хребтова балка слугує для кріплення на ній автозчепного та гальмівного обладнання. Через автозчепний пристрій вона передає поздовжні сили на інші вагони. Але оскільки вона жорстко пов'язана і з іншими елементами кузова, то поряд з поздовжніми сприймає також і вертикальні сили. Її виготовляють з міцних прокатних Z-подібних, швелерних і двотаврових профілів.

В даній статті наведено методику визначення оптимальних параметрів попереднього натягу (стиску). Більш поглиблено авторами було проведено аналіз ефективності впровадження попередньо напруженого-деформованого стану для вагона-цистерни, зокрема до рами. Так були проведені комплексні дослідження напружено-деформованого стану рами вагона-цистерни в сучасному програмному комплексі КОМПАС-3D V16.

Застосування міцнісного аналізу методом скінчених елементів найбільш ефективно в разі аналізу складних конструкцій і схем навантажень, вирішення яких класичним методом може виявитися досить трудомістким.

Метод скінчених елементів (МСЕ, або FEM - Finite Element Method) в даний час широко використовується для вирішення різних завдань механіки деформованого твердого тіла, зокрема, для виконання експрес-розрахунків на міцність на етапі 3D - проектування конструкцій.

Суть методу полягає в розбитті твердотільної моделі на кінцеве число підобластей (елементів), складанні і подальшому вирішенні системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Більшість сучасних САД-систем має спеціальні інструменти, призначені для автоматизації подібних розрахунків.

Прикладна бібліотека APM FEM призначена для виконання експрес розрахунків твердотільних об'єктів в системі КОМПАС-3D і візуалізації результатів цих розрахунків.

До складу APM FEM входять інструменти підготовки деталей і збірок до розрахунку, завдання граничних умов і навантажень, а також вбудовані генератори кінцево-елементної (KE) сітки (як з постійним, так і зі змінним кроком) і постпроцесор. Цей функціональний набір дозволяє змоделювати твердотільний об'єкт і комплексно проаналізувати поведінку розрахункової моделі при різних впливах з точки зору статички, власних частот, стійкості і теплового навантаження.

Для створення кінцево-елементного представлення об'єкту в APM FEM передбачена функція генерації KE-сітки, при виклику якої відбувається відповідне розбиття об'єкта із заданим кроком. Якщо створена розрахункова модель має

складні нерівномірні геометричні переходи, то може бути проведено так зване адаптивне розбиття. Для того, щоб результат процесу був більш якісним, генератор KE-сітки автоматично (з врахуванням заданого користувачем максимального коефіцієнта згущення) варіює величину кроку розбиття.

Для виконання розрахунку побудовано в КОМПАС-3D V16 модель дослідного макету рами вагона-цистерни (масштаб 1:10) рис. 2.

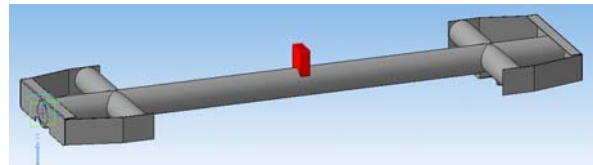


Рис. 2. Комп'ютерна модель дослідного макету рами вагона-цистерни

Розглядалося декілька варіантів прикладення вертикальних сил: одно-, дво- та триточково. Для прикладення сили стиску по торцям рами: 1/2 внутрішнього діаметра (по середині), 1/3, 1/5 та 1/7. Як показали результати комп'ютерного розрахунку найбільш вигідним є варіант, коли стиск хребтової рами (труби) відбувається по нижній кромці (рис. 3). Це можна пояснити тим, що рама (труба) буде найбільше вигинатися, ти самим волокна будуть мати максимальний розтяг, чим спричиняють найбільше сприйняття (погашення) дії вертикального зусилля.

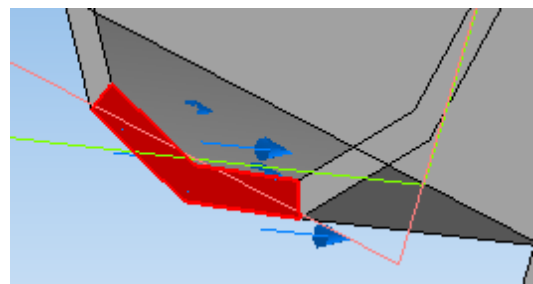


Рис. 3. Стиснення торців хребтової рами (труби) по нижній кромці

Саме для даного варіанта і проводилися розрахунки з визначення оптимальних параметрів попереднього натягу (стиску).

Запускалася прикладна бібліотека APM FEM, яка знаходиться в розділі «Расчет и построение» Менеджера бібліотек. На наступному етапі було встановлено закріплення рами (жорстке та рухоме закріплення).

Прикладено розподілене навантаження через адаптер до середини рами (рис. 2) (як найбільш небезпечного перерізу) хребтової балки (виконаної з труби зовнішнім діаметром 57 мм з товщиною стінки 3 мм). Для створення попередньо-напруженого стану рами, по її торцях до нижньої частини труби прикладалося розподілене навантаження. У випадку розрахунку рами без

попереднього напруження – величини сил прийняти рівними 0.

Для розбивки моделі на елементи виконувалася команда бібліотеки «Генерація КЭ сетки». Модель містить 115861 скінчений елемент та 38805 вузлів. Після побудови сітки виконувалась команда бібліотеки «Расчёт». В меню «Тип расчёта» вибирали «Статически расчёт». Для візуалізації та аналізу результатів розрахунку виконувалась команда бібліотеки «Карта результатов».

На першому етапі був проведений розрахунок рами без попереднього напруження, тобто величини сил прийняті рівними 0. Модель рами виконана зі сталі 20, для якої межа текучості 235 МПа (задається програмою самостійно). Необхідно було встановити при якій граничній величині сили, що діє вертикально вниз на модель буде забезпечена її міцність. Проведено розрахунки для величин сил: 13000, 13500, 14000 та 14500 Н. Результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

## Результати розрахунків першого етапу

№	Величина попереднього стиснення, Н	Величина вертикального навантаження, Н	Величина напружень, МПа
1	0	13000	207,6
2	0	13500	215,6
3	0	14000	223,5
4	0	14500	231,6
5	0	15000	239,8

Дана вимога виконується при силі рівній 14000 Н (~1,4 т), в цьому випадку найбільша величина напружень рівна 223,5 МПа. Результати статичного розрахунку для оптимального варіанта наведено на рис. 4.

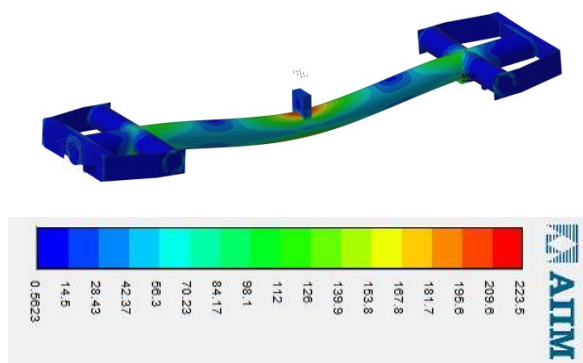


Рис. 4. Оптимальний розрахунковий режим/варіант 1 етапу

На другому етапі необхідно було встановити величину попереднього стиснення моделі рами, при якій спостерігаються найменші напруження в конструкції, за умови дії вертикальної сили величиною визначеною вище. Проведено розрахунки для величин сил: 500, 1000, 1500, 2000 та 2500 Н. Результати наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

## Результати розрахунків другого етапу

№	Величина попереднього стиснення, Н	Величина вертикального навантаження, Н	Величина напружень, МПа
1	500	14000	221,8
2	1000	14000	219,6
3	1500	14000	217,7
4	2000	14000	218,2
5	2500	14000	219,2

Як видно з таблиці 2 оптимальною величиною стиснення є величина 1500 Н при якій напруження в конструкції є мінімальними, а саме 217,7 МПа. Результати статичного розрахунку для оптимального варіанта наведено на рис. 5.

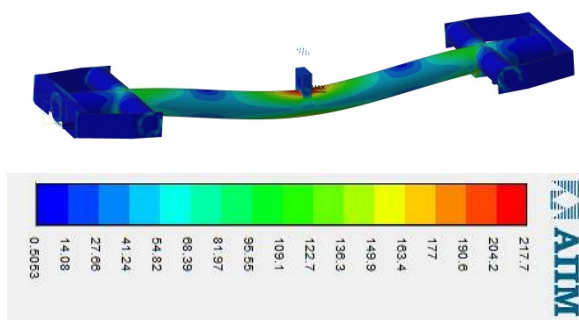


Рис. 5. Оптимальний розрахунковий режим/варіант 2 етапу

Додатково було встановлено, що при дії тільки сил стиснення без вертикального навантаження рівень напружень в конструкції буде рівним 18,2 МПа. Результати статичного розрахунку для даного варіанта наведено на рис. 6.

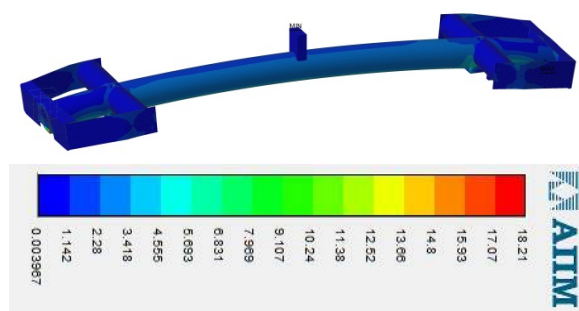


Рис. 6. Оптимальний розрахунковий режим/варіант 2 етапу

На третьому етапі необхідно було встановити величину вертикальної сили, що діє на модель рами сумісно з попереднім стисненням величиною 1500 Н, за умови забезпечення міцності конструкції. Проведено розрахунки для величин сил: 14000, 14200, 14400, 14500, 14600, 14700 та 14800 Н. Результати наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

**Результати розрахунків третього етапу**

№	Величина попереднього стиснення, Н	Величина вертикального навантаження, Н	Величина напружень, МПа
1	1500	14000	217,7
2	1500	14200	221,5
3	1500	14400	224,2
4	1500	14500	225,8
5	1500	14600	227,9
6	1500	14700	229,4
7	1500	14800	231

Як видно з таблиці 3 оптимальною величиною вертикальної сили є величина 14500 Н при якій напруження в конструкції є максимально наближеними до тих, що виникають в моделі рами до застосування попереднього напруження (225,8 МПа). Результати статичного розрахунку для оптимального варіанта наведено на рис. 7.

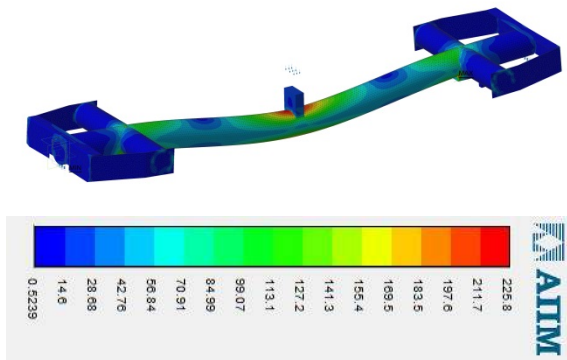


Рис. 7. Оптимальний розрахунковий режим/варіант 3 етапу

Проаналізувавши розглянуті вище розрахунки, можна зробити висновок про те, що застосування попереднього напруження позитивно впливає на несучу спроможність конструкції. Вантажопідйомність даної конструкції підвищується на 3,45 % або ж 5000 Н (~0,5 т), без використання будь-яких додаткових матеріалів. В межах реального вагона дасть достатньо вагомий приріст (~5 т), тим самим підвищуючи економічну ефективність його використання.

Точність розрахунків в АРМ FEM можна підвищити зменшенням розміру елементів сітки, проте, занадто дрібна сітка призводить до значного підвищення часу розрахунків.

Застосування міцнісного аналізу методом скінчених елементів найбільш ефективно в разі аналізу складних конструкцій і схем навантажень, вирішення яких класичним методом може виявитися досить трудомістким.

Наступним кроком в підтвердженні розрахованого вище є підготовка до експериментального випробування. Так вже розроблено методику випробування та створено

універсальний стенд для випробування рам вагон різного поперечного перерізу (рис. 8).

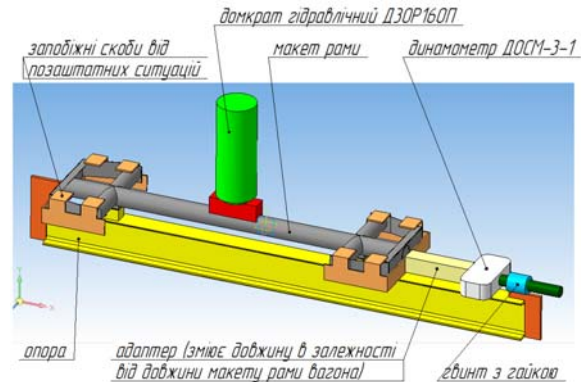


Рис. 8. 3D модель експериментального стенду

**Висновки.** Отримані та представлені у статті результати дозволяють стверджувати про ефективність впровадження запропонованого наукового підходу зі створення направлено попередньо напруженого і/або деформованого стану в рамках не тягових залізничних транспортних засобів з врахуванням дії вертикальної навантаженості.

Визначено оптимальні параметри попереднього натягу (стиску) для рами вагона-цистерни. Проведено комплексні дослідження напружено-деформованого стану рами вагона-цистерни в сучасному програмному комплексі КОМПАС-3D V16.

