

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ



ВІСНИК

**Східноукраїнського
національного університету
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 3 (251)
2019**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Сєвєродонецьк 2019

ВІСНИК

СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

№ 3 (251) 2019

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ

ВИХІД З ДРУКУ - ДВНАДЦЯТЬ 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

№ 3 (251) 2019

THE SCIENTIFIC JOURNAL

WAS FOUNDED IN 1996

IT IS ISSUED TWELVE 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.

Журнал включено до Міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus International (ICV 2017: 48.35).

ISSN 1998-7927

Головна редакційна колегія:

Поркуян О.В., докт. техн. наук (головний редактор),
Голубенко О.П., 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,
Заблудська 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. І., 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,
Залізник 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 23 квітня 2019 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2019
© Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2019

ЗМІСТ

Горбунов Н.И., Герлицы Ю., Кравченко Е.А., Бурейка Г., Стейшунас С., Лак Т. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ВТОРОЙ СТУПЕНИ РЕССОТНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ	9
Горбунов М.І., Просвірова О.В., Ковтанець М.В., Кравченко К.О. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ВПЛИВУ МЕТОДІВ І РЕЖИМІВ ОХОЛОДЖЕННЯ НА КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ І ТЕМПЕРАТУРУ КОНТАКТУЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ	16
Blatnický M., Dižo J., Kravchenko O. STRENGTH ANALYSIS OF SUPPORTING PARTS OF A DOOR SYSTEM MOUNTED ON A RAILWAY VEHICLE	21
Kapski D., Korzova A. MEASURES OF SPEED CONTROL IN THE REPUBLIC OF BELARUS	27
Баб'як М.О. ЕКСПЛУАТАЦІЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ КОНТАКТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	33
Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.С. ПРИБУДИНКОВІ ТЕРИТОРІЇ: ТЕНДЕНЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ЇХ ПРОБЛЕМИ	39
Бурлыга М.Б. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ГИДРООБЪЕМНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ПОЛУПРИЦЕПА АКТИВНОГО АВТОПОЕЗДА ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ	48
Василенко Н.А., Гончаров В.В., Климаш А.А. УЛУЧШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ С ПОМОЩЬЮ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ	54
Дмитрієв Д.В., Валігура М.Я. ЭФЕКТИВНЫЙ СТЕНД ДЛЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ГАЛЬМОВОЇ СИСТЕМИ ВАНТАЖНОГО ТИПУ	57
Заверкин А.В., Марченко Д.Н., Кузьменко С.В., Чередниченко С.П. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ГРУЗОВЫХ ФРОНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	60
Заверкин А.В., Марченко Д.Н., Кузьменко С.В., Чередниченко С.П. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА	65
Иванова И.Н. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РОЛИ ПОРТОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ	73
Кельріх М.Б., Брайковська Н.С., Фомін О.В., Прокопенко П.М. ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ВАГОНА-ЦИСТЕРНИ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ	77
Кічкін О.В., Кічкіна О.І., Водолазський О.О. МЕТОДИКА ПОПЕРЕДЖЕННЯ, АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТРАХОВИХ ВИПАДКІВ ПІДПРИЄМСТВА-АВТОПЕРЕВІЗНИКА В США	84
Кічкін О.В., Кічкіна О.І. НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ – ОСНОВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ В РЕФРИЖЕРАТОРНИХ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ	89

Кравченко О.А. ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ СУДЕН ПОСТАЧАННЯ МОРСЬКИХ БУРОВИХ ПЛАТФОРМ І ОРГАНІЗАЦІЯ ЇХ РОБОТИ.....	94
Кравченко О.П., Чуйко С.П. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ САЛОНУ АВТОБУСУ У ТЕПЛІЙ ПЕРІОД РОКУ	101
Кузьменко С.В., Заверкін А.В., Сергієнко О.В. ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОТЕХНІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНУ	107
Кунда Н.Т., Бабина Д.А. 3D-МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ РІЗНИХ ВИДІВ ТРАНСПОРТУ	113
Ловська А. О., Рибін А. В. ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНИ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПОРОМІ.....	117
Міляннич А.Р. ЗАЛЕЖНІСТЬ ВАРТОСТІ РЕМОНТУ ВАГОННОГО ВУЗЛА ВІД РОЗПОДІЛЕННЯ ДОПУСКІВ ОБРОБКИ ОКРЕМИХ ЙОГО ДЕТАЛЕЙ.....	123
Мурад'ян А.О., Русанова С.С. ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ УЗГОДЖЕНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ПЕРЕВАЛКИ ВАНТАЖІВ У ТРАНСПОРТНОМУ ВУЗЛІ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ ДІЛОВОЇ ПОВЕДІНКИ І СОЦІАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ.....	128
Піддубна Н.М., Кирічок А.В. ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗТАШУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ЦЕНТРІВ В ЛОГІСТИЧНІЙ ПІДСИСТЕМІ РОЗПОДІЛУ	135
Потапенко О.О., Могила В.І. ПЕРСПЕКТИВНА КОНСТРУКЦІЯ РЕСОРНОГО ПІДВІШУВАННЯ ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	144
Ромах В.Л. ФОРМИРОВАНІЙ ЭФФЕКТИВНОГО МНОЖЕСТВА АЛЬТЕРНАВ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КЛАСТЕРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ	151
Савченко М. В., Шкуренко О. В. УПРАВЛІННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЮ ПІДПРИЄМСТВА У КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.....	156
Смокова Т.М. ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ ТА СКЛАД ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	160
Суворов П.С., Тарасенко Т.В., Залож В.И., Максимов С.Б. О СООТНОШЕНИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ДЛЯ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ	168
Тимошук О.М., Дакі О.А. МЕТОД СИНТЕЗУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО СИГНАЛУ З БУДЬ-ЯКОЮ КІЛЬКІСТЮ ТОЧОК ПЕРЕМИКАННЯ	176
Федосов-Ніконов Д.В., Стринжа А.М., Шамшей Д.О., Полулях В.М., Федоров В.В., Шушмарченко В.О. ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ВАГОНІВ ПІД ЧАС ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ	181
Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В, Шелест Д.А., Фоміна А.М. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОЇ ПРАВКИ БАЛКИ ХРЕБТОВОЇ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ-ПЛАТФОРМ	186
Фомін О.В., Осьмак В.Є., Лебедєв В.С., Цимбалюк А.В. АНАЛІЗ РУЙНІВНИХ НАПРУЖЕНЬ НАДРЕСОРНОЇ БАЛКИ ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНУ ТИПОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ (ЧАСТИНА 2)	191

Хаусер В., Кравченко Е., Ноженко Е.**КОНЦЕПТ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕЛЕЖКИ ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА
С УМЕНЬШЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ПУТЬ..... 198****Холодова О.О., Левченко О.С.****ФОРМУВАННЯ СИСТЕМ ПЕРЕХОПЛЮЮЧИХ ПАРКІНГІВ
У ВЕЛИКИХ МІСТАХ 205****Чайковський І. В.****ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЮ І АНАЛІЗУ РОБОТИ ФЛОТУ..... 212****Яровий Р.О., Чернецька-Білецька Н.Б.****МЕТОДИКА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ
ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО ГАЛЬМУВАННЯ 216**

CONTENTS

Gorbunov M.I., Gerlici J., Kravchenko K.O., Bureika G., Steišūnas S., Lack T. THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF DEVELOPMENT SECOND STAGE SPRING SUSPENSION.....	9
Gorbunov M., Prosvirova O., Kovtanets M., Kravchenko K. EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE INFLUENCE OF METHODS AND MODES OF COOLING ON THE COEFFICIENT OF FRICTION AND TEMPERATURE OF CONTACTING SURFACES	16
Blatnický M., Dižo J., Kravchenko O. STRENGTH ANALYSIS OF SUPPORTING PARTS OF A DOOR SYSTEM MOUNTED ON A RAILWAY VEHICLE	21
Kapski D., Korzova A. MEASURES OF SPEED CONTROL IN THE REPUBLIC OF BELARUS	27
Babyak M. OPERATION OF RESOURCE-SAVING CONTACT ELEMENTS OF URBAN ELECTRIC TRANSPORT.....	33
Biloshytska N., Tatarchenko G., Biloshytskiy M., Uvarov P. NEAR HOUSE TERRITORY: TRENDS OF THE ORGANIZATION AND THEIR PROBLEMS.....	39
Burlyga M. CHOICE OF HYDRAULIC DRIVE SYSTEM RATIONAL SCHEME FOR ACTIVE SEMI-TRAILER ROAD TRAIN TERRAIN	48
Vasilenko N.A., Honcharov V.V., Klimash A.A. IMPROVEMENT OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CYLINDROPIRCL GROUP DETAILS USING IONIC IMPLANTATION METHOD	54
Dmytriev D.V., Valigura M.Y. EFFICIENT STAND FOR SCIENTIFIC RESEARCH RAILWAY BRAKING SYSTEM OF CARGO TYPE	60
Zaverkin A., Marchenko D., Kuzmenko S., Cherednychenko S. THEORETICAL PROVISIONS EFFECTIVE OPERATIONAL WORK OF FREIGHT FRONTS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES	60
Zaverkin A., Marchenko D., Kuzmenko S., Cherednychenko S. STUDY OF TRANSPORT SYSTEMS IN A LIMITED LOCOMOTIVE PARK	65
Ivanova I. N. IDENTIFICATION OF THE PORT TERMINALS' LOGISTIC ROLE	73
Kelrich M., Braykovskaya N, Fomin O., Prokopenko P. THEORETICAL CHARACTERISTICS OF TANK-CARS ATION TESTS FOR CARRIAGE OF DANGEROUS CARGOES.....	77
Kichkin O.V., Kichkina O.I., Vodolazskiy O.O. METHODS OF WARNING, ANALYZING AND FORECASTING INSURANCE CASES OF A TRUCK CARRIER IN THE USA	84
Kichkin A.V., Kichkina O.I FUZZY MODELING - THE BASIS OF INTELLECTUAL TEMPERATURE CONTROL IN REFRIGERATOR VEHICLES.....	89
Kravchenko O.A. JUSTIFICATION OF THE OPTIMAL STRUCTURE OF VESSELS SUPPLYING MARINE DRILLING PLATFORMS AND THE ORGANIZATION OF THEIR WORK.....	94

Kravchenko O., Chuiko S. STUDY OF THE HEAT BALANCE OF THE PASSENGER COMPARTMENT IN THE WARM SEASON.....	101
Kuzmenko S., Zaverkin A., Serhiienko O. DETERMINATION OF RATIONAL GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE HEAT ENGINEERING EQUIPMENT OF PASSENGER CARS	107
Kunda N.T., Babyna D.A. 3D MODELLING OF INTEROPERABLE MULTIMODAL TRANSPORTATION	113
Lovska A. O., Rybin A. V. FEATURES OF DYNAMIC LOADING OF TANK-CONTAINER FOR TRANSPORTATION ON RAILWAY FERRY	117
Milyanych A. THE DEPENDENCE OF THE COST OF REPAIR OF WAGON NODE ON THE DISTRIBUTION OF ADMISSION FOR THE PROCESSING OF CERTAIN DETAILS	123
Muradian A.O., Rusanova S.S. JUSTIFICATION THE METHODOLOGY OF THE PROCESS OF GOODS TRANSPORTATION IN A TRANSPORT CENTER BASED ON THE CONCEPT OF BUSINESS CONDUCT AND SOCIAL MANAGEMENT	128
Poddubnaya N., Kyrichok A. OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION CENTERS IN THE LOGISTICS DISTRIBUTION SUBSYSTEM.....	135
Potapenko O., Mogila V. PERSPECTIVE DESIGN OF SPRING SUSPENSION OF THE CART OF THE FREIGHT WAGON AND THE RESULTS OF ITS STUDY	144
Romakh V.L. FORMATION OF EFFECTIVE SET OF ALTERNES IN SOLVING THE TASKS OF CLUSTER OPTIMIZATION	151
Savchenko M. V., Shkurenko O. V. MANAGEMENT OF THE COMPETITIVENESS OF THE ENTERPRISE IN THE CONTEXT OF PROVISION OF ECONOMIC SECURITY.....	156
Smokova T. DETERMINATION OF CONCEPTS AND COMPOSITION OF TRANSPORT AND LOGISTIC INFRASTRUCTURE.....	160
Suvorov P., Tarasenko T., Zalozh V., Maksymov S. ABOUT RATIO OF ENERGY EFFICIENCY AND ECOLOGICAL COMPATIBILITY FOR INLAND NAVIGATION VESSELS	168
Tymoshchuk O.M., Daki O.A. METHOD OF SYNTHESIS OF THE MEASUREMENT SIGNAL WITH ANY QUANTITY OF THE CIRCUMFERENCE POINT.....	176
Fedosov-Nikonov D.V., Strynzha A.A., Shamshei D.A., Poluliakh V.N., Fedorov V.V., Shushmarchenko V.A. THE STUDY OF CORROSION DAMAGE TO CAR COMPONENTS DURING TECHNICAL DIAGNOSTICS	181
Fomin O.V., Logvinenko O.A., Burlutskyi O.V., Shelest D.A., Fomina A.M. MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF THERMAL EDITING OF THE RACK OF RACKS CARGO WAGONS-PLATFORMS.....	186
Fomin O., Osmak V., Lebedev V., Tsymbaliuk A. ANALYSIS OF RELATED STRESSES OF THE NADRASON STEERING WIRE OF VEHICLE WAGON OF THE TYPE CONSTRUCTION (PART 2).....	191

Hauser V., Kravchenko K., Nozhenko O.	
THE INNOVATIVE TRACKFRIENDLY TRAM BOGIE CONCEPTION	198
Kholodova O., Levchenko O.	
CREATION OF THE SYSTEMS OF PARK AND RIDES IN THE BIG CITIES	205
Tchaikovsky I. V.	
MAIN PRINCIPLES OF MATHEMATICAL SUPPORT SYSTEMS OF THE CONTROL AND ANALYSIS OF THE FLEET WORK	212
Yarovoy R., Chernetska–Biletska, N.	
METHOD OF IMMATIOUS MODELING OF ELECTRODYNAMIC BRAKING PROCESSES	216

УДК 629.4

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ
ВТОРОЙ СТУПЕНИ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ****Горбунов Н.И., Герлицы Ю., Кравченко Е.А., Бурейка Г., Стейшунас С., Лак Т.****THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF DEVELOPMENT SECOND
STAGE SPRING SUSPENSION****Gorbunov M.I., Gerlici J., Kravchenko K.O., Bureika G., Steišūnas S., Lack T.**

В статье рассматриваются методы и способы улучшения динамических качеств локомотива, снижения силового воздействия на путь и износа бандажей и рельсов за счёт усовершенствования рессорного подвешивания второй ступени. На основе расчётов по математическим моделям и экспериментальных исследований предложено ряд конструктивных решений опорно-возвращающих устройств с рациональными характеристиками, которые позволяют обеспечить повышение тяговых качеств локомотива, снизить динамическое воздействие на путь в вертикальной и горизонтальной плоскости в прямых и кривых участках пути, центрировать кузов относительно тележек. Предлагаемые связи кузова с тележками испытаны на созданном стендовом оборудовании и в эксплуатационных условиях. Конструкция связи кузова с тележками позволяет обеспечить требуемые жёсткостные и демпфирующие характеристики за счёт оптимизации конструкции.