**Л і т е р а т у р а**

1. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43.
2. Panchenko, S.V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises / S.V. Panchenko, T.V. Butko, A.V. Prokhorchenko, L.O. Parkhomenko // Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovi Visnyk. – 2016. – Vol. 2. – P. 93–99.
3. Fomin, O.V. Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages / O.V. Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University. 2015, Issue 2, p.68-76.
4. Lovska, A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision / A. A. Lovska, A. Rybin. – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 3 – p. 4–8.
5. Фомін, О.В. Аналіз конструктивних складових вантажних вагонів для створення спрямованого напружено-деформованого стану [Текст] / О.В. Фомін, А.А. Стецько // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 31. – К.: ДЕТУТ, 2018. – С. 148-158.
6. Тартаковский, Э.Д. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог: монография / Э.Д. Тартаковский, С.Г. Грищенко,

- Ю.Е. Калабухин, А.П. Фалендыш. – Луганск: Ноулідж, 2011. – 173 с.
7. Фомін, О.В. Розподілене зовнішнє поверхнєве зміцнення вагонних конструкцій методом навивання [Текст] / О.В. Фомін, А.А. Стецько, В.Є. Осьмак // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2017. – № 2 (68). – С. 156-165.
  8. Mohyla, V. The use of biofuel on the railway transport / V. Mohyla, I. Vasyliiev, E. Nozhenko // Int. Sci. J. "Transport Problems". – Gliwice, Volume 7, Issue 1, 2012. – P. 21 – 26.
  9. Фомін, О.В. Можливості застосування попередньо напружених конструкцій в залізничному машинобудуванні / О.В. Фомін, М.І. Горбунов, А.А. Стецько, В.В. Коваленко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДЕТУТ, 2016. – Вип. 29. – С. 37-53.
  10. Gorbunov, N. Method of determining the parameters of improved railway brake equipment / N. Gorbunov, E. Kravchenko, O. Prosvirova, O. Nozhenko, M. Kovtanets, S. Mokrousov, S. Kara // TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2015, Vol. 15, No.2, 33-38.
  11. Фомін, О.В. Систематизація конструктивно-технологічного впровадження попередньо напружених і/або деформованих складових вантажних вагонів за критерієм діючих навантажень на етапах життєвого циклу [Текст] / О.В. Фомін, А.А. Стецько, В.В. Коваленко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. №4 (234) – Северодонецьк – 2017. – С. 219-226.
  12. Ткаченко, О.А. Основы проектирования металлических конструкций: курс лекций. В 3 ч. Ч. 1. / О.А. Ткаченко. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2004. – 116 с.
  13. Айнабеков, А.И. Экспериментальный анализ колебаний предварительно напряженных магистральных трубопроводов / А.И. Айнабеков, У.С. Сулейменов, К.В. Аврамов, А.Б. Молдагалиев, М.А. Камбаров, Т.Т. Серикбаев, Х.А. Абшенов // Проблемы машиностроения. – 2016. – Т. 19, № 1. – С. 21-27.
  14. // Scientific Bulletin of National Mining University . 2015 (2). P. 68-76.
  4. Lovska A., Rybin A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016, no. 3, pp. 4–8.
  5. Fomin, O.V., Stetsko A.A. Analiz konstruktyvnykh skladovykh vantazhnykh vahoniv dlya stvorennya spryamovanoho napruzhenno-deformovanoho stanu. Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnolohiy Ministerstva osvity i nauky Ukrainy: Seriya «Transportni systemy i tekhnolohiy». – Vyp. 31. – K.: DETUT, 2018. – P. 148-158.
  6. Tartakovskij E.D., Grishhenko S.G., Kalabuhin Yu.Ye., Falendysh A.P. Metody ocenki zhiznennogo cikla tjavogogo podvizhnogo sostava zheleznyh dorog: monografija [Methods for evaluation of traction rolling stock of the life cycle: a monograph]. Lugansk, Noulidzh Publ., 2006, 173 p.
  7. Fomin, O.V., Stetsko, A.A., Os'mak, V.Y. Rozpodilene zovnishnye poverkhneve zmitsnennya vahonnykh konstruksiy metodom navyvannya. Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu. – 2017. – № 2 (68). – P. 156-165.
  8. Mohyla V., Vasyliiev I., Nozhenko E. The use of biofuel on the railway transport. Int. Sci. J. "Transport Problems". – Gliwice, Volume 7, Issue 1, 2012. – P. 21 – 26.
  9. Fomin, O.V., Horbunov M.I., Stetsko A.A., Kovalenko V.V. Mozhlyvosti zastosuvannya poperedn'o napruzhenykh konstruksiy v zaliznychnomu mashynobuduvanni. Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho ekonomiko-tekhnolohichnoho universytetu transportu Ministerstva osvity i nauky Ukrainy: Seriya «Transportni systemy i tekhnolohiy». – Kyviv: DETUT, 2016. – Vyp. 29. – P. 37-53.
  10. Gorbunov, N., Kravchenko E., Prosvirova O., Nozhenko O., Kovtanets M., Mokrousov S., Kara S. Method of determining the parameters of improved railway brake equipment. TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2015, Vol. 15, No.2, 33-38.
  11. Fomin, O.V., Stetsko, A.A., Kovalenko, V.V. Systematyzatsiya konstruktyvno-tekhnolohichnoho vprovadzheniya poperedn'o napruzhenykh i/abo deformovanykh skladovykh vantazhnykh vahoniv za kryteriyem diyuchykh navantazhen' na etapakh zhyttyevoho tsyклу. Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni V. Dalya. №4 (234) – Syeverodonets'k – 2017. – P. 219-226.
  12. Tkachenko, A.A. Osnovy proektirovanija metallicheskih konstruksij [Fundamentals of Designing metallis structures]: Lectures. At 3 hours. Part 1. / A.A. Tkachenko // – Khabarovsk: Publishing House DVHUPS, 2004. – 116 p.
  13. Aynabekov, A.I., Suleymenov, U.S., Avramov K.V., Moldagaliev A.B., Kambarov M.A., Serikbaev T.T., Abshenov, Kh.A. Experimental analysis of vibrations of prestressed main pipelines. Problemy mashinostroeniya, 2016, vol. 19, no. 1, pp. 21-27.

### References

**Фомин А.В., Стецко А.А. Компьютерное моделирование внедрения предварительного-сжимающего конструктива в рамы не тяговых железнодорожных транспортных средств с учетом действия вертикальной нагруженности**

*В статье предложены теоретические положения по компьютерному моделированию внедрения предварительно давящего конструктива в рамы не тяговых железнодорожных транспортных средств с учетом действия вертикальной нагруженности. Также в работе приведена методика определения оптимальных параметров предварительного натяжения (сжатия). Более углубленно проведен анализ эффективности внедрения предварительно напряженного деформированного состояния для вагона-цистерны, в частности к раме. Проведены комплексные исследования напряженно-деформированного состояния рамы вагона-цистерны в современном программном комплексе КОМПАС-3D V16.*

**Ключевые слова:** грузовые вагоны, предварительный напряжений и/или деформированное состояние, компьютерное моделирование.

**Fomin O., Stetsko A. Computer modeling of implementation of the pre-containing construction in area of non-typical railway vehicles with account of vertical loading.**

*The article proposes concerning the computer modeling of the introduction of pre-compression constructs in the frame of non-traction railway vehicles with the consideration of the effect of vertical loading are proposed. Also in work is given the method of determining the optimal parameters of the previous tension (compression). The analysis of the effectiveness of the introduction of a pre-stressed-deformed state for a tank-wagon, in particular a frame, was carried out more deeply. Complex researches of the stress-strain state of the tank-tank frame in the modern software complex KOMPAS-3D V16 are carried out.*

**Keywords:** freight wagons, previous tense and / or deformed state, computer simulation.

**Фомін О.В.** – д.т.н., професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій Київський інститут залізничного транспорту, м. Київ, e-mail: fomin1985@list.ru.

**Стецько А.А.** – старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій Київський інститут залізничного транспорту, м. Київ, e-mail: stetsko.anton@mail.ru.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 20.03.2018.

УДК 625.031

## АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА ПО ДВУМ СПЕЦИФИЧНЫМ УЧАСТКАМ ПУТИ

Хаусер В., Герлицы Ю., Кравченко Е.А., Ноженко Е.С., Лоулова М.

## ANALYSIS OF THE TRAM CAR RIDE ALONG TWO SPECIFIC TRACK SECTIONS

Hauser V., Gerlici J., Kravchenko K., Nozhenko O., Loulova M.

*В статье рассмотрено взаимодействие трамвайного вагона с рельсовой колеей при проезде двух специфических участков пути, а именно, проезда крестовины стрелочного перевода и входа в кривую малого радиуса с помощью разработанных инновационных поверхностей катания колеса и рельса. В этом контексте авторами предложено добавить на внешней стороне колес дополнительную поверхность катания меньшего диаметра, предназначенную для проезда кривых, радиус которых обычная колесная пара не может проехать без скольжения. Дополнительная поверхность катания колеса вступает в работу при проезде по рельсу специфической геометрии, находящейся в переходной кривой до и после кривого участка пути малого радиуса. Исследование процесса переноса точек контакта «колесо-рельс» на гребень или дополнительную поверхность производилось с помощью программы SIMPACK.*

**Ключевые слова:** колесная пара вагона трамвая, двойная поверхность катания, рельсовая колея городского транспорта, кривая малого радиуса, крестовина стрелочного перевода.

**Введение.** Одно из требований, предъявляемых к трамваям, является способность проезда кривых малого радиуса. Во многих европейских городах, например, на колеи с шириной 1000 мм, в эксплуатации часто встречаются кривые участки пути радиусом 50 м. Однако в эксплуатации при значительной нехватки места в городах известны повороты, радиус которых может составлять 18 м. Поэтому при конструировании вагона необходимо соблюдение требования о возможности проезда кривого участка пути с минимальным радиусом 17 м [1, 2].

Достижение указанного радиуса является сложной задачей, так как именно в кривых участках пути происходит повышенное сопротивление движению [3], увеличение износа рабочих поверхностей контакта «колесо - рельс» и значительный шум [4]. В настоящее время для улучшения вписывания в кривые участки пути и снижения неблагоприятных факторов активно

применяют подачу смазочного материала на поверхность рельса [5]. Также используют шумопоглощающие элементы в основании и креплении рельсов. Эти мероприятия направлены на снижение негативного воздействия, однако не устраняют на причины их происхождения. В современных конструкциях тележек трамвайных вагонов колеса одной оси закреплены с помощью подшипников, с возможностью независимого вращения. В некоторых случаях такая концепция позволяет улучшить вписывание в кривые участки пути, однако без сложной электронно-механической системы управления не позволяет обеспечить безопасное движение как в кривых, так и в прямых участках пути [6].

Для решения поставленной задачи авторами статьи предложена новая конструкция колёсной пары (рис. 1, 2), выполненная как одно твёрдое тело с расширенными возможностями качения [7, 8]. За счёт применения предложенной дополнительной поверхности катания, расположенной на внешней поверхности колёс с меньшим радиусом катания, колёсная пара позволяет проходить участки пути без скольжения, которые обычная колёсная пара пройти не может.

Во время входа предложенной колесной пары в кривую, происходит процесс изменения расположения точки контакта с оригинальной поверхности катания на дополнительную. Этот процесс аналогичный процессу движения по крестовине стрелочного перевода и перемещении точки контакта с поверхности катания колеса на гребень [9].

*Целью статьи* является сравнение двух аналогичных процессов с помощью имитационного моделирования движения трамвайного вагона [10].

**Движение предлагаемой колёсной пары в кривом участке пути специфической геометрии.**

Предлагаемое решение основано на выражении, определяющем радиус кривой  $R$  [мм],

который обычная колесная пара может теоретически проехать без скольжения [7]:

$$R = \frac{2sr}{\Delta r}, \quad (1)$$

где  $2s$  - расстояние между кругами катания колес одной колёсной пары, мм;  $r$  - номинальный радиус колеса, мм;  $\Delta r$  - величина максимального изменения радиуса круга катания, мм.

Геометрия профиля колес для разных городов специфична, что вызвано разницей в условиях эксплуатации. Одним из перспективных профилей колёс, который находится в эксплуатации, является профиль КР-1 [11]. При рассмотрении свойств колёсной пары с данным профилем колёс, радиус которых  $r = 340$  мм в колеи с профилем рельс NT1, получим, что расстояние между кругами катания колёс  $2s = 1061,9$  мм и величина  $\Delta r = 5,5$  мм. Согласно выражения (1) рассматриваемая колёсная пара теоретически проезжает без скольжения кривой участок пути с радиусом  $R = 65,64$  м. Для некоторых участков путей, расположенных, например, на перекрестках или оборотных кольцах, полученный радиус является недостаточным для эффективного вписывания в кривую.

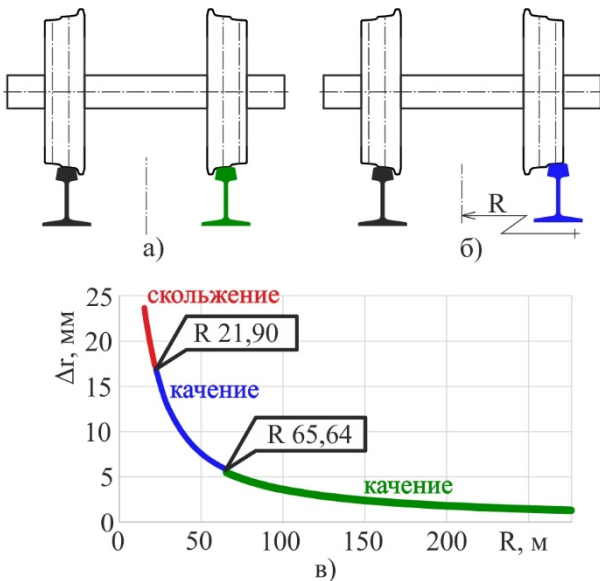


Рис. 1. Колесная пара с дополнительной поверхностью катания: а – во время движения по выражению (1), б – во время движения по выражению (2), в – разделение радиусов кривых с точки зрения качения

Минимизировать величину  $R$  в выражении (1) предложено с помощью увеличения знаменателя, но при этом не нарушая оригинальную геометрию профиля, как показано на рис. 1 а, б. Таким образом выражение (1) преобразовано в следующую форму:

$$R = \frac{(2s + y)r}{\Delta r + z}, \quad (2)$$

где  $y$  - поперечное расстояние между оригинальной и дополнительной поверхностями катания колеса, мм;  $z$  - вертикальное расстояние между оригинальной и дополнительной поверхностями катания колеса, мм.

Кривой участок пути с радиусом меньшим, чем полученного из выражения (1) построен специфично. Форма рельса в поперечном и вертикальном направлениях выполнена таким образом, что повторяет оригинальную и дополнительную поверхности катания разработанной конструкции колеса. Дополнительная поверхность катания колеса вступает в работу (или выходит с работы) при проезде рельса специфической геометрии, находящегося в переходной кривой до и после кривого участка пути малого радиуса. Данное техническое решение позволяет колесной паре создать достаточную разницу радиусов кругов катания колес. Требуемая и полученная величина  $\Delta r$  в зависимости от радиуса кривой показана на рис. 1в.

В описанном процессе происходит изменение положения точки контакта «колесо - рельс», с оригинальной поверхности катания на дополнительную. Траектории точек контакта колес с рельсами первой колесной пары вагона получены на основе имитационного моделирования и представлены на рис. 2.

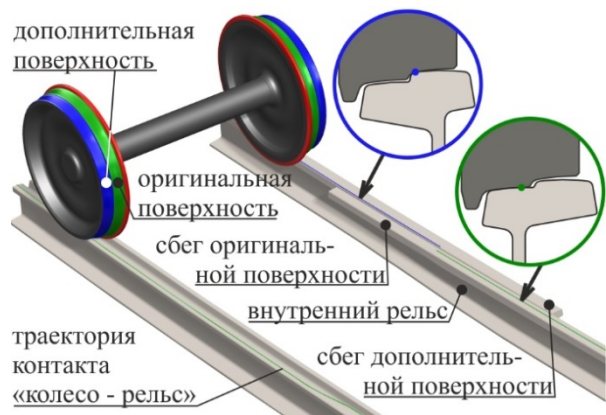


Рис. 2. Визуализация входа колесной пары в кривой участок в месте, определённого по выражению (1) с показанной траекторией точки контакта на поверхностях рельсов

Процесс переноса точек опирания колес с поверхности катания на гребень в предложенной системе аналогичен процессу переноса точек контакта при движении в крестовине стрелочного перевода колесной пары в условиях городского движения.

**Движение колёсной пары в крестовине стрелочного перевода.**

Одна из особенностей колеи городского транспорта является движение в крестовине стрелочного перевода [9], которое значительно отличается от движения по магистральным

железнодорожным дорогам [12]. Меньшая ширина трамвайного колеса не обеспечивает двух-точный контакт поверхности катания колеса с сердечником и усовиком (рис. 3), необходимый для преодоления зазора для гребня при съезде на боковой путь, как общепринято на магистральной железной дороге.

Трамвайное колесо перед проездом крестовины перемещает свою точку контакта с поверхности катания на гребень за счёт движения по зоне перекатывания рельса с переменной геометрией. В крестовине колесо катится по гребню, что позволяет поверхности катания преодолеть зазор для гребня при съезде на боковой путь. Далее, с помощью рельса с переменной геометрией поперечного сечения, точка контакта колеса перемещается на поверхность катания.

Визуализация проезда крестовины трамвайным колесом в условиях городского движения показана на рис. 4. На поверхностях рельсов показаны траектории точек контакта первой колесной пары вагона, полученные имитационным моделированием движения трамвайного вагона.

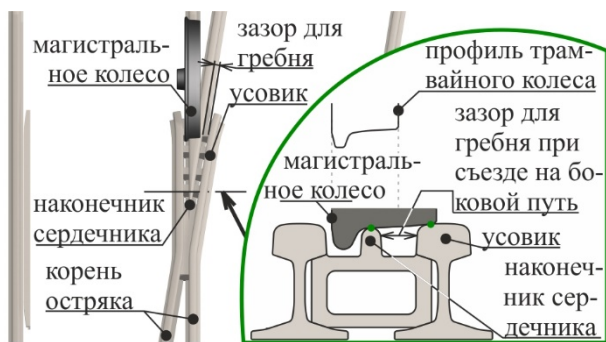


Рис. 3. Схема проезда крестовины стрелочного перевода магистральной железной дороги

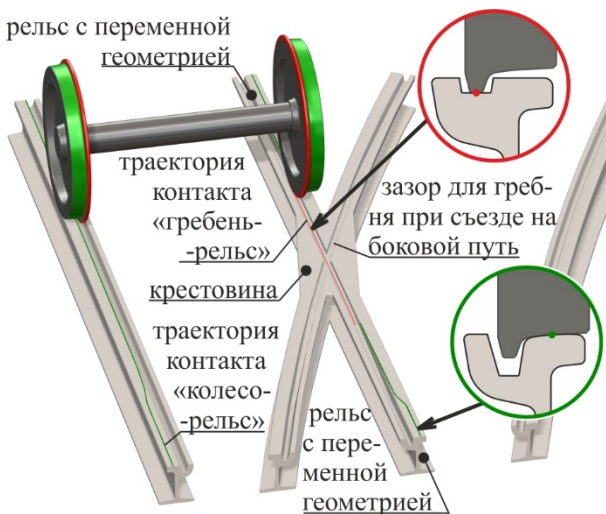


Рис. 4. Визуализация проезда колесной пары крестовины стрелочного перевода с указанной траекторией точки контакта на поверхностях рельсов

При проезде крестовины стрелочного перевода одно колесо колёсной пары катится гребнем по зоне перекатывания рельса с переменной геометрией поперечного сечения. Такое движение аналогично проезду неровности некоторой высоты (в данном случае равной 14,6 мм). Это приводит к возбуждению дополнительных колебаний подвижного состава, что негативно сказывается на его динамике. Кроме того, увеличивается разница диаметров колес, и колёсная пара, несмотря на движение в прямом участке пути, стремится двигаться по кривой. Радиус кривой можно определить по модифицированной формуле (1):

$$R = \frac{(2s - y)r}{\Delta r + h} \quad (3)$$

где  $h$  - высота гребня, мм;  $y$  - поперечное расстояние между поверхностью катания колеса и гребнем, мм.

Сравнивание двух аналогичных процессов переноса точки контакта при проезде крестовины стрелочного перевода и входа в кривую малого радиуса произведено с помощью имитационного моделирования движения трамвайного вагона в программе SIMPACK.

#### Имитационное моделирование движения вагона

Рассмотрено движение подвижного состава подобного трамвайному вагону ТЗ с усовершенствованными тележками и механизмом радиальной установки колесных пар. Подробное описание концепции конструкции тележки опубликовано в [13]. Движению в колее шириной 1000 мм моделировалось при скорости 10 км/ч, без тяги и торможения.

В случае проезда стрелочного перевода моделировалось движение по прямому участку пути. Рельсы с переменной геометрией поперечного сечения, соединённые с крестовиной, приняты с эксплуатации длиной 800 мм и расположены на правом рельсе. Продольный наклон нижней части канавки 1:32, закругление кромки рельса сбегает на расстоянии 600 мм [9]. Для моделирования рельса с переменной геометрией создано 9 профилей сечения в специфичной форме необходимой для обеспечения совместимости с расчетной программой [14]. Следующим участком пути, длиной 800 мм, является крестовина, которую под углом 23° пересекает рельс бокового пути, что приводит к резкому изменению геометрии рельса. Для её корректной обработки создано 101 профиль сечения, расположенных в диапазоне  $\pm 250$  мм от точки пересечения осей рельсов.

В случае входа в кривую моделировалось движение предложенной колёсной пары с дополнительной поверхностью катания на участке переходной кривой формы клотоиды с длиной 10 м, расположенной между прямым участком пути и кривой радиусом 25 м. При этом возвышение рельса высотой 33,6 мм реализовано отводом внешнего

рельса синусообразной формы с началом за 5 м до переходной кривой. Геометрия пути определена согласно стандарта TNŽ 73 63 61 [15].

Специфическая переменная геометрия предлагаемой конструкции внутреннего рельса длиной 1,5 м расположена в переходной кривой на радиусе, рассчитанном по формуле (1), при котором колесная пара полностью наехала на внешний рельс (рис. 2). Продольный уклон сбег оригинальной поверхности катания рельса и набега дополнительной поверхности, длиной 750 мм, составляет 1:250. Момент переноса точки контакта с оригинальной поверхности катания на дополнительную происходит в середине специфичной части рельса. Для определения её геометрии создано 12 профилей сечения в специфичной форме.

Имитационное моделирование движения трамвайного вагона выполнено в программе SIMPACK 9.10.1.

**Анализ результатов исследований**

Сравнение результатов двух рассматриваемых случаев движения колёсной пары (через стрелочный перевод и вход в кривую) представлено в виде графиков (рис. 5 – 9). Нулевым значением пути принимаем место переноса точки контакта первой колесной пары вагона с поверхности катания колеса на гребень или на дополнительную поверхность профиля колеса.

На графиках (рис. 5 - 9) приняты следующие сокращенные обозначения колес:

- 1Л – левое колесо первой колёсной пары;
- 1П – правое колесо первой колёсной пары;
- 2Л – левое колесо второй колёсной пары;
- 2П – правое колесо второй колёсной пары.

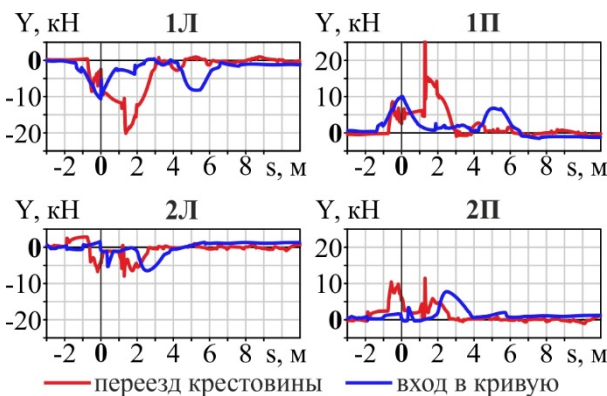


Рис. 5. Величина боковых сил колес первой тележки вагона

В случае движения колёсной пары через крестовину, момент въезда колеса на рельс переменной геометрии приводит к возрастанию боковых сил на расстоянии  $s = -0,8$  м от нулевой точки пути. На расстоянии  $s = 1,3$  м наблюдается скачок боковой силы, созданный переносом точки контакта с гребня на поверхность катания колеса.

Момент переноса точки контакта предлагаемой колесной пары в случае входа в кривую также создает увеличение боковой силы, однако меньшей величины.

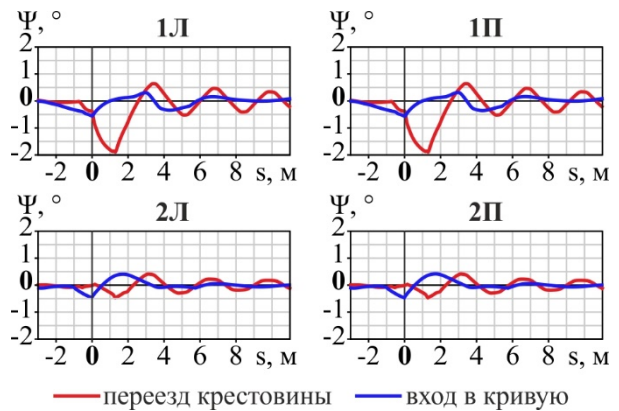


Рис. 6. Углы набега колес первой тележки вагона

Из графиков (рис. 6) видно, что в обоих случаях перенос точек контакта приводит к повышению угла набега. При движении в стрелочном переводе максимальное значение угла набега наблюдается на первой колёсной паре и возрастает почти до 2°. При входе в кривую значение угла набега также увеличивается, однако максимальное значение наблюдается на второй колёсной паре и не превышает 0,5°.

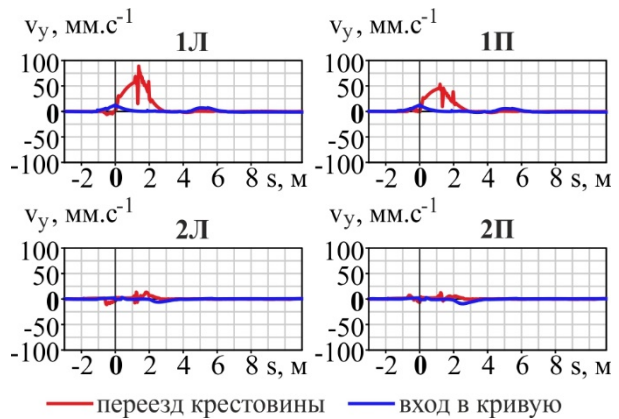


Рис. 7. Поперечная скорость скольжения колес первой тележки вагона

Графики, представленные на рисунке 7 показывают, что перенос точки контакта значительно повышает поперечную скорость скольжения при проезде крестовины и может достигнуть значения 100 мм·с<sup>-1</sup>. Это вызвано тем, что на данном участке пути колесо едет по гребню, соответственно, увеличивается разница диаметров колес и колёсная пара, несмотря на движение в прямом участке пути, стремится двигаться по кривой, радиус которой определяется формулой (3).

Перенос точек контакта при входе в кривую при использовании предложенной специфической конструкции колеса и рельса также повышает поперечную скорость скольжения, но не больше  $15 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$ .

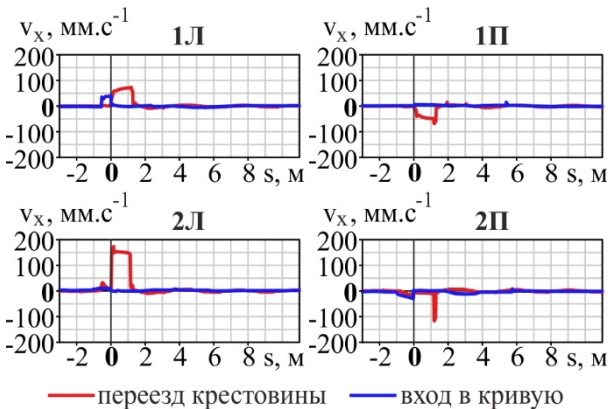


Рис. 8. Продольная скорость скольжения колес первой тележки вагона

Аналогичный процесс происходит с продольной скоростью скольжения (рис. 8). При проезде крестовины стрелочного перевода на некоторых колёсах эта величина превышает  $100 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$ . В свою очередь вход в кривую не создаёт таких критических значений. В момент перехода на дополнительную поверхность катания продольная скорость скольжения на набегающем колесе составляет  $40 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$ . Однако далее она стремится к нулю.

Это показывает, что разработанная переменная геометрия профиля рельсов на участке входа в кривую является целесообразной и позволяет повысить эффективность вписывания в кривой участок пути.

Одним из основных параметров оценки срока службы является величина износа, которую можно оценить по формуле, отображающей интенсивность изнашивания рабочих поверхностей:

$$W_p = |T_x \cdot w_x| + |T_y \cdot w_y| + |M_z \cdot \varphi_z| \quad (4)$$

где  $W_p$  – показатель износа,  $H$ ;  $T_x$  – продольная сила скольжения,  $H$ ;  $w_x$  – продольное скольжение;  $T_y$  – поперечная сила скольжения,  $H$ ;  $w_y$  – поперечное скольжение;  $M_z$  – момент скольжения относительно вертикальной оси,  $H \cdot \text{м}$ ;  $\varphi_z$  – ротационное скольжение относительно вертикальной оси,  $\text{м}^{-1}$ .

Согласно графиков (рис. 9), вход трамвайного вагона в кривую с использованием инновационных специфических профилей колеса и рельса приводит к меньшему износу по сравнению с проездом колёсной пары крестовины стрелочного перевода.