Ключевые слова: вторая ступень рессорного подвешивания, статический прогиб, резино-металлические элементы, угол поворота тележки.

Введение. Анализ исследования показал, что самым дорогостоящим и проблемным является создание и техническая реализация экипажной части локомотива, которая во многом предопределяет его технико-экономическую эффективность как тягового транспортного средства [1-8]. В то же время противоречива оценка этой эффективности, вызванная сложными и неоднозначными зависимостями тягово-сцепных, динамических и других качеств локомотива. Изменение характеристик опорно-возвращающих устройств позволяет обеспечить: повышение тяговых качеств локомотива; снижение максимального динамического воздействия на путь в вертикальной и горизонтальной плоскостях в прямых и кривых участках пути; центрирование кузова относительно тележек и т.д. В связи с этим исследования характеристик связи кузова с тележкой локомотива и дальнейшее совершенствование ее кон-

струкции, направленное на улучшение динамических качеств локомотива и, как следствие, снижение силового воздействия на путь и износа бандажей и рельсов, является актуальной задачей [1-8].

Опорно-возвращающие устройства большинства локомотивов представляют собой комбинацию опоры качения и блока резинометаллических элементов (РМЭ). Опора одновременно обеспечивает поворот тележки, поперечное смещение и вертикальный прогиб кузова относительно тележек. Роликовые опорно-возвращающие устройства установлены на раме тележки таким образом, что относительное перемещение тележек и кузова в горизонтально-поперечном направлении происходит за счёт упругих резинометаллических элементов. Поворот тележки относительно кузова обеспечивается за счёт деформации РМЭ и перекачивания роликов по наклонным поверхностям.

Как показали исследования тепловозов серии 2ТЭ116 и ТЭ121 такое рессорное подвешивание не обеспечивает центровку кузова относительно тележек при поперечном смещении его в шкворневом зазоре, смещение кузова от среднего положения вызывает односторонний перегруз колёсных пар, что в свою очередь вызывает увеличение скольжения её осей при реализации силы тяги, нецентровка кузова приводит к смещению от центрального положения точки передачи тягового усилия от тележки на кузов, что вызывает появление между ними поворачивающего момента, и как следствие, перекаса тележки в рельсовой колее, увеличивая, тем самым поперечное скольжение колёсных пар [6]. Нецентровка кузова, очевидно, является следствием недостаточной поперечной жёсткости связи кузова с тележками.

Основной материал исследований. Для определения параметров эффективного функционирующих опорно-возвращающих элементов разработана

методика определения характеристик сдвига резинометаллических элементов.

В опорах кузова тепловоза на тележки блоки резинометаллических элементов воспринимают вертикальную нагрузку Q_0 и поперечную горизонтальную силу $P_{\text{св}}$ (рис. 1). Опорные пластины концевых РМЭ остаются параллельными друг другу независимо от относительных поперечных перемещений кузова и тележки. Учитывая указанный факт, существующие методы расчёта упругих характеристик одного резинового амортизатора необоснованно применяют и для расчёта характеристик блоков из нескольких амортизаторов, установленных друг на друга [9]. При этом предполагается, что остальные пластины резинометаллических элементов остаются параллельными опорным поверхностям независимо от величины относительного смещения тележек под кузовом.

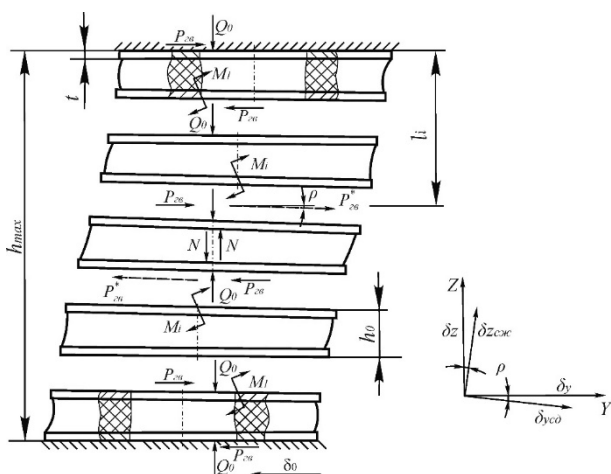


Рис. 1. Расчетная схема блока опоры, состоящего из резинометаллических элементов

Более точные способы решения задач теории упругости применительно к одной резиновой детали заключаются в установлении величины напряжений и перемещений, удовлетворяющих условиям равновесия и граничным условиям, а в случае решения системы уравнений и условиям совместности деформаций. Метод расчёта, представленный в работе [9, 10], основан на применении энергетического метода Ритца, при котором задаются соответствующие условиям задачи выражения для перемещений, которые удовлетворяют условию постоянства объёма; по перемещениям вычисляются компоненты деформаций и инварианты; подсчитывается энергия деформации посредством интегрирования выражения удельной энергии по всему объёму; вычисляется потенциал внешних сил и составляется выражение полной энергии системы; коэффициенты определяются по условиям минимума энергии; определяются направления и величины главных деформаций; определяются главные напряжения и напряжения в интересующих площадках.

В работе представлена методика расчёта характеристик сжатия столба поставленных друг на друга

плоских резиновых дисков, привулканизированных к стальным пластинам. В указанном случае каждый из резиновых элементов всего блока подвергается одним и тем же нагрузкам и деформациям.

Как показали эксперименты, в реальных условиях под действием возвращающей силы $P_{\text{св}}$ и вертикальной нагрузки Q_0 наряду с поперечными и вертикальными относительными перемещениями стальных пластин наблюдается неодинаковый для различных по положению в блоке РМЭ относительный поворот пластин вокруг продольной горизонтальной оси, что объясняется разными по величине дополнительными моментами сил M_l . Таким образом, при определении упругих характеристик блока резинометаллических элементов должны учитываться не только характеристики одного РМЭ и их количество в блоке, но и вертикальная и горизонтальная нагрузки, создающие различные по величине изгибающие моменты сил, действующие на каждый РМЭ блока, т.е. и их угловые перемещения.

Решение задачи определения одной из упругих характеристик блока резинометаллических элементов – жёсткости на поперечный сдвиг – целесообразно начать с предложения о том, что известна возвращающая сила $P_{\text{св}}$, и затем найти величину поперечного перемещения опорных поверхностей δ_0 . Особый интерес представляет определение горизонтальной и вертикальной деформаций среднего резинометаллического элемента при поперечном смещении опорных поверхностей блока РМЭ на δ_0 с учётом поворота на угол ρ (рис. 1).

Предположим, что к среднему резинометаллическому элементу приложены вертикальная сила Q_0 и горизонтальная сила $P_{\text{св}}$. Параллельность этих пластин свидетельствует о том, что резиновая шайба не воспринимает каких-либо изгибающих моментов. Тогда равнодействующая сил Q_0 и $P_{\text{св}}$ может быть заменена нормальным давлением N и сдвигающей силой $P_{\text{св}}^*$:

$$N = Q_0 \cdot \cos \rho - P_{\text{св}} \cdot \sin \rho \quad (1)$$

$$P_{\text{св}}^* = P_{\text{св}} \cdot \cos \rho + Q_0 \sin \rho \quad (2)$$

С увеличением угла наклона ρ резинометаллического элемента, сила сжатия уменьшится на величину ΔQ_0

$$\Delta Q_0 = Q_0 - Q_0 \cdot \cos \rho + P \cdot \sin \rho \quad (3)$$

Соответственно, деформация резинового элемента по толщине уменьшится на величину:

$$\delta_{z \text{ сж}}^* = \frac{\Delta Q_0}{\mathcal{K}_{\text{сж}}} \quad (4)$$

где $\mathcal{K}_{\text{сж}}$ – жесткость на сжатие резинового элемента, значение которой определим как:

$$\mathcal{K}_{\text{сж}} = \frac{\pi(R^2 - r^2)E_{\text{сж}}}{h_0} \quad (5)$$

где R – радиус резинового элемента; h_0 – толщина резинового элемента; k – коэффициент формы резинового элемента; $E_{\text{сж}}$ – модуль упругости на сжатие резинового элемента, значение которого можно определить по формуле [10]:

$$E_{\text{сж}} = 6 \cdot G(1 + k^2), \quad (6)$$

где G – модуль упругости на сдвиг резинового элемента.

Для резинового элемента, представляющего собой полуку шайбу с внутренним диаметром d , коэффициент формы k будет равен [11]:

$$k = \frac{D - d}{4h} \quad (7)$$

В то же время деформация сдвига вдоль пластины станет равной:

$$\begin{aligned} \delta_{y \text{ сд}}^* &= \frac{P_{\text{сж}}^*}{\mathcal{K}_{\text{сд}}} \\ \mathcal{K}_{\text{сд}} &= \frac{\pi(R^2 - r^2)G}{h_p} \\ h_p &= h_0 \left(1 - \frac{Q_0}{\mathcal{K}_{\text{сж}}}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

где $\mathcal{K}_{\text{сд}}$ – жесткость на сдвиг резинового элемента; G – модуль упругости на сдвиг резинового элемента; h_p – толщина резинового элемента под нагрузкой.

Полная вертикальная деформация наклонного резинового элемента получится равной:

$$\delta_z = -\delta_{z \text{ сж}}^* \cdot \cos \rho + \delta_{y \text{ сд}}^* \cdot \sin \rho \quad (9)$$

Горизонтальная деформация наклонного резинового элемента равна:

$$\delta_y = -\delta_{z \text{ сж}}^* \cdot \sin \rho + \delta_{y \text{ сд}}^* \cdot \cos \rho \quad (10)$$

Величину поперечного смещения других резино-металлических элементов в блоке опоры с достаточной точностью можно определить по углу наклона стальных пластин данного РМЭ:

$$\delta_{yi} = -\delta_{z \text{ сж}}^* \cdot \sin \rho_i + \delta_{y \text{ сд}}^* \cdot \cos \rho_i \quad (11)$$

$$\rho_i = \frac{\rho_{i-1}^* + \rho_i^*}{2} \quad (12)$$

где ρ_{i-1}^* – угол наклона наружной от центра блока пластины i -го РМЭ; ρ_i^* – угол наклона внутренней пластины i -го РМЭ.

Для нахождения угла наклона РМЭ резиновую шайбу, рассмотрим как деформируемый стержень, находящийся под действием поперечной силы $P_{\text{сж}}$ и момента сил M_i в условиях жесткого крепления одним концом к неподвижной поверхности. По формулам малых деформаций из закона Гука следует, что расчетное значение угла наклона одной стальной пластины относительно другой может быть определено по формуле:

$$\rho_i^* = \frac{P_{\text{сж}} h_p^2}{2EI_x} + \frac{M_i h_p}{EI_x} = \frac{h_p}{EI_x} \left(\frac{P_{\text{сж}} h_p}{2} + M_i \right) \quad (13)$$

где I_x – момент инерции резиновой шайбы относительно оси ОУ, проходящей через ее геометрический центр; M_i – момент сил, действующий на резинометаллический элемент и зависящий от его местонахождения в резиновом столбе, значение которого можно определить по формуле:

$$\begin{aligned} M_i &= P_{\text{сж}} l_i + Q_0 \frac{\delta_0 \cdot l_i}{h_{\text{max}}} = (P_{\text{сж}} + Q_0 \frac{\delta_0}{h_{\text{max}}}) \cdot (h_p + 2t) \cdot i \\ h_{\text{max}} &= (h_p + 2t) \cdot n \end{aligned} \quad (14)$$

где n – количество РМЭ элементов в блоке; t – толщина стальной пластины; i – количество РМЭ от центра блока.