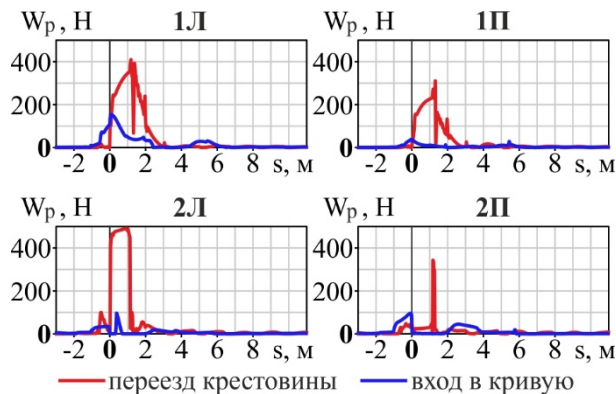


Рис. 9. Величина суммарного износа контактов «колесо - рельс» первой тележки вагона

**Выводы.** На основе результатов имитационного моделирования движения трамвайного вагона определено, что процесс изменения положения точки контакта колеса с рельсом в предлагаемом случае входа в кривой участок малого радиуса с помощью рельса переменной геометрии происходит с меньшими боковыми силами, углами набегания и скольжениями в контакте «колесо - рельс». По результатам исследования установлено, что износ предлагаемой системы входа в кривую со специфической геометрии колеса и рельса в 4 раза меньший, чем износ при проезде крестовины стрелочного перевода в условиях эксплуатации.

#### Литература

1. Evans J.R. Optimising the wheel/rail interface on a modern urban rail system In *Vehicle System Dynamics* / J.R. Evans, T.K.Y. Lee, C.C. Hon // 2009. pp. 119-127. ISSN 1744-5159.
2. Jenks CH.W. *Track Design Handbook for Light Rail Transit* / CH.W. Jenks, C.F. Jencks, S.A. Parker, M. Khadka, E.P. Delaney, E.M. Chafee // National Academy of Sciences. 2012. - 686 p. ISBN 978-0-309-25824-2 <https://www.nap.edu/read/22800/chapter/1>.
3. Tkachenko V. Research into resistance to the motion of railroad undercarriages related to directing the wheelsets by a rail track / Tkachenko V., Saponova S., Kulbovskiy I., Fomin, O. // *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 5, Iss. 7-89, 2017, 65-72 pp. ISSN: 17293774.
4. Smetanka L., Analysis of contact stresses of theoretical and worn profile by using computer simulation / Smetanka, L., Šťastniak P. // *Manufacturing Technology*, Vol. 17, Iss. 4, 2017, pp. 580-585. ISSN: 12132489.
5. Marqueteeken, A. Urban Track. Cost effective track maintenance, renewal & refurbishment methods / A. Marqueteeken, A. Van Leuven, F. KOPF, // *Preventive maintenance of embedded tram tracks Rail wear in curves and special trackwork for trams*. 2008. - 44p. [http://www.urbantrack.eu/images/site/deliverables/d0208\\_stib\\_m24.pdf](http://www.urbantrack.eu/images/site/deliverables/d0208_stib_m24.pdf).
6. Sýkora, P. Experimentální kolejové vozidlo Dopravní fakulty Jana Pernera / P. Sýkora, T. Lelek, O. Sadílek // *Současné problémy v kolejových vozidlech 2017 – XXIII*.

- konference s mezinárodní účastí. ISBN 978-80-7560-085-1.
7. Заява на патент на винахід № а 2017 01589, кл. В 60В Е01В 11/36. Колісна пара візка рейкового транспортного засобу та колія криволінійної ділянки / В. Хаусер, Ю. Герліці, Т. Лак, М. Лоулова, О.С. Ноженко, К.О. Кравченко, О.В. Просвірова // заявл. 20.02.2017– 11 с.
  8. Nozhenko O. Reducing tram car's curve-pasing resistance by double treaded wheel profile / O. Nozhenko, V. Hauser, K. Kravchenko, M. Loulová, O. Fomin, // Manufacturing Technology, Vol. 18, No. 1, 2018, pp. 79-83. ISSN: 1213-2489.
  9. Tramvajové výhybky, komponenty, příslušenství. Dt-výhybkárna a strojírna. 2017 - Режим доступа: <https://www.dtmv.cz/dtvs/cz/produkty/tramvajove-vyhybky/tramvajove-vyhybky-kolejove-konstrukce-pro-tramvajovou-dopravu/>.
  10. Dižo J. Use of multibody system dynamics as a tool for rail vehicle behaviour diagnostics. Diagnostyka / J.Dižo, M. Blatnický // Vol. 17, Iss. 2, 2016, pp. 9-16. ISSN: 16416414.
  11. Zelenka J. Vztah kolo-kolejnice v podmínkách tramvajového provozu / J. Zelenka, M. Kohout, // 46. zasedání odborné skupiny Tramvajové tratě Sdružení Dopravních podniků České republiky Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2012 - 42 s.
  12. UIC CODE 510-2 OR Trailing stock: wheels and wheelsets. Conditions concerning the use of wheels of various diameters. UIC, Paris, 2004.
  13. Hauser V. Proposal of a steering mechanism for tram bogie with three axle boxes / V. Hauser, O. Nozhenko, K. Kravchenko, M.Loulová, J. Gerlici, T. Lack // Procedia Engineering. - ISSN 1877-7058. - Vol. 192 (2017), online, s. 289-294.
  14. Nozhenko O. Definícia profilu kolesa a koľajnice so špecifickou geometriou / O. Nozhenko, K. Kravchenko, V. Hauser., M. Loulová // Perner's contacts, No. 2., vol. XII, 2017. - s. 81 – 93, ISSN 1801-674X.
  15. TNŽ 73 63 61. Geometrická poloha a usporiadanie koľaje železničných dráh rozchodu 1000 mm, ŽSR: Bratislava. 2007. – 37 p.

#### References

1. Evans J.R. Optimising the wheel/rail interface on a modern urban rail system In Vehicle System Dynamics / J.R. Evans, T.K.Y. Lee, C.C. Hon // 2009. pp. 119-127. ISSN 1744-5159.
2. Jenks CH.W. Track Design Handbook for Light Rail Transit / CH.W. Jenks, C.F. Jencks, S.A. Parker, M. Khadka, E.P. Delaney, E.M. Chafee // National Academy of Sciences. 2012. - 686 p. ISBN 978-0-309-25824-2 <https://www.nap.edu/read/22800/chapter/1>.
3. Tkachenko V. Research into resistance to the motion of railroad undercarriages related to directing the wheelsets by a rail track / Tkachenko V., Sapronova S., Kulbovskiy I., Fomin, O. // EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies. Vol. 5, Iss. 7-89, 2017, pp. 65-72. ISSN: 17293774.
4. Smetanka L., Analysis of contact stresses of theoretical and worn profile by using computer simulation / Smetanka, L., Šťastniak P. // Manufacturing Technology, Vol. 17, Iss. 4, 2017, pp. 580-585. ISSN: 12132489.
5. Marqueteeken, A. Urban Track. Cost effective track maintenance, renewal & refurbishment methods / A. Marqueteeken, A. Van Leuven, F. KOPF, // Preventive maintenance of embedded tram tracks Rail wear in curves and special trackwork for trams. 2008. – 44 p. [http://www.urbantrack.eu/images/site/deliverables/d0208\\_stib\\_m24.pdf](http://www.urbantrack.eu/images/site/deliverables/d0208_stib_m24.pdf).
6. Sýkora, P. Experimental rolling stock of the Jan Perner Faculty of Transport / P. Sýkora, T. Lelek, O. Sadílek // Current problems in rail vehicles 2017 – XXIII. Conference with international participation. ISBN 978-80-7560-085-1.
7. Patent application № а 2017 01589, cl. V 60V E01V 11/36. Railway bogie wheelset and curved track segment / V. Hauser, J. Gerlici, T. Lack, M. Loulová, O. S. Nozhenko, K.O. Kravchenko, O.V. Prosvirova // submitted. 20.02.2017– 11 p.
8. Nozhenko O. Reducing tram car's curve-pasing resistance by double treaded wheel profile / O. Nozhenko, V. Hauser, K. Kravchenko, M. Loulová, O. Fomin, // Manufacturing Technology, Vol. 18, No. 1, 2018, pp. 79-83. ISSN: 1213-2489.
9. Tram car switches, components, accessories. Dt-výhybkárna a strojírna. 2017 – Access mode: <https://www.dtmv.cz/dtvs/cz/produkty/tramvajove-vyhybky/tramvajove-vyhybky-kolejove-konstrukce-pro-tramvajovou-dopravu/>.
10. Dižo J. Use of multibody system dynamics as a tool for rail vehicle behaviour diagnostics. Diagnostyka / J.Dižo, M. Blatnický // Vol. 17, Iss. 2, 2016, pp. 9-16. ISSN: 16416414.
11. Zelenka J. Relationship wheel-rail in the tram car operation conditions / J. Zelenka, M. Kohout, // 46. meeting of the Tramcar Track Expert Group of the Czech Republic Transport Companies Association, University of Pardubice, Jan Perner Faculty of Transport, 2012 - 42 p.
12. UIC CODE 510-2 OR Trailing stock: wheels and wheelsets. Conditions concerning the use of wheels of various diameters. UIC, Paris, 2004.
13. Hauser V. Proposal of a steering mechanism for tram bogie with three axle boxes / V. Hauser, O. Nozhenko, K. Kravchenko, M.Loulová, J. Gerlici, T. Lack // Procedia Engineering. - ISSN 1877-7058. - Vol. 192 (2017), online, p. 289-294.
14. Nozhenko O. Definition of specific wheel and rail profiles / O. Nozhenko, K. Kravchenko, V. Hauser., M. Loulová // Perner's contacts, No. 2., vol. XII, 2017. - p. 81 – 93, ISSN 1801-674X.
15. TNŽ 73 63 61. Geometrical location and track layout of the 1000 mm gauge railroads, ŽSR: Bratislava. 2007. 37 p.

#### Хаусер В., Герліці Ю., Кравченко К.О., Ноженко О.С., Лоулова М. Аналіз руху трамвайного вагону по двох специфічних ділянках колії

*У статті розглянуто взаємодію трамвайного вагона з рейковою колією при проїзді двох специфічних ділянок колії, а саме, проїзду хрестовини стрілочного перевалу і входу в криву малого радіуса за допомогою розроблених інноваційних поверхонь катання колеса і рейки. У цьому контексті авторами запропоновано додати на зовнішній стороні коліс додаткову поверхню катання меншого діаметру, призначену для проїзду кривих, радіуса яких звичайна колісна пара не може проїхати без ковзання. Додаткова поверхня катання*

колеса вступає в роботу при проїзді по рейці специфічної геометрії, що знаходиться в перехідній кривій до і після кривої ділянки колії малого радіусу. Дослідження процесу перенесення точок контакту «колесо-рейка» на гребінь або додаткову поверхню проводилося за допомогою програми SIMPACK.

**Ключові слова:** трамвайна колісна пара, подвійна поверхня катання, рейкова колія міського транспорту, крива малого радіусу, хрестовина стрілочного переводу.

**Hauser V., Gerlici J., Kravchenko K., Nozhenko O., Loulova M. Analysis of the tram car ride along two specific track sections**

*This paper deals with the tramcar bogie interaction with two specific track sections. Ride along point frog and entering into small radius curve by proposed innovation system of additional treads and rail surfaces are analysed. In this context, authors propose to create an additional tread on the outer side of wheels. The additional tread have a smaller diameter than the original one and is used in track curves, which can't be passed by a conventional wheelset without creep. This additional tread comes into operation by riding along a variable rail geometry, which is located in the transition curve on entrance to the curved track. Research of*

*the rail-wheel contact point relocation from the original tread to the flange or to the additional one carried out by SIMPACK simulation software.*

**Keywords:** tramcar wheelset, double tread, urban lines, small radius track, point frog.

**Хаусер В.** – к.т.н., науковий співробітник кафедри «Транспорт та підйомно-транспортні машини», Жилінський університет.

**Герліці Ю.** – проф., завідувач кафедри «Транспорт та підйомно-транспортні машини», Жилінський університет.

**Кравченко К.О.** – к.т.н., доцент кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та ПТМ», СХУ ім. В.Даля.

**Ноженко О.С.** – к.т.н., докторант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та ПТМ», СХУ ім. В.Даля.

**Лоулова М.** – к.т.н., науковий співробітник кафедри «Транспорт та підйомно-транспортні машини», Жилінський університет.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 1.04.2018.

УДК 656.078.81/.87

## КЛІЄНТООРІЄНТОВАНІСТЬ, ЯК НОВІТНІЙ ПІДХІД ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Цейко Б.О.

## CIRCULARITY, A NEW APPROACH TO ORGANIZATION OF CARGO TRANSPORTATION ON RAILWAY TRANSPORT

Tseiko B.

*У статті розглянуто питання щодо клієнтоорієнтованості, - як до новітнього підходу в сфері організації вантажоперевезень на залізничному транспорті в Україні. Виділено типи організаційної структури вантажоперевезень, проведено огляд ринку транспортних послуг у сфері залізничних вантажоперевезень. Розглянуто особливості клієнтоорієнтованого підходу до вантажоперевезень залізницею.*

**Ключові слова:** клієнтоорієнтованість, клієнтоорієнтований підхід, клієнтоорієнтовані перевезення.

**Вступ.** В умовах високої конкуренції у сфері вантажоперевезень на залізничному транспорті, а також, насичення ринку транспортних послуг, необхідно застосовувати та впроваджувати принципово нові підходи до перевізного процесу. Одним з таких – є клієнтоорієнтований підхід.

**Постановка проблеми.** Наразі для роботи в сфері управління перевізними процесами застосовуються підходи, в яких головним елементом перевізної ланки є вантаж. На практиці це зумовлює те, що залізниця здійснивши вантажоперевезення, не отримує необхідну інформацію від своїх клієнтів – вантажовласників, вантажовідправників та вантажоодержувачів, стосовно якості умов оформлення вантажу та інших організаційних аспектів взаємодії їх із залізницею. У зв'язку з цим постає питання застосування таких підходів до вантажоперевезень, які дадуть можливість застосовувати нові методи взаємодії залізниці з клієнтом для здійснення більш якісного перевізного процесу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематику застосування клієнтоорієнтованості та клієнтоорієнтованого підходу висвітлюють у своїх роботах та працях автори різних сфер, направлень, та видів діяльності.

Теоретичні підходи до поняття «клієнтоорієнтація» висвітлюються Т. З. Вантух у [1].

Методологічні аспекти клієнтоорієнтованого підходу у діяльності підприємств індустрії розкриває П. Петриченко в [2].

Клієнто-орієнтованість, як головну складову сучасної інноваційної стратегії, висвітлює у своїй статті [3]. Редька С.І.

**Мета статті.** Розглянути клієнтоорієнтованість, як новітній підхід до організації вантажоперевезень на залізничному транспорті.

**Результати досліджень.** Результати досліджень компанії Roffey Park (Великобританія) показали, що існує прямий зв'язок між практикою управління, змінами в компаніях та їх здатністю бути успішними у відносинах з клієнтами у кризовий період[1]. За результатами опитування 900 керівників експертами було виявлено, що концентрація уваги виключно на власних проблемах у 56% випадків призводить до зростання збитковості компаній, у 49% випадків – до нарощування конфліктності у колективі, у 44% випадків – до зниження мотивації персоналу. Використання клієнтоорієнтованого підходу виявилось обов'язковим атрибутом успішного управління підприємствами в європейських країнах. Адже, розроблення нових продуктів і послуг, що мають відповідати потребам клієнтів, економічним та фінансовим умовам в країні, є одним з ключових елементів у створенні довготривалих відносин з клієнтами[2].

Клієнтоорієнтований підхід до вантажоперевезень на залізничному транспорті передбачає наступні засади:

- Індивідуальний підхід;
- Зручність;
- Лояльність;

- Ефективність;
- Класифікація;
- Публічність.

Графічне відображення клієнтоорієнтованого підходу до вантажоперевезень залізницею, зображено на рис. 1.

В контексті питання організаційної структури вантажоперевезень можна відмітити, що вона поділяється, на декілька видів.

Можна виділити 3 типи організаційної структури вантажоперевезень:

- Територіально-орієнтовані перевезення;
- Продуктивно-орієнтовані перевезення;
- Клієнтоорієнтовані перевезення.



Рис. 1. Клієнтоорієнтований підхід до вантажоперевезень залізницею

Територіально-орієнтовані перевезення спрямовані на надання послуг з перевезення вантажів клієнтам, переважно одного географічного регіону[3]. Це зумовлене географічним розташуванням та можливостями вантажоперевізника.

Продуктивно-орієнтовані перевезення спрямовані на надання послуг по перевезення зацікавленим у них клієнтам поза прив'язкою до будь-якої території.

Клієнтоорієнтовані перевезення, на відміну від територіально-орієнтованих і продуктивно-орієнтованих призначені задовольняти потреби в перевезеннях конкретної групи клієнтів без прив'язки до будь-якої території. Такі перевезення універсальні, а за необхідності, групу клієнтів, на яку вони розраховані, можна розширювати.

Типи організаційної структури вантажоперевезень наведено на рис. 2.

Умовно клієнтів залізниці, що користуються послугами вантажоперевезень, за рівнем лояльності до вантажоперевізників можна поділити на 4 категорії або групи:

- лояльні за звичкою;
- однолюби;
- полігристи;
- користуються декількома видами перевезень.

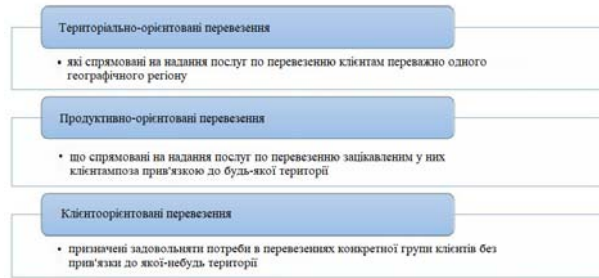


Рис. 2. Типи організаційної структури вантажоперевезень

В результаті огляду ринку транспортних послуг у сфері залізничних вантажоперевезень за останній рік, можна стверджувати, що у процентному співвідношенні група клієнтів "лояльні за звичкою" складає – 40% від загального обсягу; група клієнтів "однолюби" – 30% від загального обсягу; група клієнтів "полігристи" – до 10% від загального обсягу; група клієнтів "користуються декількома видами перевезень" – не менше 20% від загального обсягу.

Умовний розподіл клієнтів за рівнем лояльності до вантажоперевізників, зображений на рис. 3.



Рис. 3. Умовний розподіл клієнтів за рівнем лояльності до вантажоперевізників

**Висновок.** Враховуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що застосування клієнтоорієнтованого підходу не тільки дозволить розширити клієнтуру підприємства в сфері залізничних вантажоперевезень, а і дасть можливість ефективно консолідувати існуючий потенціал для поліпшення рівня обслуговування з метою підвищення рівня роботи з клієнтом.

#### Л і т е р а т у р а

1. Сутність та визначення поняття «Клієнтоорієнтована депозитна політика» / Т.З. Вантух // Збірник наукових праць «Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики». – 2015. – Вип. 1. – С.17-25.
2. Клієнтоорієнтований підхід у діяльності підприємств індустрії гостинності / П. Петриченко // Науковий журнал «Економіст». – 2014. – Вип. 1(327). – С.79-82.
3. Клієнто-орієнтованість як головна складова сучасної інноваційної стратегії комерційного банку на ринку банківських послуг України/ С.І. Редька //Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. – 2013. – №1(56). – С.313-317.

---

---

**References**

1. The essence and definition of "Client-oriented deposit policy" / T.Z. Vantuh // Collection of scientific works "Financial and credit activity: problems of theory and practice". - 2015. - Vip. 1. - p. 17-25.
2. Client-oriented approach in the activities of enterprises of the hospitality industry / P. Petrichenko // Scientific journal "Economist". - 2014. - Vip. 1 (327). - P.79-82.
3. Client-orientation as the main component of the modern innovative strategy of the commercial bank in the market of banking services of Ukraine / SI Radish // Scientific Bulletin of the Poltava University of Economics and Trade. - 2013. - No. 1 (56). - p.313-317.

**Цейко Б.О. Клиентоориентированность, как новейший подход к организации грузоперевозок на железнодорожном транспорте.**

*В статье рассмотрен вопрос о клиентоориентированности, - как к новейшему подходу в сфере организации грузоперевозок на железнодорожном транспорте в Украине. Выделены типы организационной структуры грузоперевозок, проведен обзор рынка транспортных услуг в сфере железнодорожных грузоперевозок. Рассмотрены особенности клиенто-*

*ориентированного подхода к грузоперевозкам на железной дороге.*

**Ключевые слова:** клиентоориентированность, клиентоориентированный подход, клиентоориентированные перевозки.

**Tseiko B.O. Circularity, a new approach to organization of cargo transportation on railway transport.**

*The article deals with the issues of customer orientation - as a new approach in the field of organization of freight transportation in the railway transport in Ukraine. The types of organizational structure of cargo transportation are distinguished, the market of transport services in the field of rail freight is surveyed. The features of the client-oriented approach to freight transportation by rail are considered.*

**Keywords:** client orientation, client-oriented approach, client-oriented transportation.

**Цейко Б.О.** – аспірант кафедри «Управління процесами перевезень» Державний університет інфраструктури та технологій (м. Київ), e-mail: boris16@bigmir.net

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 20.03.2018.

УДК 656.078

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМ ВАНТАЖІВ(СІУПВ) ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ КЛІЄНТІВ НА ЗАЛІЗНИЦІ

Цейко Б.О.

## FEATURES OF DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF INTELLECTUAL MANAGEMENT OF CARGO TRANSPORTATION(SIMCT) WHEN SERVICING CUSTOMERS ON THE RAILWAY

Tseiko B.

У статті розглянуто питання щодо особливостей розробки системи інтелектуального управління перевезенням вантажів при обслуговуванні клієнтів на залізницях України. Розглянуто можливий вигляд сайту системи, а також питання забезпечення її ефективного функціонування. Розроблено візуальний макет сайту, який може мати Система інтелектуального управління перевезенням вантажів.

**Ключові слова:** система інтелектуального управління перевезенням вантажів(СІУПВ), користувач, реєстрація в системі.

**Вступ.** Становлення України як самостійної держави спричинило потребу приділяти увагу більш якісному транспортному обслуговуванню клієнтів, що повинно підняти рівень конкурентоспроможності транспортних послуг.

З цією метою пропонується створення системи інтелектуального управління перевезенням вантажів(СІУПВ).

Така система буде як більш клієнтоорієнтована, так і поєднає в собі сучасні технології, які вже використовуються у інших сферах людської діяльності, що дозволить скоротити затрати часу до мінімальних та підвищити комфорт і якість транспортного обслуговування.

**Постановка проблеми.** На теперішній час для управління перевезеннями вантажів застосовуються підходи, в яких головним елементом перевізної ланки є вантаж. В практичній реалізації це зумовлює те що залізниця здійснивши перевезення вантажу, не отримує інформацію від своїх клієнтів – вантажовласників, вантажовідправників та вантажоодержувачів, стосовно якості умов оформлення вантажу та інших організаційних аспектів взаємодії їх із залізницею. Тому потреби

створення систем, які будуть клієнтоорієнтованими, а також не тільки вантажоцентричними, а і клієнтоцентричними є актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематика застосування інформаційних технологій в управлінні процесами доставки вантажу, концепція інтелектуальної транспортної системи управління процесами доставки вантажу, а також аспекти функціонування та роботи Інтелектуальної системи управління процесом доставки вантажу приведені у працях, Г.І. Кириченко[1,2,3].

Методологічний аспект формування критеріїв ефективного управління залізничною транспортною системою розкриває колектив авторів у [4].

Питання інтелектуальних технологій управління висвітлюються у [5].

**Мета статті.** Розглянути особливості розробки системи інтелектуального управління перевезенням вантажів при обслуговуванні клієнтів на залізницях України.

**Результати досліджень.** Візуалізація розробки системи інтелектуального управління перевезенням вантажів (СІУПВ) при обслуговуванні клієнтів на залізниці передбачається у вигляді сайту.

Сучасні можливості веб дизайну та мов програмування дозволяють створювати принципово нові підходи для роботи із залученням всесвітньої інтернет мережі.

Головна сторінка сайту СІУПВ може мати вигляд, зображений на рис. 1.

Передбачається, що користувачу буде запропоновано пройти реєстрацію в СІУПВ, зробивши три прості кроки.

Графічне відображення процесу реєстрації на сайті СІУПВ наведено на рис. 2.

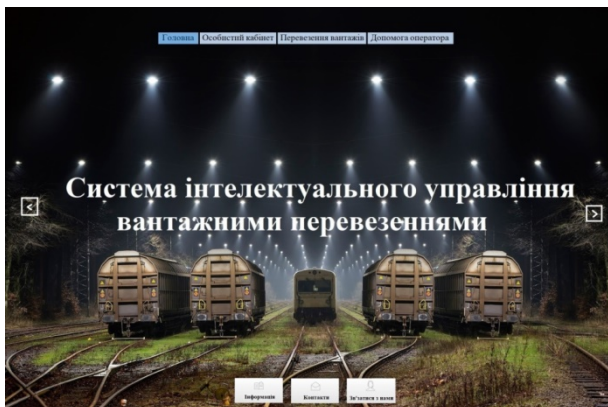


Рис. 1. Головна сторінка сайту СИУПВ

Для реєстрації в системі користувачу буде запропонована форма для введення особових даних:

Крок 1. Додавання даних користувача

1. Прізвище;
2. Ім'я;
3. По-батькові;
4. Дата народження;
5. Стать(вибрати зі списку);
6. Серія та номер паспорта;
7. Ідентифікаційний номер;
8. Назва банку, в якому відкритий рахунок (вибрати зі списку);
9. Номер банківської карти;
10. Контактний номер телефону;
11. Електронна адреса.

Після отримання інформації з кроку 1, вона автоматично вноситься в персональну анкету користувача СИУПВ.

Крок 2. Перевірка особистих даних користувача

1. Відправлення фото паспорта, ідентифікаційного номеру;
2. Відправка власного фото онлайн.

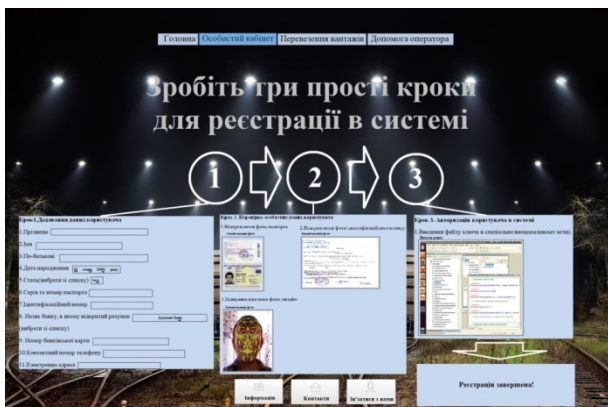


Рис. 2. Графічне відображення процесу реєстрації на сайті СИУПВ

В сучасному житті біометричні системи ідентифікації людини стрімко набувають поширення та все частіше застосовуються у сферах діяльності людини. Основними перевагами,

порівняно із звичайними засобами ідентифікації є те, що вони базуються на персональних біологічних ознаках, таким чином, їх майже неможливо скопіювати або підробити. Також, очевидним є той факт, що зручні у використанні. Біометричні системи ідентифікації не вимагають від користувача володіння будь-якими спеціальними засобами ідентифікації[6].

Актуальність задачі розпізнавання людини по обличчю полягає в тому, що немає необхідності безпосереднього контакту системи з людиною.

На даний момент проблеми розпізнавання людини по зображенню обличчя присвячено безліч робіт, проте в цілому вони не далека від вирішення. Головні труднощі які необхідно подолати при ідентифікації людини по обличчю - не забезпечення незалежності роботи системи від таких факторів, як освітленість, ракурс, а також вікові зміни[7,8].

**Висновок.** Враховуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що практичну реалізацію СИУПВ в середовищі АСК ВП УЗ – Є можливо здійснити відповідними апаратно – програмними засобами, наборами відповідних скриптів та кодів для створення сайтів.

### Література

1. Проблематика застосування інформаційних технологій в управлінні процесами доставки вантажу / Г. І. Кириченко //Проблеми транспорту. — 2012. — Вип. 9. — С. 17—27.
2. Концепція інтелектуальної транспортної системи управління процесами доставки вантажу/ Г. І. Кириченко //Залізничний транспорт України. — 2013. — Вип. 1. — С. 37—40.
3. Інтелектуальна система управління процесом доставки вантажу / Г. І. Кириченко //Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. — 2015. — Вип. 5(114). — С. 3—6.
4. Данько М.І, Бутко Т.В., Ломотко Д.В, Козак В.В..Методологічний аспект формування критеріїв ефективного управління залізничною транспортною системою: зб. наук. праць.-Харків: УкрДАЗТ, 2010.- Вип.113.-С. 5-9.
5. Усков А.А., Кузьмін А.В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечёткая логика.- М. : Горячая линия-Телеком,2004. – С. 143: ил.
6. Система розпізнавання облич за допомогою 2,5д камери /І. М. Бондарець //Вісник Київського національного університету.Серія фізико – математичні науки. — 2014. — Вип. 1. — С. 118—121.
7. Daijain Kim, Jaewoii Sung. Automated face analysis: emerging technologies and research. Hershey. New York. 2009
8. K. C. Lee. J. Ho. and D. Kriegman. "Acquiring linear subspaces for face recognition under variable lighting." IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. vol 27. no. 5. pp. 684-698. May 2005.