Тогда относительное угловое перемещение стальных пластин одного РМЭ равно:

$$\rho_i = \frac{h_p}{EI_x} \left[\frac{P_{\text{сж}} h_p}{2} + (P_{\text{сж}} + Q_0 \frac{\delta_0}{h_{\text{max}}}) (h_p + 2t) \cdot i \right] \quad (15)$$

Так же следует иметь в виду, что деформация резинового столба увеличивается в поперечном направлении на величину, равную:

$$\delta_i^* = \frac{P_{\text{сж}} h_p^3}{3EI_x} + \frac{M_i h_p^2}{2EI_x} = \frac{h_p^2}{2EI_x} \left[\frac{2P_{\text{сж}} h_p}{3} + (P_{\text{сж}} + Q_0 \frac{\delta_0}{h_{\text{max}}}) (h_p + 2t) i \right] \quad (16)$$

Величина полного поперечного перемещения опорных поверхностей, вызванная силами $P_{\text{сж}}$ и Q_0 , действующими на одну опору кузова, складывается из углов поворота и поперечного смещения всех резинометаллических элементов блока. Так, для опоры, полное поперечное перемещение опорных поверхностей определяется по формуле:

$$\delta_0 = \sum_{i=1}^n \delta_{yi} + \sum_{i=1}^n \delta_i^* \quad (17)$$

Жесткость сдвига блока РМЭ определяется как результат деления величины возвращающей поперечной силы $P_{\text{сж}}$ на поперечное перемещение его опорных поверхностей:

$$Ж_{сдо} = \frac{P_{гв}}{\delta_0} \quad (18)$$

Таким же образом получены формулы для расчета жесткости для блоков, состоящих из различного количества РМЭ. Сравнивая значения упругих характеристик блока РМЭ, полученные по предлагаемой методике, со значениями, получаемыми по существующей методике [10, 12], когда $Ж_{сдоп} = \frac{Ж_{сд}}{n}$, где n

- количество РМЭ в блоке, определяем, что разница между значениями жесткости сдвига блока РМЭ может достигать 10%-40 %. В то же время с увеличением горизонтальной силы $P_{гв}$ значения статического прогиба могут отличаться на 19 %, в случае же отсутствия горизонтальной силы такой разности практически не существует. С увеличением вертикальной нагрузки на опору Q_0 разность значений $Ж_{сдо}$, полученная по обоим методикам, возрастает, в случае же отсутствия вертикальной нагрузки такой разности практически не существует. Таким образом, жесткость сдвига блока резинометаллических элементов, определяемая по существующей методике, отличается от предлагаемой тем, что она не учитывает различий в условиях деформаций отдельных РМЭ, то, как показывают экспериментальные исследования, вносит существенную погрешность в получаемые результаты. Так расчёт жёсткости сдвига блока из семи РМЭ по разработанной методике позволяет по сравнению с существующей методикой повысить точность расчёта в 9...10 раз, то есть разность расчётных и экспериментальных значений $Ж_{сдоп}$ снижается с 17...40 % до 1,65...4 %.

Преимуществом разработанной методики расчёта жёсткости сдвига опоры с блоком РМЭ является то, что её использование позволяет более точно определить упругие характеристики блока с любым заранее заданным количеством РМЭ и величиной вертикальной нагрузки на опору.

Согласно проведенным расчётам с увеличением вертикальной нагрузки на опору и количества РМЭ в блоке следует ожидать уменьшения возвращающей силы в связи кузова с тележками локомотива и снижения устойчивости кузова на тележках. Т.о. при конструировании экипажной части следует обратить внимание на то, что для улучшения динамических качеств необходимо увеличить статический прогиб, однако при этом обеспечить устойчивость опор за счёт оптимизации жёсткости, тем самым обеспечивая высокие тяговые качества и безопасное вписывание в кривые участки пути.

Эксперимент

Эксперименты по определению упругих деформаций РМЭ опор различной конфигурации в горизонтальной плоскости; выбор рациональной конструкции боковой опоры кузова на тележку проведены на стендовой установке ОАО ХК "Лугаскеловоз" [9].

Стендовая установка позволяет имитировать реальные условия работы возвращающих устройств тепловоза. На рис. 2 показан внешний вид стендовой установки и схема стендовой установки (вид сбоку).

Стендовая установка содержит неподвижное основание 3, на котором расположена подвижная каретка 1, имитирующая тележку. На неподвижном основании 1 установлена стойка рама 5 с винтом вертикального нагружения, а также закреплена стойка винта горизонтального нагружения. Винт горизонтального нагружения 7 связан с подвижной кареткой 1 посредством динамометра 6. Между подвижной кареткой 6 и органом вертикального нагружения 4, имитирующими тележку и кузов, устанавливается испытуемый РЭМ опоры.

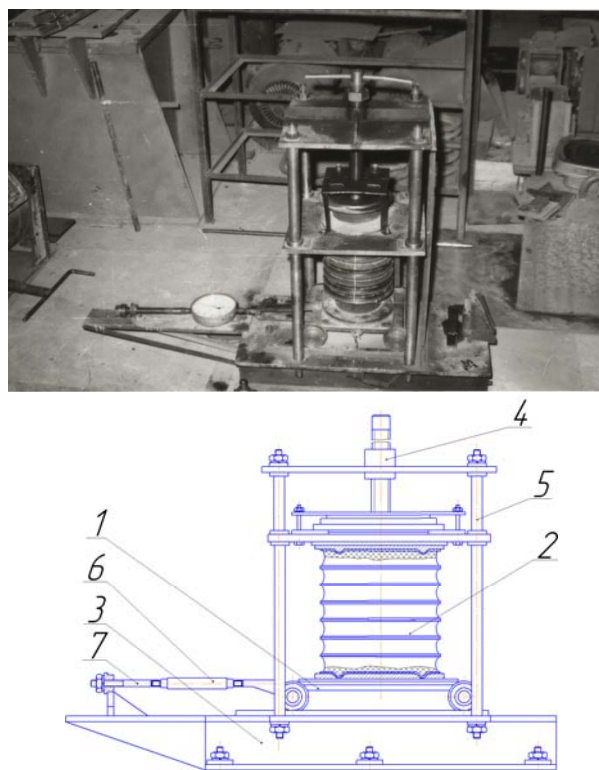


Рис. 2. Общий вид и схема (вид сбоку) стэнда для статических испытаний РМЭ:

1-каретка; 2- РМЭ; 3- основание;
4 - винт вертикального нагружения; 5- стойка, рама;
6- динамометр; 7- винт горизонтального нагружения

Перед началом испытаний все РМЭ подвергались проверке на соответствие требованиям чертежа. Под статической нагрузкой 110 кН производились замеры вертикального прогиба РМЭ и опоры в целом.

Работает стендовая установка следующим образом.

В соответствии с программой испытаний комплект РМЭ 2 устанавливался на подвижную каретку 1 стэнда, максимальное перемещение которой – 140 мм. Вертикальная нагрузка создавалась винтом 4

посредством замкнутой пространственной рамы 5 и основания 3. Горизонтальные перемещения опоры осуществлялись винтом 7, замеры усилий производились динамометром 6 типа Дор 3-5.

На каждый РМЭ опоры по его периметру наносилась средняя продольная линия, для комплекта РМЭ проводилась вертикальная средняя линия. Пересечения указанных линий использовались для проведения замеров как вертикальных, так и горизонтальных перемещений.

После нагружения опоры статической нагрузкой 110 кН, которая контролировалась по прогибу РМЭ, к опоре прикладывалось горизонтальное усилие, регистрируемое динамометром; получаемые горизонтальные и вертикальные перемещение РМЭ измерялись линейкой 150 ГОСТ 427-75.

Перед снятием рабочих характеристик опоры производилось циклическое нагружение комплекта РМЭ в горизонтальном направлении до получения стабильных характеристик.

Результаты испытаний показывает, что при приложении совместно вертикального и горизонтального усилий, РМЭ серийной опоры нагружены не одинаково, и конфигурация опоры приобретает изогнутую S-образную форму, что свидетельствует о неравномерном напряженном состоянии элементов опоры и возможной потере ею устойчивости. На стендовой установке проведены испытания разных конструкций опорно-возвращающих устройств с отверстиями РМЭ в опоре в разных её частях. На наиболее эффективное решение разработана конструкция опоры, которая была успешно реализована на тепловозе ТЭП150 [13].

Сравнение результатов поколесного взвешивания, показало, что после установки опытных опор центровка кузова тепловоза на тележках улучшилась. Так, максимальная фактическая разность нагрузок колес одной оси в исходном состоянии достигала более 5%, что превышает допустимую величину 4%. После переоборудования секции опытными опорами указанная разность составила 2%.

Конструктивное решение.

Целью конструкции является высокие тягово-динамические и тормозные качества скоростного подвижного состава, центрирование кузова относительно тележек при вписывании экипажа в кривые участки пути. Боковая опора состоит из восьми резинометаллических элементов (РМЭ), работающих на сжатие в вертикальном направлении и на закручивание вокруг вертикальной оси (рис. 3), корпуса, нижняя опорная плита которого соединена штифтами со скользящим и установлена в поддон; верхней опоры с фиксатором, на который установлен комплект резинометаллических элементов. Каждый элемент состоит из резинового амортизатора, привулканизированного к металлическим пластинам. Взаимодействие направляющей с фиксатором, а также кольцевые гофры пластин исключают поперечное смещение резинометаллических элементов в комплектах и в соединениях с опорами. Высота компле-

кта резинометаллических элементов на опоре регулируется шайбами. В корпусе параллельно расположено два ролика, которые соединены обоймами. Подвижные детали опоры, перемещаясь в корпусе параллельно поперечной оси тележки, направляются приваренными к корпусу стальными планками [Декларационные патенты на полезную модель №№ 8060, 50938, 46011, 45011].

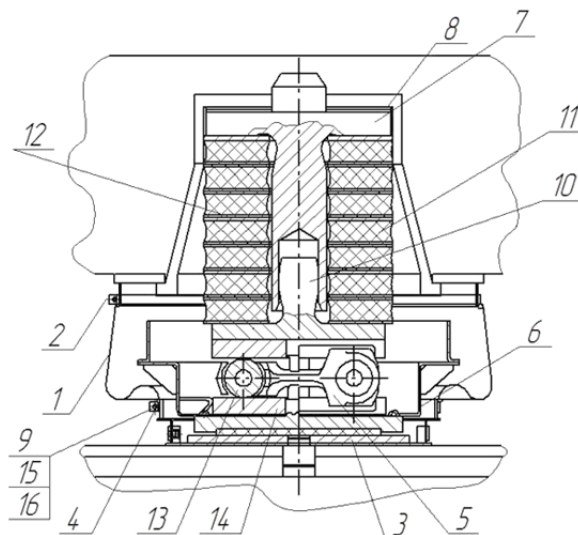


Рис. 3. Схема боковой опоры кузова на тележку

При движении тепловоза по прямому участку пути ролики занимают среднее положение между наклонными поверхностями опор. При вписывании в кривые происходит смещение кузова относительно тележек за счет перемещения опоры на роликах. При этом, ролики, накатываясь на наклонные поверхности опор, создают горизонтальные силы, стремящиеся вернуть кузов в исходное положение. В нижнюю плиту роликового аппарата вмонтирована накладка из полимера (фторопласт – 4), трение скольжения этой накладки по стальной плите обеспечивает поворот тележек относительно кузова в горизонтальной плоскости. Скользящий перемещается по прямой, перпендикулярной радиусу, соединяющего центр опоры со шкворнем.

При движении транспортного средства в режиме тяги, торможения, верхняя часть фиксатора 14 взаимодействует с нижней частью фиксатора 12 по поверхности «А», зазор «В» исчерпывается, устраняя податливость блока РМЭ в продольном направлении оси экипажа, это позволяет обеспечить параллельность верхней и нижней опорных поверхностей РМЭ, и, соответственно, перераспределить вертикальный нагрузки по осям колёсных пар, тем самым обеспечивается улучшение использования сцепного веса и улучшение использования сцепного веса, улучшения тягово-тормозных качеств локомотива.

При входе в кривые участки пути блок РМЭ блокируется, что позволяет устранить перекос кузова в продольном направлении. Для защиты от попадания пыли и влаги во внутреннюю полость опоры

устанавливается чехол. Полость опоры заполняется маслом.

Предложенная конструкция может быть использована как для скоростного подвижного состава, так и для грузового, маневрового.

Натурные испытания данной опоры показали, что, в прямых участках пути на скорости 100 км/ч для тепловоза в исходном состоянии максимальные амплитуды колебаний составили 34 мм, для тепловоза с опытными опорами – 19 мм, максимальные углы поворота достигли соответственно величин $13.2 \cdot 10^{-3}$ рад и $3.6 \cdot 10^{-3}$ рад.

Вывод. В соответствии с целью работы в результате теоретических и экспериментальных исследований определены причины: нецетровки кузова на опорах, увеличенная (в сравнении с нормативами) разность вертикальных нагрузок от каждого из колёс колёсных пар. Выработаны рекомендации по совершенствованию сопряжений кузова с тележками локомотива. Разработанная методика расчёта жёсткости сдвига опоры с блоком РМЭ позволяет более точно определить упругие характеристики блока с любым заранее заданным количеством РМЭ и величиной вертикальной нагрузки на опору. Предлагаемые связи кузова с тележками испытаны на стендовом оборудовании и натурном локомотиве. Разработанная с участием автора конструкция боковой опоры кузова на тележки, позволяющая обеспечить требуемые упругие характеристики, апробирована и внедрена на тепловозе ТЭП150. Установка опытных опор позволила улучшить центровку кузова тепловоза на тележках. Максимальная фактическая разность нагрузок колёс одной оси в исходном состоянии достигала более 5%, что превышает допускаемую величину 4%. После переоборудования секции опытными опорами указанная разность составила 2%.