### References

1. The problem of application of information technologies in the management of cargo delivery processes / G.I.

- Kirichenko // Transport problems. - 2012. - Exp. 9. - P. 17-27.
2. Concept of the intelligent transport system for controlling cargo delivery processes / GI Kirichenko // Railway transport of Ukraine. - 2013. - Issue 1. - P. 37-40.
  3. Intelligent system of control of the process of cargo delivery / G.I. Kirichenko // Information and control systems in the railway transport. - 2015. - Vip. 5 (114). - P. 3-6.
  4. Danko M.I., Butko T.V., Lomotko D.V., Kozak VV. Methodological aspect of formation of criteria for effective management of the railway transport system: Sb. sciences Works.-Kharkiv: UkrDazT, 2010.-Vip.113.-С. 5-9.
  5. Uskov AA, Kuzmin A.V. Intelligent control technologies. Artificial neural networks and fuzzy logic. - М.: Hot line-Telecom. - P. 143: ill.
  6. Face Detection System with 2.5d Camera / I. M. Bondarets // Bulletin of the Kiev National University. Series of Physics and Mathematics. - 2014. - Vip. 1. P. 118-121.
  7. Daijain Kim, Jaewoii Sung. Automated face analysis: emerging technologies and research. Hershey. New York. 2009
  8. K. C. Lee. J. Ho. and D. Kriegman. "Acquiring linear subspaces for face recognition under variable lighting." IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. IntelL. vol 27. no. 5. pp. 684-698. May 2005.

**Цейко Б.О. Особенности разработки системы интеллектуального управления перевозкой грузов(СИУПГ) при обслуживании клиентов на железнодорожном транспорте.**

*В статье рассмотрены вопросы особенностей разработки системы интеллектуального управления перевозкой грузов при обслуживании клиентов на железных дорогах Украины. Рассмотрен возможный вид сайта системы, а также вопросы обеспечения ее эффективного функционирования. Разработан визуальный макет сайта, который может иметь Система интеллектуального управления перевозкой грузов.*

**Ключевые слова:** система интеллектуального управления перевозкой грузов (СИУПГ), пользователь, регистрация в системе.

**Tseiko B.O. Features of development of the system of intelligent management of cargo transportation (SIMCT) when servicing customers on the railway.**

*The article deals with the peculiarities of the development of the system of intelligent management of cargo transportation when servicing customers on the railways of Ukraine. Considered the possible appearance of the site system, as well as the issue of ensuring its effective functioning. The visual layout of the site, which may have a system of intelligent management of cargo transportation, is developed.*

**Keywords:** system of intellectual management of cargo transportation (SIMCT), user, registration in the system.

**Цейко Б.О.** – аспірант кафедри «Управління процесами перевезень» Державний університет інфраструктури та технологій (м. Київ), e-mail: boris16@bigmir.net

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 12.04.2018.

УДК 656.078

## ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ТЕОРІЇ СИСТЕМ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АСУ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ВАГОНОПОТОКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КЛІЄНТООРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Цейко Б.О.

### APPLICATION OF MODELS OF THE THEORY OF SYSTEMS OF MASS SERVICE ACS TO IMPROVE TRAFFIC FLOW USING CUSTOMER-CENTRIC TECHNOLOGIES

Tseiko B.

*У статті розглянуто питання щодо проблеми застосування моделей теорії систем масового обслуговування АСУ для удосконалення вантажопотоків з використанням клієнтоорієнтованих технологій перевезень. Розглянуто особливості застосування СМО, їх класифікацію та можливості застосування їх в галузі залізничних перевезень.*

**Ключові слова:** *системи масового обслуговування (СМО), автоматизовані системи управління (АСУ), клієнтоорієнтовані технології перевезень.*

**Вступ.** Повсякчас кожній людині доводиться чекати на обслуговування в черзі (біля каси, терміналу обслуговування тощо). Аналогічні ситуації виникають, коли треба скористатися телефонним зв'язком або виконати свою програму на комп'ютері. Будь-яке виробництво теж можна уявити як послідовність систем обслуговування. До типових систем обслуговування належать також ремонтні і медичні служби, транспортні системи, термінали, аеропорти, вокзали і т.д. [1].

**Постановка проблеми.** Дослідженням питань удосконалення організації вагонопотоків на залізничному транспорті займалося багато науковців і вчених, але питання удосконалення вантажопотоків на залізниці з використанням клієнтоорієнтованих технологій повністю не вирішені і наразі є актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Концепція інтелектуальної транспортної системи управління процесами доставки вантажу, а також аспекти функціонування та роботи інтелектуальної системи управління процесом доставки вантажу приведені у працях Г.І. Кириченко[2,3].

Формування автоматизованої технології просування групових поїздів оперативного

призначення висвітлює у дисертаційному дослідженні Киман А.М.[4].

Питання формування методів управління розподілом пропускної спроможності залізничної інфраструктури в умовах недискримінаційного доступу розкриває у дисертаційному дослідженні Прохорченко А.В.[5].

**Мета статті.** Розглянути питання щодо проблеми застосування моделей теорії систем масового обслуговування АСУ для удосконалення вантажопотоків з використанням клієнтоорієнтованих технологій.

**Результати досліджень.** Особливого значення СМО набули у процесах інформатики. Це передусім комп'ютерні системи, мережі передавання інформації, операційні системи, бази і банки даних.

Систему масового обслуговування загалом можна уявити як сукупність послідовно пов'язаних між собою вхідних потоків вимог на обслуговування (потоків замовлень), черг, каналів обслуговування і потоків обслужених замовлень. Будь-який пристрій, який безпосередньо обслуговує замовлення, називають каналом обслуговування[6].

Моделювання найпотужніший універсальний метод дослідження та оцінювання ефективності різноманітних систем, поведінка яких залежить від дії випадкових чинників.

Аналітичне моделювання полягає у побудові та дослідженні математичних моделей. У його основу покладено ідентичність форми рівнянь та однозначність співвідношень між змінними в рівняннях, які описують оригінал та модель.

Більшість СМО є клієнтоорієнтованими, оскільки створюються для задоволення потреб споживачів у різних сферах та галузях людської діяльності.

Клієнти залізниці – вантажовласники, вантажовідправники, вантажоодержувачі також є споживачами послуг, які їм надає залізниця, але питання клієнтоорієнтованості при вантажоперевезеннях повністю не вирішені і наразі є актуальні.

З цією метою пропонується створення такої моделі обслуговування споживачів послуг, яка буде клієнтоцентричною, і ці завдання може вирішити застосування моделей теорії систем масового обслуговування АСУ.

Недоліками більшості аналітичних моделей, побудованих на основі понять теорії масового обслуговування, є використання в них значних спрощень: зображення потоку замовлень як пуассонівського або найпростішого, припущення про показниковий розподіл часу обслуговування, неможливість обслуговування замовлень одночасно кількома каналами обслуговування тощо. Система масового обслуговування (СМО) – система, яка виконує обслуговування вимог, що надходять до неї. Обслуговування вимог у СМО проводиться обслуговуючими приладами. Класична СМО містить від одного до нескінченного числа приладів. В залежності від наявності можливості очікування вступниками вимогами початку обслуговування СМО поділяються на:

1. Системи з втратами, в яких вимоги, що не знайшли в момент надходження жодного вільного приладу, втрачаються;
2. Системи з очікуванням, в яких є накопичувач нескінченної ємності для буферизації надійшли вимог, при цьому очікують вимоги утворюють чергу;
3. Системи з накопичувачем кінцевої ємності (чеканням і обмеженнями), в яких довжина черги не може перевищувати ємності накопичувача; при цьому вимога, що надходить в переповнену СМО (відсутні вільні місця для очікування), втрачається.

Вибір вимоги з черги на обслуговування здійснюється за допомогою так званої дисципліни обслуговування. Їх прикладами є FCFS / FIFO (що прийшов першим обслуговується першим), LCFS / LIFO (що прийшов останнім обслуговується першим), RANDOM (випадковий вибір). У системах з очікуванням накопичувач в загальному випадку може мати складну структуру.

Виділяють такі основні поняття СМО:

- Вимога (заявка) – запит на обслуговування.
- Вхідний потік вимог – сукупність вимог, що надходять у СМО.
- Час обслуговування – період часу, протягом якого обслуговується вимогу.

Математична модель СМО – це сукупність математичних виразів, що описують вхідний потік вимог, процес обслуговування та їх взаємозв'язок.

Дослідженням питань удосконалення організації вагонопотоків на залізницях займалися багато науковців, але питання удосконалення

організації вагонопотоків на залізницях з використанням клієнтоорієнтованих технологій повністю не вирішені.

**Висновок.** Застосування моделей теорії систем масового обслуговування АСУ для удосконалення вантажопотоків дозволить запровадити використання клієнтоорієнтованих технологій для вантажоперевезень на залізничному транспорті, що надасть користувачам цих послуг нові можливості при перевезенні вантажу.

Системи обслуговування відіграють значну роль у повсякденному житті. Досвід моделювання різних типів дискретних систем свідчить про те, що приблизно 80% цих моделей ґрунтуються на СМО.

Використання СМО при моделюванні систем, які включають клієнтоорієнтовані технології зумовлене науково – технічним прогресом, а також удосконаленням вже існуючих систем.

#### Л і т е р а т у р а

1. Кутковецький В.Я. Ймовірнісні процеси і математична статистика в автоматизованих системах: Навчальний посібник. - Миколаїв: Вид-во МДГУ, 2002. – 150С.
2. Концепція інтелектуальної транспортної системи управління процесами доставки вантажу/ Г. І. Кириченко //Залізничний транспорт України. — 2013. — Вип. 1. — С. 37—40.
3. Інтелектуальна система управління процесом доставки вантажу / Г. І. Кириченко //Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. — 2015. — Вип. 5(114). — С. 3—6.
4. Киман А.М. Формування автоматизованої технології просування групових поїздів оперативного призначення [Текст]: дис... канд. техн. наук : 05. 22. 01 /Киман Андрій Миколайович. — Харків, 2017. — 178с.
5. Прохорченко А.В. Формування методів управління розподілом пропускнуої спроможності залізничної інфраструктури в умова недискримінаційного доступу [Текст]: дис... докт. техн. наук : 05. 22. 01 /Прохорченко Андрій Володимирович. — Харків, 2015. — 412с.
6. Жерновий Ю.В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: Практикум. - Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007.- 307с.

#### References

1. Kutkovetsky V.Ya. Probabilistic processes and mathematical statistics in automated systems: Tutorial. - Mykolaiv: View of MSHU, 2002. - 150С.
2. Concept of the intelligent transport system for controlling cargo delivery processes / GI Kirichenko // Railway transport of Ukraine. - 2013. - Issue 1. - P. 37-40.
3. Intelligent system of control of the process of cargo delivery / G.I. Kirichenko // Information and control systems in the railway transport. - 2015. - Vip. 5 (114). - P. 3-6.
4. Kiman AM Formation of automated technology for the promotion of grouped trains of operational purpose [Text]: Diss ... Candidate. tech Sciences: 05. 22. 01 / Kiman Andrey Nikolaevich. - Kharkiv, 2017. - 178s.

5. Prokhorchenko AV Formation of methods for managing the distribution of railway infrastructure capacity in the context of non-discriminatory access [Text]: Dis ... doc. tech Sciences: 05. 22. 01 / Prokhorchenko Andriy Vladimirovich. - Kharkiv, 2015 - 412s.
6. Zhernovyi Yu.V. Simulation of mass service systems: Practice. - Lviv: Publishing Center of Ivan Franko National University of LNU, 2007-307.

**Цейко Б.О. Применение моделей теории систем массового обслуживания АСУ для усовершенствования грузопотоков с использованием клиентоориентированных технологий.**

*В статье рассмотрены вопросы по проблеме применения моделей теории систем массового обслуживания АСУ для усовершенствования грузопотоков с использованием клиентоориентированных технологий перевозок. Рассмотрены особенности применения СМО, их классификацию и возможности применения их в области железнодорожных перевозок.*

**Ключевые слова:** *системы массового обслуживания (СМО), автоматизированные системы*

*управления (АСУ), клиентоориентированные технологии перевозок.*

**Tseiko B.O. Application of models of the theory of systems of mass service ACS to improve traffic flow using customer-centric technologies.**

*The article deals with the problem of using models of the theory of mass service systems ACS for improving freight traffic using customer-oriented transportation technologies. The peculiarities of the application of MSS, their classification and possibilities of their application in the field of railway transportation are considered.*

**Keywords:** *mass service systems (MSS), automated control systems (ACS), customer-oriented transportation technologies.*

**Цейко Б.О.** – аспірант кафедри «Управління процесами перевезень» Державний університет інфраструктури та технологій (м. Київ), e-mail: boris16@bigmir.net

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 20.03.2018.

УДК 656.613.2:629.124.34

## СОСТАВ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ БАРЖЕБУКСИРНЫХ СУДОВ

Шибаяев А.Г., Щербина О. В.

## COMPOSITION AND SEQUENCE OF OPERATIONS AT THE ORGANIZATION OF THE WORK OF THE TUG BARGE VESSELS

Shibaev A.G., Shcherbina O.V.

*В статье представлена структурная модель организации работы баржебуксирных судов с применением экономико-математического и имитационного моделирования на основе логико-эвристического подхода с учетом сформулированного комплекса требований. Разработанная модель отображает полный цикл задач и включает в себя вопросы обоснования типоразмера баржебуксирного судна при определенной форме организации работы его функциональных элементов, а также вопросы распределения и закрепления судов за схемой движения.*

**Ключевые слова:** баржебуксирное судно, типоразмер, распределение судов, график движения

**Введение.** В последние годы наблюдается повышенный интерес как к баржебуксирным судам (ББС), так и к методикам организации их работы, позволяющим увеличить эффективность перевозок, что предопределяет актуальность настоящего исследования.

Как известно, эффективность баржебуксирных перевозок (ББП) зависит от организации работы флота. Известные публикации и методики не отражают полного комплекса задач организационного характера.

В научных исследованиях последних лет перевозки с участием ББС рассматриваются преимущественно в следующих направлениях:

- освещаются стратегии развития ББП, в том числе в области интермодальных контейнерных перевозок [1, 2, 3];
- в области судостроения [4, 5];
- в области судовождения.

В работах [2, 3] предложена методика определения и оценки:

- вариантов интермодальных схем доставки контейнеров по Европейским внутренним водным путям;
- места дислокации портов-хабов.

Представленная методика [2, 3] отображает решение некоторых задач в перспективном направлении организации работы ББС при интермодальной перевозке грузов в контейнерах. При рассмотрении для классического варианта эксплуатации ББС при перевозке массовых грузов методика представляет интерес при определении порта смены тяги при участковой форме организации работы судов.

В методике, представленной в серии работ [4, 5], рассматривается задача определения оптимальных характеристик ББС смешанного плавания с позиции судостроения и проектирования судов. Кроме того, автором решается частная задача для определенного направления и группы судов для варианта с рейдовым перегрузочным комплексом [4]. В предложенной методике не обозначено, как учитываются главные линейные размерения ББС при отборе судов для работы на схеме при различных формах взаимодействия тяги и тоннажа.

**Целью статьи** является структурирование последовательности задач и определение состава операций при организации работы ББС.

Исходя из цели, формируется задача исследования по определению состава и последовательности операций на следующих этапах организации работы ББС:

1. Составление возможных схем работы ББС;
2. Обоснование типоразмера ББС для работы на схеме;
3. Формирование приоритетного ряда для работы на схеме при различных вариантах организации работы ББС;
4. Обоснование оптимального распределения судов для работы на схеме;
5. Закрепление ББС за графиком движения.

**Изложение основного материала.** Настоящее исследование входит в цикл публикаций авторов, посвященных организации работы ББС. Как известно, задача организации работы таких судов

является достаточно сложной в силу технических и технологических особенностей их эксплуатации. Реализация поставленной задачи осуществляется в последовательности, изложенной ниже.

*Этап 1. Составление возможных схем работы ББС.* На основании информации о грузопотоках, технических средствах и трассе следования подбираются формы организации их работы и составляются возможные схемы работы ББС [6].

На основании анализа практики эксплуатации ББС делается вывод о том, что наибольшее распространение получили следующие варианты организации работы ББС ( $k$ ):

— маршрутная отправка и сквозная форма организации работы (ФОР) тяги ( $k=a$ );

— сборная отправка и сквозная ФОР тяги ( $k=b$ );

— работа по системе тяговых плеч и участковой ФОР тяги ( $k=c$ ).

Учет отмеченных ФОР определяет схему работы ББС.

*Этап 2. Обоснование типоразмера баржебуксирного состава для работы на схеме* содержит следующие задачи [2]:

*Этап 2.1.* Отбор из исходного множества буксиров типа  $i$  и барж типа  $j$  базиса предварительно отобранных судов;

*Этап 2.2.* Определение максимально допустимой загрузки комплекта барж типа  $j$ , входящих в состав ББС типа  $z$ ;

*Этап 2.3.* Формирование исходного множества возов  $\lambda$  и определение типоразмеров ББС типа  $z$ ;

*Этап 2.4.* Формирование базиса предварительно отобранных ББС типа  $z$  для работы на схеме  $\ell$ ;

*Этап 2.5.* Определение габаритных размеров ББС типа  $z$  из базиса предварительно отобранных судов.

*Этап 2.1. Отбор из исходного множества буксиров типа  $i$  и барж типа  $j$  базиса предварительно отобранных судов.* Из списочного состава буксирного флота (исходного множества тяги) с учетом плана пополнения и списания судов формируется базиса предварительно отобранных судов из буксиров типа  $i$  и барж типа  $j$  по признаку соответствия технико-эксплуатационных характеристик тяги условиям предстоящего рейса, а также возможность взаимозаменения тяги и тоннажа (модель организации работы ББС «вертушка»). Следует отметить, что буксир типа  $i$  в комбинации с возом  $\lambda$  (состоящего из барж типа  $j$ ) образуют ББС типа  $z$ .

Таким образом при формировании базиса предварительно отобранных судов из буксиров типа  $i$  и барж типа  $j$  применяется вариантный метод отбора составных элементов ББС для определенных условий рейса.

Содержание *этапов 2.2. – 2.3.* изложено в работе [7];

*Этап 2.4. Формирование базиса предварительно отобранных ББС типа  $z$  для работы на схеме  $\ell$ .* Возможность работы тяги типа  $i$  с возом из барж типа  $j$  в составе ББС типа  $z$  для работы на схеме  $\ell$  определяется параметром управления ( $Y_{iz\ell}$ ) принимающим следующее значение:

$$Y_{iz\ell} = \begin{cases} 1, & \text{если буксир типа } i, \text{ входит в} \\ & \text{состав ББС типа } z \text{ для работы на} \\ & \text{схеме } \ell, \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (1)$$

На значение параметра  $Y_{iz\ell}$  оказывает влияние соблюдение следующего условия [7]:

$$\rho_i \geq \frac{Q_{zr\ell}}{N_i^e} \quad (i=\overline{1,I}; z=\overline{1,Z}; r=\overline{1,R}; \ell=\overline{1,L}), \quad (2)$$

где  $\rho_i$  - удельная нагрузка тяги типа  $i$ ;  $Q_{zr\ell}$  - загрузка ББС типа  $z$  грузом  $r$  для работы на схеме  $\ell$ ;  $N_i^e$  - мощность энергетической установки тяги типа  $i$ .

Таким образом

$$Y_{iz\ell} = \begin{cases} 1, & \text{если } \rho_i \geq \frac{Q_{zr\ell}}{N_i^e} \\ & (i=\overline{1,I}; z=\overline{1,Z}; r=\overline{1,R}; \ell=\overline{1,L}); \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (3)$$

Таким образом, ряды буксиров типа  $i$  в комбинации с возом барж  $\lambda$  в составе ББС типа  $z$  для работы на схеме  $\ell$  образуют множество ББС (базис предварительно отобранных ББС типа  $z$ ) из наличного и / либо арендованного флота для работы на направлении.

Поскольку загрузка ББС типа  $z$  грузом  $r$  для работы на схеме  $\ell$  ( $Q_{zr\ell}$ ) находится в прямой зависимости от максимальной регистровой грузоподъемности ББС типа  $z$  при работе с буксиром типа  $i$  ( $Dч_p^z \max_i$ ) то, формирование приоритетного ряда ББС типа  $z$  из ввозов  $\lambda$  и буксиров типа  $i$  выполняется в порядке убывания значения показателя  $Dч_p^z \max_i$  и описывается выражением:

$$\begin{aligned} & Dч_p^1 \max_i > Dч_p^2 \max_i > \dots > Dч_p^z \max_i > \dots, \\ & > Dч_p^Z \max_I \quad (i=\overline{1, I}; z=\overline{1, Z}) \end{aligned} \quad (4)$$

Согласно условия (4), первый порядковый номер соответствует ББС типа  $z$  с наибольшим значением регистровой грузоподъемности. По результатам расчетов делается вывод с формированием приоритетного ряда ББС типа  $z$ , типоразмер которых позволяет им работать на определенной линии с известным грузопотоком и формой организации движения барж и буксиров.

*Этап 2.5. Определение габаритных размеров ББС типа  $z$  из базиса предварительно отобранных судов.* Известно [8], что типоразмер ББС, а, следовательно, и его габариты, зависят от способа вождения (буксирование или толкание), способа сцепки (гибкий или жесткий), конфигурации кормовых и носовых оконечностей, количества барж в составе, способа формирования состава (кильватерный или пыжевый), конструктивного типа кормовой оконечности баржи (с транцевым или врезным упором).

Главные линейные характеристики ББС вычисляются на основании общепринятых формул [5, 8].

*Этап 3. Формирование приоритетного ряда для работы на схеме при различных вариантах организации работы баржебуксирных судов* осуществляется при помощи имитационного моделирования, основанного на необходимости проведения анализа возможности работы ББС на участке с учетом влияния лимитирующих характеристик трассы на технико-эксплуатационные характеристики ББС [9].

*Этап 4. Обоснование оптимального распределения судов для работы на схеме.* После отбора судов, которые могут работать на направлении при различных возможных вариантах организации их движения, целесообразно решить задачу распределения судов в баржебуксирной транспортно-технологической системе. Такая задача решается посредством применения экономико-математических методов оптимального управления, что также позволяет определить наилучший вариант организации работы судов.

При выборе варианта организации работы собственного флота судоходной компании следует рассмотреть следующую математическую модель (5) – (17), обеспечивающую максимальную прибыль и учитывающую особенности организации работы ББС типа  $z$ , входящих в базис предварительно отобранных ББС типа  $z$  для работы на схеме  $\ell$  ( $\{z^{k\ell}\}$ ).

$$Z = \sum_{z=1}^Z \sum_{r=1}^R \Phi_{r\ell}^z \cdot x_{r\ell}^z \rightarrow \max; \quad (5)$$

$$\sum_{z=1}^Z n_z^\ell \cdot n_{pz}^\ell \cdot t_{r\ell}^z \cdot x_{r\ell}^z \leq T^{r\ell\psi} \quad (\ell=\overline{1, L}; r=\overline{1, R}; \psi=\overline{1, \Psi}; z=\overline{1, Z}); \quad (6)$$

$$\sum_{r=1}^R n_z^\ell \cdot n_{pz}^\ell \cdot t_{r\ell}^z \cdot x_{r\ell}^z \leq T^{z\ell} \quad (\ell=\overline{1, L}; r=\overline{1, R}; z=\overline{1, Z}); \quad (7)$$

$$x_{r\ell}^z \cdot T^{r\ell\psi} \leq T^{z\ell} \quad (\ell=\overline{1, L}; r=\overline{1, R}; \psi=\overline{1, \Psi}; z=\overline{1, Z}); \quad (8)$$

$$\sum_{\ell=1}^L x_{r\ell}^z \cdot n_z^\ell \leq N_z \quad (z=\overline{1, Z}); \quad (9)$$

$$z \in \{z^{k\ell}\} \quad (k=a, b, c; \ell=\overline{1, L}); \quad (10)$$

$$\sum_{z=1}^Z n_z^\ell \cdot n_{pz}^\ell \cdot q_{r\ell}^z \cdot x_{r\ell}^z \leq Q_{r\ell}^\psi \quad (r=\overline{1, R}; \psi=\overline{1, \Psi}; \ell=\overline{1, L}); \quad (11)$$

$$\sum_{r=1}^R q_{r\ell}^z \cdot x_{r\ell}^z \leq Dч_p^{z\ell}, \quad \text{если } u_r \leq \omega_z \quad (z=\overline{1, Z}; \ell=\overline{1, L}); \quad (12)$$

$$\sum_{r=1}^R u_r \cdot q_{r\ell}^z \cdot x_{r\ell}^z \leq W^z, \quad \text{если } u_r > \omega_z \quad (z=\overline{1, Z}; \ell=\overline{1, L}); \quad (13)$$

$$x_{r\ell}^z \cdot Dч_p^{z\ell} \leq Dч \max_\ell \quad (z=\overline{1, Z}; \ell=\overline{1, L}); \quad (14)$$

$$x_{r\ell}^z \in \{0, 1\} \quad (r=\overline{1, R}; z=\overline{1, Z}; \ell=\overline{1, L}), \quad (15)$$

$$x_{r\ell}^z \cdot \Phi_{r\ell}^z > 0 \quad (r=\overline{1, R}; z=\overline{1, Z}; \ell=\overline{1, L}); \quad (16)$$

$$x_{r\ell}^z \geq 0 \quad (r=\overline{1, R}; z=\overline{1, Z}; \ell=\overline{1, L}); \quad (17)$$

где  $\Phi_{r\ell}^z$  - прибыль ББС типа  $z$  от перевозки груза  $r$  на схеме  $\ell$ ;  $X_{r\ell}^z$  - параметр, определяющий перевозку груза  $r$  ББС типа  $z$  на схеме  $\ell$ ;  $n_z^\ell$  - число судов типа ББС типа  $z$  при работе по схеме  $\ell$ ;  $n_{pz}^\ell$  - число рейсов ББС типа  $z$  с грузом  $r$  при работе по схеме  $\ell$ ;  $t_{r\ell}^z$  - время рейса ББС типа  $z$  с грузом  $r$  при работе по схеме  $\ell$ ;  $T^{r\ell\psi}$  - время доставки груза  $r$  на схеме  $\ell$ , указанное в запродажном контракте  $\psi$ ;  $T^{z\ell}$  - бюджет времени в эксплуатации ББС типа  $z$  на схеме  $\ell$ ;  $N_z$  - наличный флот ББС типа  $z$ ;  $q_{r\ell}^z$  - загрузка ББС типа  $z$  с грузом  $r$  при работе по схеме  $\ell$  за круговой рейс;  $Q_{r\ell}^\psi$  - размер осваиваемого грузопотока  $r$ , предъявляемого к перевозке по схеме

$\ell$  согласно запродажного контракта  $\psi$ ;  $Dч_p^z$  - регистрирующая грузоподъемность ББС типа  $z$ ;  $u_r$  - удельно-погрузочный объем груза  $r$ ;  $W^z$  - грузоместимость ББС типа  $z$ ;  $Dч_{max_\ell}$  - максимально допустимая грузоподъемность ББС при работе на схеме  $\ell$ , исходя из ограничений.

Если маршрутная отправка, то в экономико-математическую модель (5) – (17) добавляются следующие ограничения:

- определяющее число портов отправления ( $p_d$ )

$$p_d = \{0,1\} \quad (d=\overline{1,D}), \quad (18)$$

где  $p_d$  - параметр, определяющий порт отправления  $d$ ;

- определяющее число портов назначения ( $p_\tau$ )

$$p_\tau = \{0,1\} \quad (\tau=\overline{1,T}), \quad (19)$$

где  $p_\tau$  - параметр, определяющий порт трансшипмента  $\tau$

- запрещающее перевозку груза  $r$  ББС типа  $z$  между внутренними водными портами, которые являются портами отправления  $p_d \leftrightarrow p_\tau$  по схеме  $\ell$

$$x_{ddr}^z = 0 \quad (d=\overline{1,D}; r=\overline{1,R}; z=\overline{1,Z}; \ell=\overline{1,L}), \quad (20)$$

где  $x_{ddr}^z$  - параметр, характеризующий перевозку груза между портами по внутренним водным путям.