Л и т е р а т у р а

- Dižo J. Vibration Analysis of a Coach with the Wheel-flat Due to Suspension Parameters Changes / J. Dižo S. Steišunas, M. Blatnický // 12th International Scientific Conference Of Young Scientists On Sustainable, Modern and Safe Transport, TRANSCOM 2017; High Tatras Grand Hotel Bellevue; Slovakia; 31 May 2017 through 2 June 2017. Volume 192, 2017, Pp. 107-112.
- Lack T. Wheel/rail contact stress evaluation by means of the modified strip method / T. Lack, J. Gerlici // *Komunikacie*. Vol. 15, Issue 3: P. 126-132.
- Smetanka, L. Št'astniak, P.; Harušinec, J. Wear research of railway wheelset profile by using computer simulation / L. Smetanka, P. Št'astniak, J. Harušinec // 22-nd Slovak-Polish Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations, MMS 2017. Sklene Teplice. Slovakia. MATEC Web of Conferences. Volume 157, 14 March 2018, Article number 03017.
- Горбунов Н.И. Пути решения проблемы повышения тягово-сцепных и динамических качеств локомотивов / Н.И. Горбунов, Е.А. Кравченко, В.А. Левандовский, В.И. Нестеренко, М.В. Ковтанец, В.С. Ноженко // *Международный информационный научно-технический журнал «Локомотивинформ»*. – 2010. – №5. – С. 38 – 41.
- Gerlici J. The stability analysis of two-wheeled vehicle model / J. Gerlici, V. Sakhno, Yefymenko A. and others. // 22-nd Slovak-Polish Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations, MMS 2017. Sklene Teplice. Slovakia. MATEC Web of Conferences. Vol. 157, 14 March 2018, Article number 135294.
- Hauser V. Proposal of a Steering Mechanism for Tram Bogie with Three Axle Boxes / V. Hauser, O. Nozhenko, K. Kravchenko and other // *Procedia Engineering*, Vol. 192: P. 289-294.
- Gritsuk I. Improving Engine Pre-Start And After-Start Heating by Using the Combined Heating System / I. Gritsuk, V. Volkov, Y. Gutarevych and others. // *SAE Technical Paper* 2016-01-8071.
- Gritsuk I. Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions / I. Gritsuk, V. Volkov, V. Mateichyk and others // *SAE Technical Paper* 2018-01-0024.
- Горбунов Н.И. Повышение тяговых качеств тепловозов за счет совершенствования упругих связей тележек: дис. ... к. т. н.: 05.22.07 / Н.И. Горбунов. – Ворошиловград: – 1987. – 269 с.
- Тепловозы. Конструкция и расчет / Под ред. Н.И. Панова. – М.: Машиностроение, 1976. – 544 с.
- В.Н. Потураев Резиновые и резино-металлические детали машин. М.: «Машиностроение», 1966, 300 с.
- Конструкция, расчет и проектирование локомотивов: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Локомотивостроение»/А.А. Камаев, Н.Г. Апанович, В.А. Камаев и др.; Под. ред. А.А. Камаева. – М.: Машиностроение, 1981, 351 с.
- Декларационный патент на корисну модель №45991, кл. B61F 5/00. Бічна опора рейкового транспортного засобу / Басов Г.Г., Нестеренко В.І., Бурка М.Л., Антонов С.В., Горбунов М.І., Кравченко К.О., Мельник П.В. – заявл. 10.04.2009, опубл. 10.12.2009, бюл. № 23 -6 с.

References

- Dižo J. Vibration Analysis of a Coach with the Wheel-flat Due to Suspension Parameters Changes / J. Dižo S. Steišunas, M. Blatnický // 12th International Scientific Conference Of Young Scientists On Sustainable, Modern and Safe Transport, TRANSCOM 2017; High Tatras Grand Hotel Bellevue; Slovakia; 31 May 2017 through 2 June 2017. Volume 192, 2017, Pp. 107-112.
- Lack T. Wheel/rail contact stress evaluation by means of the modified strip method / T. Lack, J. Gerlici // *Komunikacie*. Vol. 15, Issue 3: P. 126-132.
- Smetanka, L. Št'astniak, P.; Harušinec, J. Wear research of railway wheelset profile by using computer simulation / L. Smetanka, P. Št'astniak, J. Harušinec // 22-nd Slovak-Polish Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations, MMS 2017. Sklene Teplice. Slovakia. MATEC Web of Conferences. Volume 157, 14 March 2018, Article number 03017.
- Gorbunov N.I. Puti resheniya problemy povysheniya tyagovo-scepnnyh i dinamicheskikh kachestv lokomotivov / N.I. Gorbunov, E.A. Kravchenko, V.A. Levandovskij, V.I. Nesterenko, M.V. Kovtanec, V.S. Nozhenko // *Mezhdunarodnyj informacionnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal «Lokomotivinform»*. – 2010. – №5. – С. 38 – 41.

5. Gerlici J. The stability analysis of two-wheeled vehicle model / J. Gerlici, V. Sakhno, Yefymenko A. and others. // 22-nd Slovak-Polish Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations, MMS 2017. Sklene Teplice. Slovakia. MATEC Web of Conferences. Vol. 157, 14 March 2018, Article number 135294.
6. Hauser V. Proposal of a Steering Mechanism for Tram Bogie with Three Axle Boxes / V. Hauser, O. Nozhenko, K. Kravchenko and other // Procedia Engineering, Vol. 192: P. 289-294.
7. Gritsuk I. Improving Engine Pre-Start And After-Start Heating by Using the Combined Heating System / I. Gritsuk, V. Volkov, Y. Gutarevych and others. // SAE Technical Paper 2016-01-8071.
8. Gritsuk I. Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions / I. Gritsuk, V. Volkov, V. Mateichyk and others // SAE Technical Paper 2018-01-0024.
9. Gorbunov N.I. Povyshenie tjavovyh kachestv teplovozov za schet sovershenstvovaniya uprugih svyazey telezhkek: dis. ... k. t. n.: 05.22.07 / N.I. Gorbunov. – Voroshilovgrad: – 1987. – 269 s.
10. Teplovozy. Konstrukcija i raschet / Pod red. N.I. Panova. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 544 s.
11. V.N. Poturaev Rezinovye i rezino-metallicheskie detali mashin. M.: «Mashinostroenie», 1966, 300 c.
12. Konstrukcija, raschet i proektirovanie lokomotivov: Uchebnik dlja studentov vtuzov, obuchajushhij po special'nosti «Lokomotivostroenie»/A.A. Kamaev, N.G. Apanovich, V.A. Kamaev i dr.; Pod. red. A.A. Kamaeva. – M.: Mashinostroenie, 1981, 351 s.
13. Deklaracijnij patent na korisnu model' №45991, kl. B61F 5/00. Bichna opora rejkovogo transportnogo zasobu / Basso G.G., Nesterenko V.I., Burka M.L., Antonov S.V., Gorbunov M.I., Kravchenko K.O., Mel'nik P.V. – zjavl. 10.04.2009, opubl. 10.12.2009, bjul. № 23 -6 s.

Горбунов М., Герлиці Ю. Кравченко К.О., Бурейка Г., Стейшунас С., Лак Т. Теоретичні і практичні аспекти розробки другий ступені ресорного підвищення.

У статті розглядається методи і способи поліпшення динамічних якостей локомотива, зниження силового впливу на колію та зносу бандажів і рейок за рахунок удосконалення ресорного підвищення другого ступеня. На основі розрахунків за математичними моделями і експериментальних досліджень запропоновано ряд конструктивних рішень опорно-повертають пристроїв з раціональними характеристиками, які дозволяють забезпечити підвищення тягових якості локомотива, знизити динамічний вплив на шлях у вертикальній і горизонтальній площині в прямих і кривих ділянках колії, центрувати кузов

відносно візків. Пропоновані зв'язки кузова з візками випробувані на створеному стендовому обладнанні і в експлуатаційних умовах. Конструкція зв'язки кузова з візками дозволяє забезпечити необхідні жорсткісні і демпфуючі характеристики за рахунок оптимізації конструкції.

Ключові слова: другий ступінь ресорного підвищення, статичний прогин, гумо-металеві елементи, кут повороту візка.

Gorbunov M., Gerlici J., Kravchenko K., Bureika G., Steišūnas S., Lack T. Theoretical and practical aspects of development second stage spring suspension.

This paper deals with the methods and techniques of the locomotive dynamic characteristics improvement, decrease in force impact on the track, minimizing tire and rail wear by secondary suspension improvement. Based on the calculations carried out using the created mathematical models and experimental research, there are proposed series of construction solutions of the supporting and returning devices with rational characteristics, which allow improving traction characteristics of the locomotive and reducing its dynamic impact on the track in vertical as well as in horizontal planes, on the straight track as well as on the curved track. Moreover, the proposed solution can provide the locomotive body with the centering function relative to the bogie. The proposed body to bogie connection was tested using a special test stand and in operating conditions. According to the test results, the proposed construction of body to bogie connection can ensure the required rigidity and damping characteristics due to the design optimization.

Keywords: secondary suspension, static deflection, rubber-metal parts, bogie swivel angle.

Горбунов Н.И. – д.т.н., проф., кафедра «Железнодорожный, автомобильный транспорт и ПТМ», ВНУ им. В.Даля.

Герлиці Ю. – проф., кафедра «Транспорт и подъёмно-транспортная техника», Жилинский университет.

Кравченко Е.А. – к.т.н., доцент, кафедра «Железнодорожный, автомобильный транспорт и ПТМ», ВНУ им. В.Даля.

Бурейка Г. – проф., д.т.н., кафедра мобильной техники и железнодорожного транспорта, Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса.

Стейшунас С. – доцент, к.т.н. кафедра мобильной техники и железнодорожного транспорта, Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса

Лак Т. – к.т.н., кафедра «Транспорт и подъёмно-транспортная техника», Жилинский университет.

Рецензент: д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

Статья подана 25.03.2019

УДК 629.4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ВПЛИВУ МЕТОДІВ І РЕЖИМІВ ОХОЛОДЖЕННЯ НА КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ І ТЕМПЕРАТУРУ КОНТАКТУЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ

Горбунов М.І., Просвірова О.В., Ковтанець М.В., Кравченко К.О.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE INFLUENCE OF METHODS AND MODES OF COOLING ON THE COEFFICIENT OF FRICTION AND TEMPERATURE OF CONTACTING SURFACES

Gorbunov M., Prosvirova O., Kovtanets M., Kravchenko K.

*Проведена експериментальна оцінка впливу охолодження фрикційних поверхонь на коефіцієнт тертя і температуру контактуючих поверхонь при різних методах і режимах охолодження. Дослідження процесу гальмування проводилися на лабораторному гальмівному стенді, призначеному для випробування різних конструкцій гальмових пристроїв і контролю їхніх вихідних параметрів. Експериментальним дослідженням встановлено, що математична модель теплофізичних характеристик дискового гальма, яка враховує систему адаптивного охолодження, забезпечує задовільний відповідність результатів розрахунків з експериментальними даними, розбіжність не перевищує 12%. Аналіз отриманих експериментальних даних дозволяє зробити висновок про позитивний вплив адаптивного охолодження фрикційних поверхонь на стабілізацію коефіцієнта зчеплення. Так, коефіцієнт тертя при використанні даної системи на 15-30% більше, а температура поверхонь, при цьому нижче в середньому на 20-30%, в залежності від продуктивності та температури охолоджуючого повітря, ніж без її використання. **Ключові слова:** фрикційний контакт, експериментальне дослідження, машина тертя, дискове гальмо.*

Вступ. Ефективність гальмівних засобів є однією з найважливіших умов, які визначають можливість підвищення ваги та швидкості руху поїздів, пропускну і провізної спроможності залізних доріг та безпеку руху. Експлуатований рухомий склад застосовує відомі конструкції колодкового та дискового гальма, обмежені їх зносо-фрикційними характеристиками та границями допустимого нагріву.

Для підвищення ефективності гальмування рейкового рухомого складу необхідно створити гальмівними пристроями достатню гальмівну потужність і забезпечити стійке зчеплення коліс із рейками та фрикційних елементів гальм.

Аналіз проблеми. На підставі проведеного аналізу теоретичних і експериментальних до-

сліджень фрикційного контакту встановлено, що управління механічною складовою недостатньо для досягнення стабільно високих зчепних якостей трибологічних вузлів. Недостатньо вивченим є питання впливу температури на стабілізацію коефіцієнта тертя.

Встановлено, що при досягненні температури в металевому контакті від 200 до 400 °С змінюються міцнісні властивості поверхневого шару. Тому пропонується управління зчепленням трибологічної системи «диск-накладка» та «колесо-колодка-рейка» за рахунок керування і контролю локально-механічної температурної складової в залежності від фрикційних умов контакту.

Мета роботи. Метою роботи є висвітлення експериментальних досліджень процесу гальмування.

Викладення основного матеріалу дослідження. Експериментальні дослідження процесу гальмування проводилися за допомогою лабораторного гальмівного стенда, розробленого кафедрою підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля [1]. Стенд призначений для випробування різних конструкцій гальмових пристроїв і контролю їхніх вихідних параметрів.

Загальний вигляд стенда та його принципова схема показані на рисунках 1 і 2.

Гальмо 1 (рис. 2) встановлено на хиткій рамі 2 і за допомогою пружних муфт 3 з'єднаний з приводним електродвигателем 4 і обертовою масою 5, яка складається з 18 дисків і дозволяє змінювати момент інерції від 2 до 60 кг м² приєднанням до валу або від'єднанням від нього дисків махової маси. Рама 2 і обертається маса 5 спирається на підшипники ковзання, укріплені на стійках. Стенд дозволяє варіювати момент інерції за допомогою обертових дисків,

частоту обертання, тривалість роботи приводу і реєструвати такі вихідні параметри гальма і приводу, як гальмівний момент, зусилля в тязі, час розмикання гальма і розгону приводу, час спрацювання і гальмування гальма, частота обертання приводу, температура поверхонь тертя.