Описание ограничений:

(6) – сумма времени рейса ББС  $z$ , меньше либо равно времени доставки груза  $r$ , оговоренного в запродажном контракте  $\psi$ ;

(7) – сумма времени рейса ББС  $z$ , меньше либо равно бюджету времени каждого ББС типа  $z$  при работе на схеме  $\ell$ ;

(8) – время доставки груза  $r$  не превышает бюджет времени каждого ББС типа  $z$  при работе на схеме  $\ell$ ;

(9) – используется наличный флот;

(10) – типы ББС типа  $z$  выбираются из множества предварительно отобранных в базис ББС для работы при определенной форме организации их работы;

(11) – суммарное количество грузов  $r$ , перевозимых ББС типа  $z$  из порта  $d$  в порт  $\tau$  при работе по схеме  $\ell$ , меньше либо равно общему количеству грузов предъявляемого к перевозке согласно запродажного контракта;

(12) – загрузка ББС типа  $z$  грузом  $r$ , перевозимым из порта  $d$  в порт  $\tau$  при работе по схеме  $\ell$ , меньше либо равно допустимой грузоподъемности ББС типа  $z$  на схеме  $\ell$  для тяжелых грузов;

(13) – загрузка ББС типа  $z$  грузом  $r$ , перевозимым из порта  $d$  в порт  $\tau$  при работе по схеме  $\ell$ , меньше либо равно грузоместимости ББС типа  $z$  на схеме  $\ell$  для легких грузов;

(14) – допустимая грузоподъемность ББС типа  $z$  на схеме  $\ell$  меньше либо равно максимальной грузоподъемности ББС на схеме  $\ell$ ;

(16) – условие, определяющее доходность перевозки;

(17) – параметр, определяющий перевозку;

(17) – не отрицательность переменных;

(18) – параметр, определяющий число портов отправления;

(19) – параметр, определяющий число портов назначения;

(20) – параметр, ограничивающий перевозку груза ББС типа  $z$  между внутренними водными портами, являющиеся портами отправления  $p_d \leftrightarrow p_\tau$  по схеме  $\ell$ .

Предложенная экономико-математическая модель (5) - (20) решается отдельно для каждой из возможных схем работы ББС для всех предварительно отобранных судов [6]. Также ее следует рассматривать раздельно для прямого и обратного направлений. При этом необходимо учитывать, что при наличии в схемах нескольких внутренних водных портов ( $p_d \geq 2$  и/или  $p_\tau \geq 2$ ) - пунктов отправления (назначения), нумерация их назначается вдоль русла реки от истоков к устью.

Представленная экономико-математическая модель рассматривается также в случае возможности пополнения флота из альтернативных источников, когда возникает задача расстановки ББС определенного типа, обеспечивающая лучшее использование судов под определенный грузопоток.

Если для решения поставленной задачи освоения грузопотока не достаточно наличного флота, пополнение его возможно за счет аренды (тайм-чартер, бербоут-чартер, димайз-чартер). При этом выполняется предварительный отбор судов, как и в случае собственных судов. Затем отобранные суда также включаются в базис предварительно отобранных ББС типа  $z$  входящих в одну из групп судов  $S^k = \{z^{k\ell}\}$  где вариант организации работы судов в ББ ТТС  $k = a, b, c$ . В этом случае при поиске решения в экономико-математическую модель (5) – (20) вводятся дополнительные ограничения:

$$\sum_{r=1}^R n_{z\ell}^r \cdot t_{r\ell}^z \cdot x_{r\ell}^z \leq T_{z\ell}^z \quad (\ell=\overline{1,L}; r=\overline{1,R}; z=\overline{1,Z}), \quad (21)$$

где  $n_{z\ell}^u$  - количество взятых в аренду ББС типа  $z$  для работы на схеме  $\ell$ ;  $T_u^z$  - бюджет времени арендованного ББС типа  $z$  определяемый условиями аренды (наименьшим из значений либо временного периода аренды, либо периода эксплуатации).

Условие (21) ограничивает суммарное время рейсов всех ББС  $z$ , которое меньше либо равно бюджету времени каждого арендованного ББС типа  $z$  ( $T_u^z$ ).

При этом целесообразность аренды определяется следующим условием

$$f_{r\ell}^z \cdot n_{z\ell}^u \cdot t_{r\ell}^z \cdot x_{r\ell}^z - f_u^z \cdot T_u^z > 0 \quad (22)$$

где  $f_{r\ell}^z$  - фрахтовая (тарифная) ставка за перевозку груза  $r$  на ББС типа  $z$  по схеме  $\ell$ ;  $f_u^z$  - ставка платы за аренду ББС типа  $z$ .

В данном случае также должно выполняться условие, при котором сумма арендованного и собственного флота не должна превышать потребного количества судов, необходимых для освоения грузопотока:

$$n_{z\ell}^u + N_z = n_z^\ell \quad (z = \overline{1, Z}; \ell = \overline{1, L}), \quad (23)$$

где  $n_z^\ell$  - количество ББС типа  $z$ , необходимое для освоения общего грузопотока на схеме  $\ell$ ;  $N_z$  - наличный флот ББС типа  $z$ .

Количество ББС типа, определяемое количеством комплектов барж, необходимым для освоения общего грузопотока на схеме  $\ell$  ( $n_z^\ell$ ) определяется универсальным методом оборотов исходя из интервала отправления судов [7]:

$$n_z^\ell = \frac{t_p^{\ell z}}{t_u^{\ell z}} \quad (z = \overline{1, Z}; \ell = \overline{1, L}), \quad (24)$$

где  $t_p^{\ell z}$  - время замкнутого (кругового) рейса ББС типа  $z$  для работы на схеме  $\ell$ ;  $t_u^{\ell z}$  - интервал отправления ББС типа  $z$  для работы на схеме  $\ell$ .

После некоторых преобразований с учетом оборачиваемости количество комплектов барж определяется из выражения:

$$n_z^\ell = \frac{t_p^{\ell z} \cdot Q_{r\ell}^\psi}{Q_{zr\ell} \cdot T^{r\ell}} \quad (z = \overline{1, Z}; \psi = \overline{1, \Psi}; \ell = \overline{1, L}) \quad (25)$$

*Этап 5. Закрепление ББС за графиком движения.* Результатом исследования является график движения судов, позволяющий определить количество буксиров и востов ББС, необходимых для освоения грузопотока. Предложенный в работе [10] способ формирования состава флота при освоении грузопотоков при помощи графика является более точным, поскольку позволяет наглядно определить «узкие» места маршрута следования.

**Выводы.** Таким образом, рассмотренные в исследовании этапы организации работы ББС, описывают полный цикл задач по обоснованию выбора судов. Разработанная методика позволяет определить как наилучшее сочетание количества технических средств, необходимых для освоения грузопотока с учетом их оборота, так оптимальную схему их движения, а также организационную форму взаимодействия структурных элементов ББС. Предлагаемая модель исследования справедлива при работе ББС в различных районах плавания и не зависит от конструктивного типа составных элементов ББС.

#### Л и т е р а т у р а

1. Wiegman B. W., Konings R. Strategies and innovations to improve the performance of barge transport // European journal of transport and infrastructure research EJTI. 2007. Vol. 7, No. 2.
2. Konings J. W. Intermodal Barge Transport: Network Design, Nodes and competitiveness. URL: <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid%3Aff6f5f10-2acc-43fb-9474-5317b0988bdd/> (Last accessed: 17.12.2017).
3. Caris A., Macharis C., Janssens G. Modelling corridor networks in intermodal barge transport. 2010. URL: <http://www.wctrs-society.com/wp/wp-content/uploads/abstracts/lisbon/selected/01919.pdf> (Last accessed: 17.12.2017).
4. Егоров А. Г. Модели эксплуатации составов смешанного река-море плавания. Морской вестник. 2015. № 1. С. 101–107.
5. Егоров А. Г. Математическая модель определения главных характеристик составных судов. Морской вестник. 2015. № 2. С. 85–89.
6. Щербина О. В. Основні принципи організації роботи баржебуксирних суден [Текст] / О. В. Щербина, О. Г. Шибасев // Організація транспортного процесу та управління роботою флоту на ринку міжнародного судноплавства (частина 2) : кол. моногр. – Одеса : КУПРІЄНКО СВ, 2017. – 69-79 с. – ISBN 978-966-2769-99-9. – [Індексується у міжнародній наукометричній базі даних РІНЦ]
7. Щербина О. В. Определение типоразмера баржебуксирного состава [Текст] / О. В. Щербина // Науковий журнал «Вісник СХУ ім. В. Даля» – 2017. – №4(234). – С. 248–253. – ISSN 1998-7927
8. Богданов Б.В., Алчуджан Г.А., Жинкин В.Б. Проектирование толкаемых составов и составных судов. - Л.: Судостроение, 1981. - 224 с.

9. Shcherbina O. Development of imitation model for selection of tug barge vessels for work on the line / O. Shcherbina // International Journal "Technology audit and production reserves", 2018. – Vol. 1/2 (39). – pp. 28-32. – ISSN (Print) 2226-3780. – ISSN (Online) 2312-8372. – DOI: 10.15587/2312-8372.2018.121514
10. Щербина О. В. Эвристический метод отбора судов для согласованной работы водного транспорта [Текст] / О. В. Щербина, А. Г. Шибяев // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту «Наука та прогрес транспорту»: зб. наук. пр. – Дніпр : ДНУЗТ. - 2018. - № 1(73) – С.112-120. - ISSN 2307-3489 (Print). - ISSN 2307-6666 (Online). - doi 10.15802/stp2018/

#### References

1. Wiegmans B. W., Konings R. Strategies and innovations to improve the performance of barge transport // European journal of transport and infrastructure research EJTIR. 2007. Vol. 7, No. 2.
2. Konings J. W. Intermodal Barge Transport: Network Design, Nodes and competitiveness. URL: <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid%3Aff6f5f10-2acc-43fb-9474-5317b0988bdd/> (Last accessed: 17.12.2017).
3. Caris A., Macharis C., Janssens G. Modelling corridor networks in intermodal barge transport. 2010. URL: <http://www.wctrs-society.com/wp/wp-content/uploads/abstracts/lisbon/selected/01919.pdf> (Last accessed: 17.12.2017).
4. Yegorov A. G. Modeli ekspluatatsii sostavov smeshannogo reka-more plavaniya. Morskoy vestnik. 2015. № 1. S. 101-107.
5. Yegorov A. G. Matematicheskaya model' opredeleniya glavnykh kharakteristik sostavnykh sudov. Morskoy vestnik. 2015. № 2. S. 85-89.
6. Shcherbina O. V. Osnovnykh printsipov organizatsii deyatel'nosti barzhebukirsnykh suden [Текст] / О. В. Shcherbina, О. Г. Shibaev // Organizatsiya transport protsesu ta upravlinnya robotoyu flotu na rinku mizhnarodnogo sudnaplavstva (chastina 2): kol. monogr. - Odesa: KUPRIENKO SV, 2017. - 69-79 s. - ISBN 978-966-2769-99-9. - [Índeksuēt'sya u mizhnarodnii naukometrichnii bazi danikh RÍNTS]
7. Shcherbina O. V. Opredeleniye tiporazmera barzhebukirnogo sostava [Текст] / О. В. Shcherbina // Naukoviy zhurnal «Vіsник SNU ім. V. Dаlyа» - 2017. - №4 (234). - S. 248-253. - ISSN 1998-7927
8. Bogdanov B.V., Alchudzhan G.A., Zhinkin V.B. Proyektirovaniye tolkayemykh sostavov i sostavnykh sudov. - L.: Sudostroyeniye, 1981. - 224 s.
9. Shcherbina O. Development of imitation model for selection of tug barge vessels for work on the line / O. Shcherbina // International Journal "Technology audit and production reserves", 2018. – Vol. 1/2 (39). – pp. 28-32. – ISSN (Print) 2226-3780. – ISSN (Online) 2312-8372. – DOI: 10.15587/2312-8372.2018.121514
10. Shcherbina O. V. Evristicheskiy metod otbora sudov dlya soglasovannoy raboty vodnogo transporta [Текст] / О. В. Shcherbina, А. Г. Shibaev // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту «Наука та прогрес транспорту»: зб. наук. пр. - Дніпр: ДНУЗТ. - 2018. - № 1 (73) - S.112-120. - ISSN 2307-3489 (Pechat'). - ISSN 2307-6666 (onlayn). - doi 10.15802/stp2018/

#### Шибяев О.Г., Щербина О.В. Склад і послідовність операцій при організації роботи баржебуксирних суден

*У статті представлена структурна модель організації роботи баржебуксирних суден із застосуванням економіко-математичного та імітаційного моделювання на основі логіко-евристичного походу з урахуванням сформульованого комплексу вимог. Модель описує повний цикл завдань і включає в себе питання обґрунтування типорозміру судна для роботи на схемі при певній формі організації роботи його функціональних елементів, а також питання розподілу і закріплення суден за графіком руху. Запропонована модель дослідження справедлива для баржебуксирних суден різних за формою корпусу барж, способом водіння і районом плавання*

**Ключові слова:** баржебуксирне судно, типорозмір, розподіл суден, графік руху

#### Shibaev A.G., Shcherbina O.V. Composition and sequence of operations at the organization of the work of the tug barge vessels

*The article presents a structural model for the organization of the tug barge vessels using economical, mathematical and simulation modeling based on a logical-heuristic approach, taking into account the formulated set of requirements. The model describes the full cycle of tasks and includes the questions of justification of the vessel's size for working on the scheme with a certain form of organization of act its functional elements, as well as issues of distribution and fixing of vessels for the traffic schedule. The proposed model of research is valid for the tug barge vessels with various shaped of barge hull, the way of driving and the area of navigation.*

**Keywords:** the tug barge vessels, type size, distribution of vessels, traffic schedule

**Шибяев Александр Григорович** – д.т.н., проф. кафедри «Експлуатація флоту та технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету.

**Щербина Ольга Василівна** – аспірантка кафедри «Експлуатація флоту та технологія морських перевезень» зі спеціальності 05.22.01. «Транспортні системи», здобувач наукового ступеня кандидата технічних наук. асистент кафедри «Експлуатація флоту та технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету. [olahome@rambler.ru](mailto:olahome@rambler.ru)

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 23.03.2018.

**ВІСНИК  
СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ  
№ 2 (243) 2018**

**Науковий журнал**

Відповідальний за випуск

Горбунов М.І.

Оригінал-макет

Могильна О.В.

**Статті надруковано в авторській редакції**

Підписано до друку 11.05.2018 р.  
Формат 60 x 84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Times.  
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 31,6. Обл.-вид. арк. 32,9.  
Наклад 300 прим. Вид. № 3161. Ціна вільна.

Видавництво  
Східноукраїнського національного університету  
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

**Адреса університета:** просп. Центральний 59-А  
м. Сєвєродонецьк, 93400, Україна  
**E-mail:** [vidavnictvoSNU.ua@gmail.com](mailto:vidavnictvoSNU.ua@gmail.com)

Надруковано:  
Відділ технічного обслуговування СНУ ім. В. Даля  
Адреса: просп. Центральний, 59-а  
м. Сєвєродонецьк, 93400