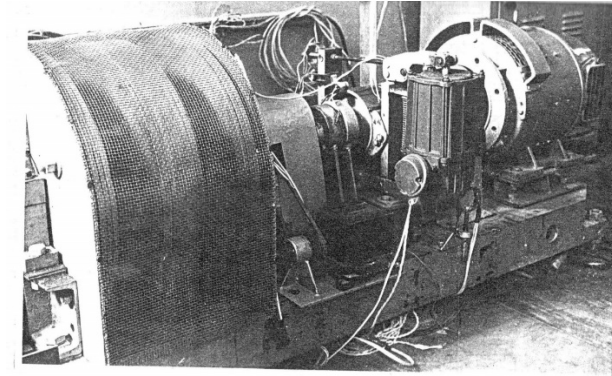


Рис. 1. Загальний вигляд стенда

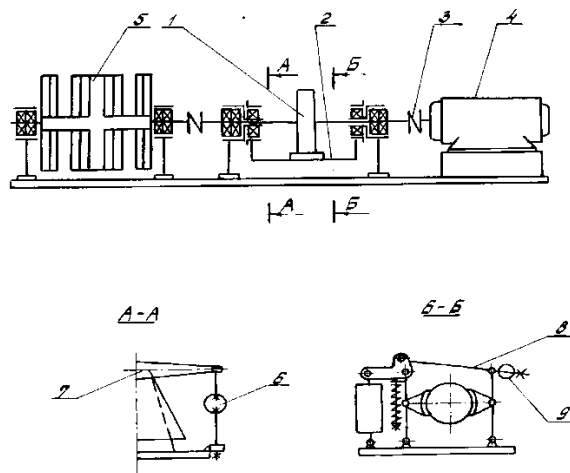


Рис. 2. Схема принципової конструкції стенда

Гальмівний момент, створюваний гальмом, вимірюється за допомогою динамометричних кілець 6 (рис. 2, А-А), з'єднаних сферичними шарнірами з підставою. Коромисло 7 жорстко закріплено на хиткій рамі 2. На динамометричних кільцях наклеєні тензорезистори, з'єднані по полумостової схемою. Електричні сигнали з тензорезисторів посилюються підсилювачем 8АНЧ-7М і реєструються світлопроменевим шлейфовим осциллографом типу Н-117.

Зусилля в тязі, яка пропорційна гальмівному моменту, вимірюється за допомогою датчика 9, виконаного у вигляді динамометричного кільця з наклеєними тензорезисторами і встановленого на тязі гальма (рис. 2. Б-Б). Електричні сигнали з датчика надходять на підсилювач, а потім на реєструючий прилад, який представляє собою аналогово-цифровий перетворювач типу В7-35.

Час розмикання і розгону, час спрацювання і гальмування вимірюються і реєструються приладом для контролю вихідних параметрів гальм, який включає в себе генератор імпульсів, лічильник імпульсів і комплект датчиків. Час розмикання відраховується з моменту подачі живлення на привід гальма до моменту відходу колодок, з встановленим на одній з них датчиком контакту від гальмівного шківів. Час розгону приводу відраховується з моменту подачі напруження на привід (М) до моменту досягнення ним номінальної частоти обертання. Частота обертання валу приводу знімається тахогенератором постійного струму типу ТГП-5. Час спрацювання гальма вимірюється з моменту відключення живлення від приводу гальма до моменту першого контакту колодок з гальмівним шківом, на одній з яких встановлено датчик контакту (ДК). Датчик контакту при торканні колодками поверхні гальмівного шківів відключає генератор імпульсів від лічильника імпульсів. Час гальмування вимірюється з моменту закінчення реєстрації часу спрацювання до моменту повної зупинки гальмівного шківів, що контролюється величиною напруги на виході тахогенератора ТГП-5.

Частота обертання приводу (М) вимірюється тахогенератором постійного струму ТГ-1 типу ТМГ-38. Для візуального спостереження за частотою обертання валу махової маси (ММ) використовується тахогенератор ТГ-2 типу Д1-ММ з вимірювальним приладом (ІП) типу ТМ і ЗП. Вал обертових мас з валами тахогенераторів з'єднаний ремінною передачею.

Температура поверхонь тертя гальма вимірюється за допомогою датчика-термопари. Застосована хромель-копелеві термопара, розрахована на нагрівання до 600 °С. Конструктивно термопара виконана у вигляді порцелянового циліндра, через отвори якого пропущені електроди термопари. Термопара встановлена в тілі колодки гальма і зафіксована гвинтом. Як реєструючого приладу використаний універсальний прилад типу В7-35.

Конструкція стенду доповнюється компресором і вихровою трубою, конструкція якої заснована на ефекті Ранка-Хілша (рис. 3, 4).



Рис. 3. Вихрова трубка



Рис. 4. Вимірювальна апаратура. Пірометр, анемометр

За допомогою компресора здійснюється подача повітря в трубу, в якій відбувається температурне розділення на холодний і гарячий повітря, які відводяться з різних отворів. Охолоджене повітря подається в область фрикційного контакту.

Завдання дослідження - експериментально показати залежність коефіцієнта тертя і температури в контакті «гальмівний диск - накладка» від фактора подачі охолодженого повітря у фрикційний контакт під час процесу гальмування.

Усі значення експериментальних величин, отриманих у паралельних дослідах, перевірені на відсутність помилок за допомогою критерію Стюдента [2, 3]. Результати експериментів представлені на рис. 5, 6.

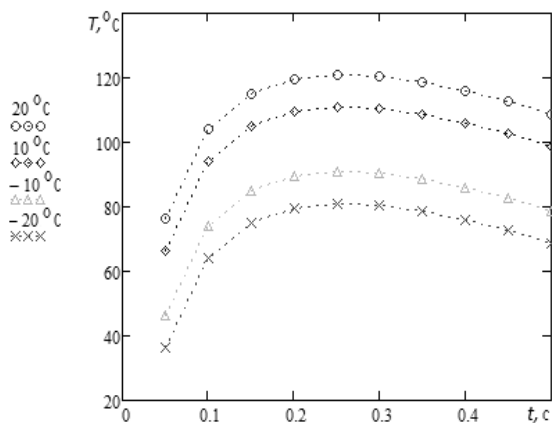


Рис. 5. Середня температура фрикційних поверхонь в процесі гальмування; зусилля притиску однієї гальмової колодки складає 1500 Н

На кафедрі залізничного транспорту СХУ ім. В. Даля спроектований досліджувано-вимірювальний комплекс для дослідження тягово-зчіпних якостей локомотива (ДВК) [4, 5], що дозволяє досліджувати реалізацію сили зчеплення при розгоні, буксуванні і юзі в прямих і кривих ділянках шляху. При цьому задаються: динамічні вертикальні й горизонтальні зусилля в контакті, поперечного зсуву колеса щодо рейки, кут набігання, коливання крутного моменту приводу, фрикційний стан контакту колеса з рейкою. З використанням ДВК можливе моделювання верти-

кальних коливань рейкового шляху, зміна характеристик підрейкової основи, поперечні коливання рейки, осідання рейкової нитки у вертикальній площині.

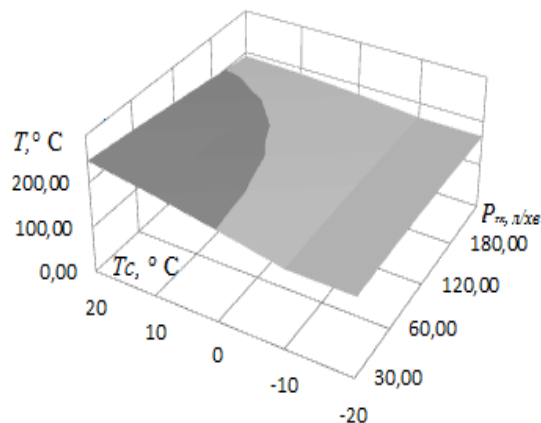


Рис. 6. Залежність контактної температури від продуктивності та температури локального охолодження; зусилля притиску однієї гальмової колодки складає 1500 Н

На базі стендової установки «Машина тертя», розробленої на кафедрі залізничного транспорту СХУ ім. В. Даля, створена автоматизована вимірювально-моделююча установка (АВМУ) для дослідження фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка» [6-8], що дозволяє вирішувати наступні завдання:

- визначати коефіцієнт тертя колеса з рейкою в умовах реальних забруднень (дош, масло, дизельне паливо);
- оцінювати вплив активації поверхонь на реалізований коефіцієнт тертя (вплив електричного струму, струмино-абразивна обробка, подача озонованого повітря, подача мастильного матеріалу);
- автоматично моделювати із застосуванням мікроконтролерів, процеси набору крутного моменту для зриву в боксування;
- визначати коефіцієнт тертя в режимі чистого тертя ковзання (юза) контактуючих поверхонь, при цьому реалізується режим кочення з ковзанням;
- одержувати залежності коефіцієнта тертя ковзання від питомого тиску, швидкості ковзання, температури й інших факторів.

Перевагою створеної автоматизованої вимірювально-моделюючої установки є:

- простота керування фрикційними умовами контактування, шляхом контрольованої подачі в контакт досліджуваних речовин;
- можливість моделювання тяги, гальмування, боксування і юза;
- наявність програмного комплексу, що дозволяє за експериментальними даними одержувати характеристику зчеплення.

Представлена АВМУ для дослідження фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка» і методика проведення досліджень дозволяє експериментальним шляхом вивчати вплив різних забруднень

(дош, масло, дизельне паливо) на коефіцієнт тертя, а також оцінювати ефективність різних способів підвищення коефіцієнта зчеплення (вплив електричного струму, струмино-абразивна обробка, подача озонowanego повітря).

Орієнтація робочого ролика здійснюється переміщенням сегментів по напрямній, поворотом важелів щодо сегментів і переміщенням поперечини по напрямних важелів. Крутний момент від двигуна, розташованого на площадці, через кутовий редуктор, карданний вал, вісь - передається робочому ролику.

Завдяки навантаженню робочого ролика вертикальним зусиллям, відбувається його зчеплення з рейкою. Під дією обертаючого моменту й завдяки тому, що рама візка кріпиться до рейки за допомогою системи важелів і роликів, з можливістю лінійного переміщення уздовж її осі, візок починає рухатися по рейці.

Висновки. Експериментальним дослідженням встановлено, що математична модель теплофізичних характеристик дискового гальма, яка враховує систему адаптивного охолодження, забезпечує задовільний відповідність результатів розрахунків з експериментальними даними, розбіжність не перевищує 12%.

Аналіз отриманих експериментальних даних дозволяє зробити висновок про позитивний вплив адаптивного охолодження фрикційних поверхонь на стабілізацію коефіцієнта зчеплення. Так, коефіцієнт тертя при використанні даної системи на 15-30% більше, а температура поверхонь, при цьому нижче в середньому на 20-30%, в залежності від продуктивності та температури охолоджуючого повітря, ніж без її використання.

За результатами отриманих експериментальних значень побудовані залежності коефіцієнта тертя від температури та відносної швидкості ковзання в контакт при різному фрикційному стані поверхні рейки. Ефект стабілізації коефіцієнта тертя охолодженням фрикційних поверхонь гальма становить до 25%. Потужність охолодження при використанні вихрового ефекту залежить від об'єму холодної фракції і продуктивності постачання повітря.

Л и т е р а т у р а

1. Бойко Г.А., Будилов Л.Я. Стенд для диагностирования тормозов кранов. В сб. Подъемно – транспортное оборудование. ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, No 6–88–39, М.1988. 4 с.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Наука, М.1976. 255 с.
3. Комп'ютерна програма «Планування експерименту при підвищенні зчеплення в системі «колесо-рейка» шляхом впливу комбінованого двофазного струминно-абразивного потоку» свідоцтво №43748 Україна опубл. 15.05.2012.

4. Стенд для дослідження плями контакту в системі «колесо-рейка»: пат. №7108U Бюл. №6, 2005.
5. Стенд для дослідження зчеплення колеса з рейкою та випробування елементів буксового ресорного підвищення: пат. 82903 Україна; № 201214566 заявл. 19.12.201; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16. 3 С.
6. Машина тертя для визначення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка»: пат. 65999 Україна. опубл. 26.12.2011.Бюл. № 24 3 С.
7. Автоматизированная измерительно-моделирующая стендовая установка «машина трения» для исследования фрикционных свойств контакта «колесо-рельс» /А.И. Костюкевич, Н.И. Горбунов, Е.А. Кравченко [та ін.] // Сб. научных трудов X Междун. конф. «ТРИБОЛОГИЯ и НАДЕЖНОСТЬ» (27–30 октября 2010 г., Санкт-Петербург, Россия) Санкт-Петербург. 2010. С. 165 – 174.
8. Комп'ютерна програма «VDEUNU CONTACT» свідоцтво №49477 Україна опубл. 02.09.2013.
9. Машина тертя для вивчення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка» : пат. 115547 Україна; № 201609295 заявл. 06.09.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8. 6 С.

References

1. Boyko G.A., Budykov L.Ya. Stand for diagnostics of crane brakes. In sat Podemno - transport equipment. TsNIITETIAJMAASH, No. 6-88-39, M.1988. 4 c.
2. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovsky Yu.V. Planning an experiment in search of optimal conditions. Science, M.1976. 255 s.
3. Computer program "Experiment planning in case of increased coupling in the" wheel-rail system "by the influence of combined two-phase jet-abrasive flow" certificate №43748 Ukraine was published. May 15, 2012
4. Stand for the study of the contact spot in the wheel-rail system: p. №7108U BUL. No. 6, 2005.
5. A bench for researching a wheel-clutch with a rail and testing of elements of a box-shaped spring suspension: Pat. 82903 Ukraine; No. 201214566 application. 19.12.2013; published Aug 27, 2013, Bul. No. 16. 3 S.
6. Friction machine for determining the frictional properties of the wheel-rail contact: Pate. 65999 Ukraine. published 26.12.2011.Buil. No. 24 3 S.
7. Automated measuring and modeling bench unit "friction machine" for research of friction properties of contact "wheel-rail" / A.I. Kostyukevich, N.I. Gorbunov, E.A. Kravchenko [and others] // Sb. scientific papers X International. conf. "TRIBOLOGY AND RELIABILITY" (October 27-30, 2010, St. Petersburg, Russia) St. Petersburg. 2010. 165 - 174.
8. Computer program «VDEUNU CONTACT» certificate №49477 Ukraine published. 02.09.2013.
9. Friction machine for studying the frictional properties of the wheel-rail contact: Pate. 115547 Ukraine; No. 201609295 Statement. 09/06/2016; published Apr 25, 2017, Bul. No. 8. 6 S.

Горбунов Н., Просви́рова О.В., Ковтанец М.В., Кравченко Е.А. Экспериментальная оценка влияния методов и режимов охлаждения на коэффициент трения и температуру контактирующих поверхностей.

Проведена экспериментальная оценка влияния охлаждения фрикционных поверхностей на коэффициент трения и температуру контактирующих поверхностей при различных методах и режимах охлаждения. Исследование процесса торможения проводилось на лабораторном тормозном стенде, предназначенном для испытания различных конструкций тормозных устройств и контроля их выходных параметров. Экспериментальным исследованием установлено, что математическая модель тепловых характеристик дискового тормоза, которая учитывает систему адаптивного охлаждения, обеспечивает удовлетворительное соответствие результатов расчетов с экспериментальными данными, расхождение не превышает 12%. Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о положительном влиянии адаптивного охлаждения фрикционных поверхностей на стабилизацию коэффициента сцепления. Так, коэффициент трения при использовании данной системы на 15-30% больше, а температура поверхностей, при этом ниже в среднем на 20-30%, в зависимости от производительности и температуры охлаждающего воздуха, чем без ее использования.

Ключевые слова: фрикционный контакт, экспериментальное исследование, машина трения, дисковый тормоз.

Gorbunov M., Prosvirova O., Kovtanets M., Kravchenko K. Experimental evaluation of the influence of methods and modes of cooling on the coefficient of friction and temperature of contacting surfaces.

Experimental estimation of the influence of cooling of friction surfaces on the coefficient of friction and temperature of contacting surfaces under different methods and modes of cooling is carried out. Investigations of the braking process were carried out on a laboratory brake stand designed to test various designs of brake devices and control their output parameters. Experimental research has established that the mathematical model of thermophysical characteristics of the disk brake, which takes into account the system of adaptive cooling, ensures satisfactory conformity of the results of calculations with the experimental data, the difference does not exceed 12%. The analysis of the experimental data obtained allows us to conclude that the positive effect of adaptive cooling of the friction surfaces on the stabilization of the coefficient of adhesion. So, the coefficient of friction with the use of this system is 15-30% more, and the temperature of the surfaces, while lower on average by 20-30%, depending on the performance and temperature of the cooling air, than without its use.

Keywords: frictional contact, experimental research, friction machine, disk brake.

Горбунов М.І. – д.т.н., проф., кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В.Даля.

Просвірова О.В. – к.т.н., кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В.Даля.

Ковтанець М.В. – к.т.н., кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В.Даля.

Кравченко К.О. – к.т.н., доцент, кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В.Даля.

Рецензент: д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

Стаття подана 10.04.2019

UDK 629.4.023.17

**STRENGTH ANALYSIS OF SUPPORTING PARTS OF
A DOOR SYSTEM MOUNTED ON A RAILWAY VEHICLE****Blatnický M., Dižo J., Kravchenko O.****РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ ОПОРНИХ ЧАСТИН
ДВЕРНОЇ СИСТЕМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ****Блатницький М., Дижо Я., Кравченко О.**

This article is focused on a presentation of a design of a door system, which is intended to be mounted on a railway vehicle. The design of a door system has to meet some specific requirements, because there is a metro vehicle. There are described the three-dimensional model, which is further processed in database software. Its objective is having a parametrical model of a door system, which could be used for several modifications of a metro vehicle according to requirements of customers. Such a new design of a door system does not get along without strength analyses of main supporting parts, on which the entire door system rest and thus, results of these analyses help to identify, if the design meets strict criteria for safety, reliability and no-failure operation.

Keywords: door system, railway vehicle, strength analysis, computational modelling.

Introduction. The number of cities with more than 1 million inhabitants is increasing in the world, and there is insufficient transport by road. There are not many options for solution of this problem. One of them, overground or underground ways are used. Metro or underground railway is a set of light wagons operated in urban public transport for fast passenger transport in cities. Due to the fact that the metro is mainly in tunnels, the operational requirements are different from railway vehicles and trams operated on the ground [1, 2]. The spatial layout of the lines affects the across dimensions of the vehicle and the way the electric current is supplied. Vehicle dimensions are also influenced by the required transport capacity, which affects the vehicle's length, driving speed and the length of the driving interval. Some of them are equipped with special systems for improving running in curves [3, 4]. Bordering the environment but as well as transported passengers by excessive noise from operation, namely from braking, is very actual task to be solved [5, 6, 7]. Manual door opening is no longer used today, replaced by pneumatic and electrical systems. This is why there are increased requirements for the reliability of whole system [8, 9].

A three-dimensional model of a door system.

The designed door system is a sliding plug door type. A three-dimensional model of the door system is shown in Fig. 1 and Fig. 2.



Fig. 1. Designed door system – external view

The sliding plug doors work by combining two movements. The first movement pushes the door from the sidewall. The second movement moves the door alongside the sidewall. Door ejects in the range from 58 to 65 mm measured from the sidewall.

The advantage of these doors is that in the closed position they are located in the plane of the sidewall, therefore they are suitable for mechanized washing, are more aesthetic and have a good tightness. The disad-

vantage is the duct or a drive that is more complicated than for sliding exterior and pocket door. The maximum dimensions of the system are following: width 1856 mm and height 2190 mm. The height of the door leaf is 2077 mm and the width is 781 mm. The weight of the door leaf is 50 kg and the top of the mechanism is 80 kg, meaning the entire system weighs 180 kg. The system is driven by an electric motor and the transmission of the power to open/close the door is done by means of a screw and guide nuts.



Fig. 2. Designed door system – internal view

The door system is attached to a coarse structure with sixteen M10 screws. In the top mechanism there are eight screws, four of which are horizontal and four horizontally screwed into C grooves on a coarse construction. The remaining eight screws are located along the sides of the door leaves - four to the right and four to the left. The two screws are used to attach the holding arm and the remaining two screws are used to attach the arm of door conduct. Fig. 1 shows a virtual model of a designed door system and a mechanism of this door system is shown in Fig. 2.

Description of a main parts of the door system.

The sliding plug door type system must secured eject movement from the sidewall. In this system, this motion is forced by the shape of guide rails mounted in the top mechanism. In each rail is mounted a wheel mounted on the arm that is screwed on the door leaf. When moving the guide nut through the bolt on opening, the wheel in the guide rail is forced to extend the door leaf from the plane of the sidewall by curving the guide rail. The transmission of force from the guide nut to the door leaf is realized by means of a system of arms (Fig. 3).

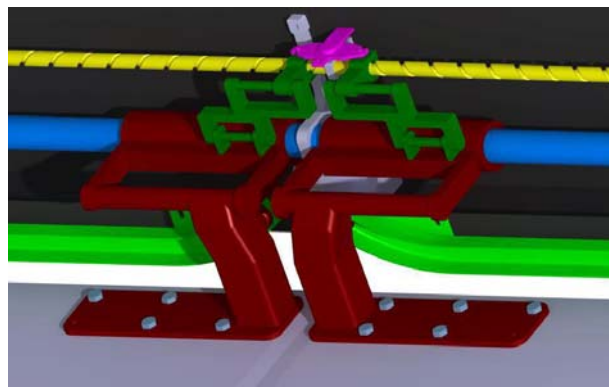


Fig. 3. System of arms screwed on the door leaf

The door leaves are carried by the supporting rod. The door wings are supported by a supporting rod and are slidably and rotatably engaged.

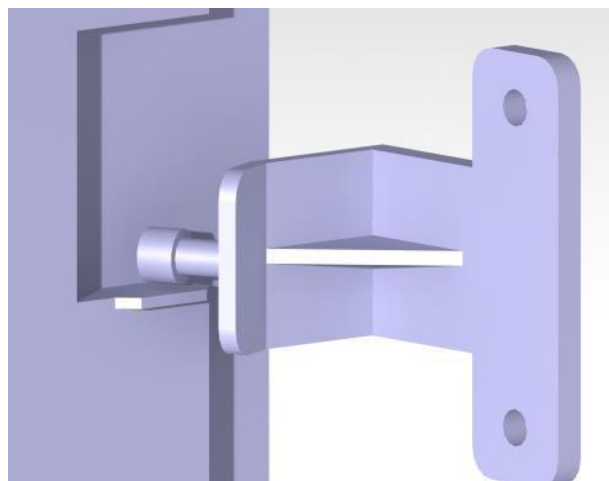


Fig. 4. A holding arm

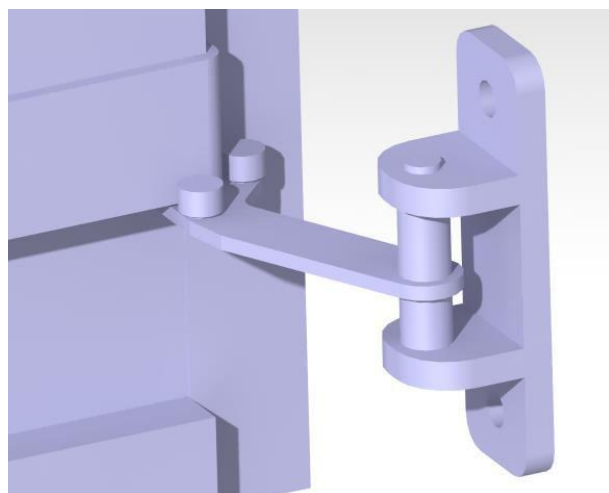


Fig. 5. A bottom duct

A holding arm (Fig. 4) is not rigidly connected with the door, it is attached to the coarse structure and serves to prevent the vertical movement of the door in the direction of the positive axis z. The holding arms are located on the side of the both side wings.

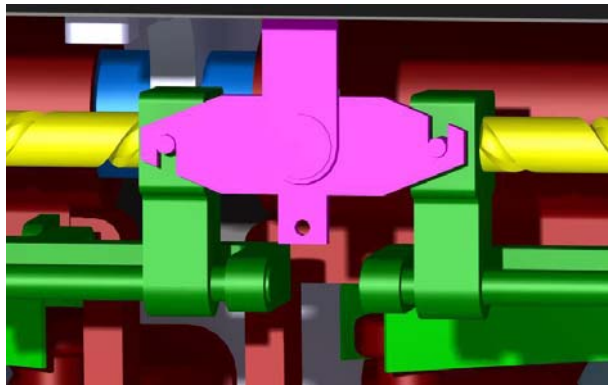


Fig. 6. A lock system

A bottom duct (Fig. 5) with a specific rollers layout serves to conduct and support the door when it is opened or closed.

In order to prevent the door from opening automatically, the mechanism is equipped with a lock which locks the system in the area of the guide nuts (Fig. 6). The lock is unlocked by applying force to its lower part, e. g. using a bowden that causes clockwise rotation.

We assume that the vehicle is not moving and the doors are locked and closed. We will define the external forces that we will consider as well as the reaction forces that represent the action of the door system on the coarse construction. External forces can act in different combinations. These combinations will be defined in cases of load. The calculation itself will be implemented in the parametric model and it was created in Microsoft Excel. This model can be used to quick calculation of the forces acting on the coarse construction for various load cases with the possibility of inputting input parameters as required.

The bottom duct with a specific rollers layout serves to conduct and support the door when it opens or closes and prevents the door from moving in the direction of the x and y.

Strength analysis of selected parts of the door system. In order to ensure the structure of a door system will meet all strict requirements from the safety point of view as well as from the reliability and long-term no-failure operation, the designed parts of the door system were subjected to strength analyses. We have used the Finite Element Method and as results the stresses in compliance with the von-Misses hypothesis and deformations have been evaluated.

There were analysed two main-bearing parts of the door system, namely:

- the holding arm, and
- the bottom duct (Fig. 7).

Loading forces, which were input into the computational model, were calculated analytically based on a created parametric model of the door system. Values were as following:

- the holding arm has been loaded by the force of 631.0 N in the vertical direction (z axis),

- the pin of the bottom duct by the force of 1,228.0 N in the longitudinal direction (x axis) and by the force of 2,876.0 N in the lateral direction (y axis) (Fig. 7).

The FE mesh was created using linear tetrahedrons with length of edge of 2.0 mm.

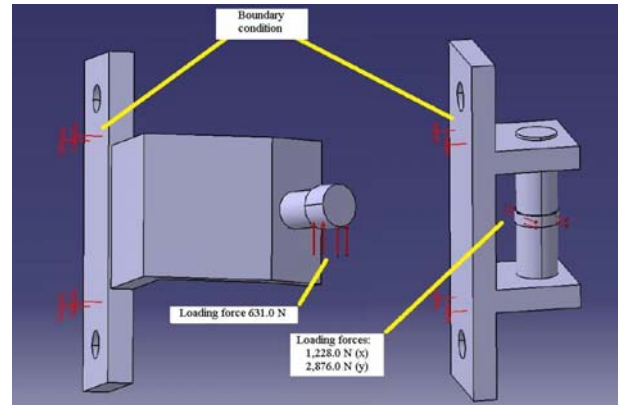


Fig. 7. Boundary conditions and loading forces

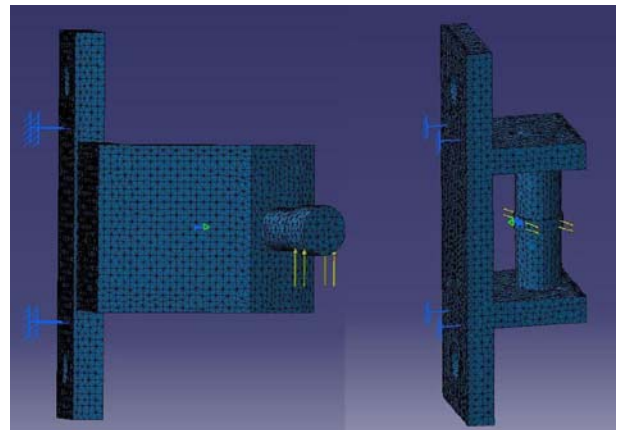


Fig. 8. View of the FE mesh defined for analysed parts

In this work two types of results were processed: maximal stress (assessed in according to the von-Misses theorem) and maximal deflections (or deformations) in the analysed structures.

The result stress in the holding arm is shown in Fig. 9. In Figure there is marked the location, where the maximal stress of 59.0 MPa were reached. The calculated safety coefficient is 3.98.

The results stress in the pin of the bottom duct is shown in Fig. 10. In this case, the maximal stress has values of 68 MPa and the coefficient of safety is 3.46.

Further, deflections of the analysed parts were evaluated.

Fig. 11 shows a deflection of the holding arm resulted due to the applied load on the pin. We can evaluate, that the maximal value of the deflection is 0.09 mm.

Finally, Fig. 12 shows deflection of the structure of the bottom duct. The load is also applied on the pin and therefore, the maximal deflection is identify in this location. Its value is 0.0132 mm.

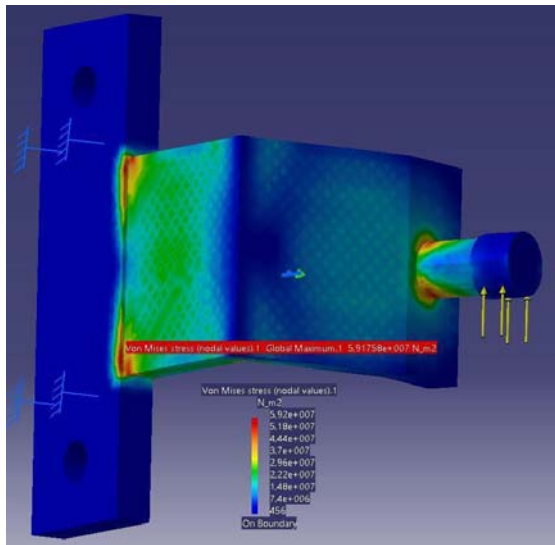


Fig. 9. Calculated stresses in the holding arm

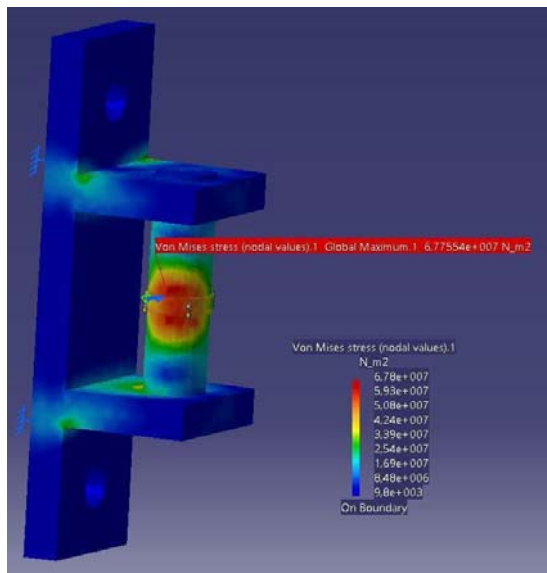


Fig. 10. Calculated stresses in the pin of the bottom duct

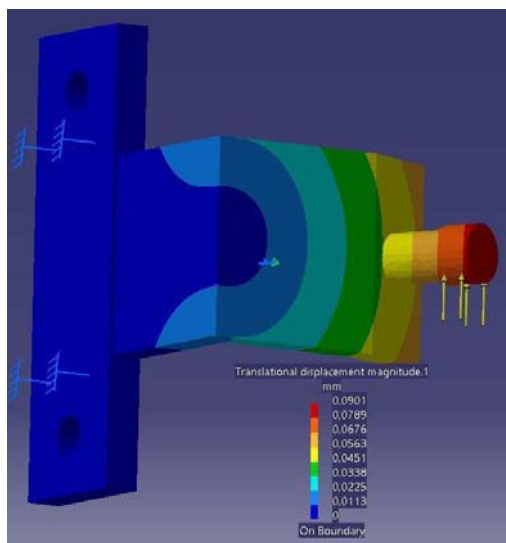


Fig. 11. Calculated deflection of the pin in holding arm

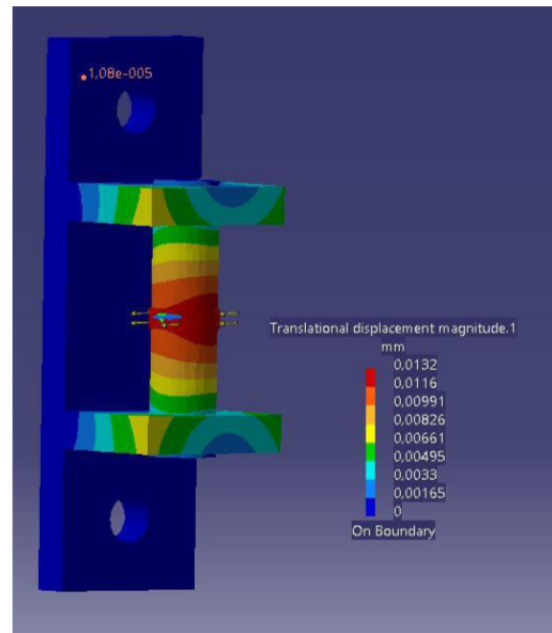


Fig. 11. Calculated deflection of the bottom duct

From simulation analyses there is clear, that the designed parts are very suitable for resisting the defined loads. The maximal stress of 59 MPa meets the safety requirements for the used S235 steel, which has the yield stress of 235 MPa. The maximal deflection is 0.09 mm and it also complies for suit.

Loading of the pin of the bottom duct results to the maximal stress of 67 MPa, which meets the defined stress criteria within the safety coefficient of 3.46 for the used steel. The maximal deflection has the insignificant value of 0.0132 mm.

Based on performed analyses there can be observed, that the strength criteria are met and the safety criteria for both parts were accomplish within sufficient allowance.

Conclusion. The presented article dealt with the design and strength analysis of the technical solution of the subway door. Designed door are sliding plug type. The advantage of this type of door is aesthetics, tightness, sound and thermal insulation, maintenance costs and small built-in place. In the article, we have also dealt with the creation of a parametric model by which it is possible to calculate the external and reaction forces representing the effect of the door system on the coarse construction. Individual dimensions of the door system were defined using the model developed in the Catia program. The parametric model thus prepared is used for calculation of individual load forces. Based on performed strength analyses using FE software there is obvious, the designed door system meets required strict safety criteria.

Acknowledgements. This work was created with the financial support of the Agency for Support of Research and Development of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic VEGA 1/5058/18: Research of the interaction of a braked railway wheelset and track in simulated

operational conditions of a vehicle running in a track on the test bench.

This work is the implementation result of the project: Modern methods of teaching control and diagnostics systems of engine vehicles ITMS 26110230107 supported by Operational Programme Education and funded European Social Fund.

References

1. Hauser V. Koncepčný návrh podvozka električky s aptický riešeným uložením rámu na dvojkolesia / V. Hauser, K. Kravchenko, O. Nozhenko, J. Harušinec, A. Pavlík, O. Fomin // 16th International Conference Dynamics of Rigid and Deformable Bodies, Ústí nad Labem, Czech Republic, October 17-19, 2018, 10 pages.
2. Gorbunov M. Technické riešenia pre zlepšenie charakteristik vypruženia koľajových vozidiel / M. Gorbunov, J. Gerlici, K. Kravchenko, R. Domin, V. Hauser, T. Lack // 15th International Conference Dynamics of Rigid and Deformable Bodies, Ústí nad Labem, Czech Republic, October 17-19, 2018, 10 pages.
3. Smetanka L. Changing the wear of the railway wheelset profile due to a change in driving velocity / L. Smetanka, P. Šťastniak, J. Harušinec // Slovak-Polish Scientific Workshop Dynamical Problems in Rail Vehicles, Žilina, Slovak Republic, July 10-11, 2017.
4. Fomin O. Improving construction features of hatch cover of universal open wagon / O. Fomin, J. Gerlici, A. Lovskaya, M. Gorbunov, K. Kravchenko, P. Prokopenko, V. Hauser // 16th International Conference Dynamics of Rigid and Deformable Bodies, Ústí nad Labem, Czech Republic, October 17-19, 2018, 11 pages.
5. Suchánek A. Možnosti kalibrácie snímačov používaných na merania na zotrvačnikovom brzdovom stave UIC / A. Suchánek, P. Kurčík, J. Harušinec, P. Strážovec // 16th International Conference Dynamics of Rigid and Deformable Bodies, Ústí nad Labem, Czech Republic, October 17-19, 2018, 8 pages.
6. Šťastniak P. Stability analysis of modified 3-axle rail bogie design / Šťastniak P. // 3rd Conference for Young Scientific Workers Experimental and computational methods in engineering, Ústí nad Labem, Czech Republic, June 2-3, 2016, 8 pages.
7. Gerlici J. The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system / J. Gerlici, M. Gorbunov, K. Kravchenko, R. Domin, M. Kovtanets, T. Lack // 16th International Conference Dynamics of Rigid and Deformable Bodies, Ústí nad Labem, Czech Republic, October 17-19, 2018, 10 pages.
8. Galliková J. The model of rail vehicle reliability calculation / J. Galliková, P. Volna, V. Stuchlý // XVII International Technical Systems Degradation Conference, Liptovský Mikuláš, Slovak Republic, April 4-7, 2018, pp. 17-20.
9. Droppa P. Thermo vision diagnostics of mobile technics / P. Droppa, Š. Pavlov // XVI International Technical Systems Degradation Conference, Liptovský Mikuláš, Slovak Republic, April 19-22, 2017, pp. 17-20.
10. Harušinec J. Mechanické vlastnosti tlačných súčiastok s malou hustotou vnútornej výplne / J. Harušinec, A. Suchánek, P. Kurčík, P. Strážovec // 16th International Conference Dynamics of Rigid and Deformable Bodies, Ústí nad Labem, Czech Republic, October 17-19, 2018, 12 pages.

References

1. Hauser V. Conceptual design of a tram bogie with the atypical solution of a frame bearing on wheelsets / V. Hauser, K. Kravchenko, O. Nozhenko, J. Harušinec, A. Pavlík, O. Fomin // 16th International Conference Dynamics of Rigid and Deformable Bodies, Ústí nad Labem, Czech Republic, October 17-19, 2018, 10 pages.
2. Gorbunov M. Technical solutions for improving of suspension characteristics of rail vehicles / M. Gorbunov, J. Gerlici, K. Kravchenko, R. Domin, V. Hauser, T. Lack // 15th International Conference Dynamics of Rigid and Deformable Bodies, Ústí nad Labem, Czech Republic, October 17-19, 2018, 10 pages.
3. Smetanka L. Changing the wear of the railway wheelset profile due to a change in driving velocity / L. Smetanka, P. Šťastniak, J. Harušinec // Slovak-Polish Scientific Workshop Dynamical Problems in Rail Vehicles, Žilina, Slovak Republic, July 10-11, 2017.
4. Fomin O. Improving construction features of hatch cover of universal open wagon / O. Fomin, J. Gerlici, A. Lovskaya, M. Gorbunov, K. Kravchenko, P. Prokopenko, V. Hauser // 16th International Conference Dynamics of Rigid and Deformable Bodies, Ústí nad Labem, Czech Republic, October 17-19, 2018, 11 pages.
5. Suchánek A. Possibilities of calibration of sensors used for measurements on the UIC inertia brake stand / A. Suchánek, P. Kurčík, J. Harušinec, P. Strážovec // 16th International Conference Dynamics of Rigid and Deformable Bodies, Ústí nad Labem, Czech Republic, October 17-19, 2018, 8 pages.
6. Šťastniak P. Stability analysis of modified 3-axle rail bogie design / Šťastniak P. // 3rd Conference for Young Scientific Workers Experimental and computational methods in engineering, Ústí nad Labem, Czech Republic, June 2-3, 2016, 8 pages.
7. Gerlici J. The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system / J. Gerlici, M. Gorbunov, K. Kravchenko, R. Domin, M. Kovtanets, T. Lack // 16th International Conference Dynamics of Rigid and Deformable Bodies, Ústí nad Labem, Czech Republic, October 17-19, 2018, 10 pages.
8. Galliková J. The model of rail vehicle reliability calculation / J. Galliková, P. Volna, V. Stuchlý // XVII International Technical Systems Degradation Conference, Liptovský Mikuláš, Slovak Republic, April 4-7, 2018, pp. 17-20.
9. Droppa P. Thermo vision diagnostics of mobile technics / P. Droppa, Š. Pavlov // XVI International Technical Systems Degradation Conference, Liptovský Mikuláš, Slovak Republic, April 19-22, 2017, pp. 17-20.
10. Harušinec J. Mechanical properties of printed parts with low internal filling density / J. Harušinec, A. Suchánek, P. Kurčík, P. Strážovec // 16th International Conference Dynamics of Rigid and Deformable Bodies, Ústí nad Labem, Czech Republic, October 17-19, 2018, 12 pages.

Блатницький М., Діжо Я., Кравченко О.П. Розрахунок на міцність конструкцій опорних частин двірної системи залізничного рухомого складу.

Стаття присвячена конструкції двірної системи, яка призначена для використання на залізничному транспортному засобі. Для системи метро конструкція двірної системи повинна відповідати певним вимогам. В статті представлена тривимірна модель, яка в подальшому обробляється в програмному забезпеченні бази даних. Її метою є створення параметричної моделі двірної системи, яка може бути використана для декількох модифікацій

транспортного засобу метро відповідно до вимог клієнтів. Така нова конструкція дверної системи не обходиться без аналізу міцності основних опорних частин, на які спирається вся дверна система, і, отже, результати цих аналізів допомагають визначити, чи відповідає конструкція суворим критеріям безпеки, надійності і безвідмовності.

Ключові слова: система відкриття дверей, залізничний транспорт, аналіз міцності, комп'ютерне моделювання.

Блатницький М., Дижо Я., Кравченко А.П. Расчет на прочность конструкций опорных частей дверной системы железнодорожного подвижного состава.

Эта статья посвящена презентации конструкции дверной системы, которая предназначена для установки на железнодорожном транспортном средстве. Для системы метро конструкция дверной системы должна отвечать определённым требованиям. Описана трехмерная модель, которая в дальнейшем обрабатывается в программном обеспечении базы данных. Её целью является создание параметрической модели дверной системы, которая может быть использована для нескольких модификаций транспортного средства метро в соответствии с требованиями клиентов. Такая новая конструкция

дверной системы не обходится без анализа прочности основных опорных частей, на которые опирается вся дверная система, и, следовательно, результаты этих анализов помогают определить, соответствует ли конструкция строгим критериям безопасности, надежности и безотказности.

Ключевые слова: система открытия дверей, железнодорожный транспорт, анализ прочности, компьютерное моделирование.

Блатницький М. – к.т.н., заст. завідувача кафедри «Транспорт та підйомно-транспортні машини», Жилінський університет, miroslav.blatnickyy@fstroj.uniza.sk.

Дижо Я. – к.т.н., заст. завідувача кафедри «Транспорт та підйомно-транспортні машини», Жилінський університет, jan.dizo@fstroj.uniza.sk

Кравченко О.П. – д.т.н., проф., завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій, Житомирський державний технологічний університет, avtoap@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

Статья подана 09.04.2019

UDK 656.13.08

MEASURES OF SPEED CONTROL IN THE REPUBLIC OF BELARUS**Kapski D., Korzova A.****ЗАХОДИ СТРИМУВАННЯ ШВИДКОСТІ В РЕСПУБЛІЦІ БІЛОРУСЬ****Капский Д., Коржова А.**

Calming traffic is one of the main approaches to ensuring safety in city streets and it is based on the concept of speed containment. The aim of this approach is to minimize passing transit flows through the streets of district importance, to ensure the pedestrians and cyclists safety, as well as the impact on the behavior of drivers in urban conditions. City streets should be designed taking into account the restriction of "extra" speed, as well as in accordance with the category and purpose. It is necessary to take into account the functionality of the street, the uniformity of the traffic flow, the appropriateness of the imposed limitations, the predictability of the technical means used to organize traffic.

The main criteria for the use of such an approach, as a calming traffic, can be: accident rate, speed, through traffic, specific traffic conditions.

Keywords: speed management, traffic organization, speed control measures system.

Introduction. In the Republic of Belarus over the past 20 years, the number of cars increased by 4 times and exceeded 3 million units. This growth has caused a number of road transport problems associated with an increase in the load on the road network, especially in cities. The speed of the message has decreased, the modes of movement have deteriorated, overloads have appeared, the number of accidents has increased.

The main problem of safety is speed. Anyway speed is connected with all road accidents. First, it is more difficult to react to sudden changes of traffic conditions and to prevent the accident at higher speeds. Secondly, speed affects the severity of the consequences. And first of all it concerns accidents with pedestrians. At a higher velocity, more energy is emitted, and a part of this energy is absorbed by an unprotected human body.

Various methods – road signs, humps, narrowings of a passable part, interruption of a direct trajectory, video control are applied to regulation of the high-speed mode on pieces of streets, more difficult for traffic participants. The limitation informs drivers on the safe speed of the movement under average traffic conditions. According to about 40–50% of drivers move quicker

than the set limit. From them from 10 to 20% exceed the set limitation more than on 10 km/h [1]. Also it should be noted that drivers seldom correct towards reduction the allowed speed at temporary deterioration in weather or road conditions. The choice of speed is influenced by motives of the driver, its adoption of risk, the characteristic of the vehicle and the road environment.

It is more effective to apply an integrated approach to solve the problem of exceeding or selecting the wrong speed for existing conditions. A determinate combination of methods is necessary for each typical section of the road and road network. And the speed limits in a particular place should be justified and understandable to drivers. And for violators, which will always be, we need video monitoring and more stringent legal measures. Highly effective and the use of intra-system auto-mobile technologies, which, when collecting data from technical means of organizing traffic, will additionally warn drivers or limit the speed in accordance with the settings. It is also highly effective to use in-system automotive technologies, which, when collecting data from technical means of organizing traffic, will additionally warn drivers or limit speed in accordance with the settings.

According to statistics [7], speed is the cause in more than 10% of accidents from the total number of reported road accidents and about 30% of fatal accidents. An increase in speed at 1 km/h in urban conditions entails an increase in accidents related to speed by 1–4%.

The speed effect. Between the severity of accidents and high speed there is a clear biomechanical relationship. With increasing speed, the amount of energy released increases and, in case of an accident, it will be absorbed by an object with a smaller mass. In the case of pedestrians, the difference in mass is enormous and there is absolutely no external protection to absorb excess energy. On this basis, Swedish scientist G. Nilsson presented the following relationship between the speed and the number of road accidents [5]:

$$A_2 = A_1 \cdot (V_2/V_1)^2 \quad (1)$$

A2 – the number of accidents after speed changes, accidents;

A1 – the number of accidents before speed changes, accidents;

V2 – the average speed after the introduction of changes, km/h;

V1 – the average speed before the introduction of changes, km/h.

At the same time, the dependence of the severity of the consequences on the change in speed was determined by the following formulas:

$$I2 = I1 \cdot (V2/V1)^3 \quad (2)$$

I2 – the number of accidents with injured after a change in speed, accidents;

I1 – the number of accidents with injured before the change in speed, accidents;

V2 – the average speed after the introduction of changes, km/h;

V1 – the average speed before the introduction of changes, km/h.

$$F2 = F1 \cdot (V2/V1)^4 \quad (3)$$

F2 – the number of accidents with fatalities after a change in speed, accidents;

F1 – the number of accidents with deaths before the change in speed, accidents;

V2 – the average speed after the introduction of changes, km/h;

V1 – the average speed before the introduction of changes, km/h.

These dependencies were refined [2] - the severity of the consequences depends on the initial velocity.

Of course, it is necessary to take into account that in urban conditions it is necessary to maintain a reasonable speed and take into account mobility. But considering only the effect of speed changes on the severity of the consequences and the number of accidents, we obtain the following data (see Table 1).

Table 1

The impact of speed changes on the severity of consequences from accidents

V ₂ , km/h	80	70	60	50	40	30	20
A ₂ , accidents	17,8	13,6	10	6,9	4,4	2,5	1,1
I ₂ , accidents	23,6	15,9	10	5,8	2,9	1,3	0,4
F ₂ , accidents	31,6	18,5	10	4,8	2,0	0,6	0,1

Note: conditionally A1 = 10 accidents, I1 = 10 accidents, F1 = 10 accidents, V1 = 60 km/h - permitted speed according to the Traffic Rules.

The system approach to speed management in pedestrian crossing areas. Traffic calming measures have been applied for a long time. The range of technical methods and means of calming is extremely wide. It includes: channelization; chicanes; gateway treatments; intersection diverters; on-street parking; round-a-bouts; speed humps; speed tables; street

closures; street design alterations; street narrowing; traffic controls; vehicle size restrictions and etc, including combinations. However, it should be noted that Belarus is still taking the first steps to streamline the application of these measures and the calming zones development. For example, in Belarus there is only one ring of a small radius (the Vostochnaya street in Minsk). There is no universal solution when we are choosing a safe speed. Effective speed control requires a comprehensive, systematic, step-by-step approach. The following combination of measures is most often used in the areas of pedestrian crossings [4, 6, 12].

Step 1. Setting limitations. Speed limits should take into account specific characteristics of the road network, be logical and understandable to road users.

Step 2. Informing about speed limits. Appropriate road signs and markings are used to implement this stage. Information on speed limits must be reliable and available under all road conditions.

Step 3. Application of measures of physical and psychological impact. To reduce the level of the conflicts danger between the traffic participants and reduce the speed apply some measures of physical impact in the approach to traffic calming:

humps and bumps of various types and elevated sections of the carriageway (see fig. 1);

dividing lines, street-refuges (fig. 2), narrowings of the carriageway, side reserve strips (fig. 3);



Fig. 1. The typical example of the hump's installation in Minsk, Belarus



Fig. 2. Use of guide strips (Minsk, Belarus)



Fig. 3. The typical example of the street-refuge's installation in Minsk, Belarus

zigzags (fig. 4) ;and small-radius roundabouts (fig. 5);
combination of speed control measures.



Fig. 4. The typical example of the zigzags installation in Minsk, Belarus



Fig. 5. The typical example of the small-radius roundabout's installation in Minsk, Belarus

Step 4. Application of video control and legal measures. Any restrictions should be monitored, and in case of intentional violations it is necessary to apply sanctions in accordance with the law.

Step 5. Informing drivers about the reasons for imposing limitations. Any limitations should be logical for each specific section of the road network and correspond to its characteristics. The introduction of measures from steps 1-4 to reduce the speed should be made available to the traffic participants, and it is also desirable to inform the drivers about it after the implementation of certain results.

The setting the speed limits. Until recently, the general approach for the introduction of speed limits,

including pedestrian crossings, was the introduction of the V85 limit. V85 is a speed that does not exceed 85% of vehicles. In recent years, when choosing speed limits, we are based not only on the choice of the driver, but also on the analysis of the traffic situation and the characteristics of transport and pedestrian flows, especially on the biomechanical constraints of road users.

In Australia and the USA, the X-LIMITS approach is used to select the limit of speed limits. It consists in collecting data on the parameters of the carriageway, the characteristics of the transport and pedestrian flow (intensity, density, speed, intervals between groups of vehicles and pedestrians, etc.) and features of the site. Further, the obtained data is entered into the computer program and the recommended limit for the speed is calculated.

In Europe, the Vision Zero approach is used [8], [9]. It assumes that the upper the speed limit will be such that it is possible to exclude accidents with the dead and significantly reduce the number of accidents with the injured. However, it is necessary to balance the safety, mobility and environmental impact of speed on the state of the environment. Speed should also reflect the function of the road.

The informing about speed limits. First, any information on the limitation must be available to the driver under any road conditions. Secondly, any limits must be justified.

Traffic signs and markings are commonly used to inform about speed limits. Also, innovation systems can be used.

The application of physical and psychological impact measures. The speed of the road must match the category of street or road. In certain places - residential areas, pedestrian crossings, etc. - measures of physical and psychological influence are applied – humps or bumps, narrowing, street-refuges, rings of small radius, portal constructions, etc. Most European countries for such sites apply a speed limit of 30 km/h [11,12,14].

Physical impact measures are applied when entering a low-speed zone to adapt drivers to the proposed traffic conditions. Measures of psychological impact give the feeling to drivers that they enter the territory with special conditions.

Table 4 shows the relationship between the installation of unevenness in the pedestrian crossing zone and accidents.

It is known that the use of humps provides a reduction in the number of accidents both with victims and with material damage [3,10,14]. However, in the course of the research it was found an increase in accidents of varying consequence. This circumstance can be explained by the following reasons.

Firstly, there is no strict division into the local (residential, low-speed) and city-wide (trunk, high-speed) networks in many cities of Belarus. Many residential streets are used for transit, high-speed traffic - the differentiation of the road network is conditional.

Because of this, the displacement of transit traffic from residential streets and its redistribution to high-speed streets (including continuous traffic) does not occur. It should be noted that the city streets are being reconstructed rather slowly. This does not provide a reduction in the accidents number with an increase in intensity. Secondly, in some city where the streets have heavy traffic and the passenger traffic it has been achieved a sufficient reduction only for cars. In some cases, not only passenger transport did not reduce the traffic speed on humps, but also cars. At the same time, studies have found that 6–10% of drivers do not make decisions on reducing their driving speed when driving through humps. Thirdly, in some cases, humps are applied on highways with four or more lanes, where their use is clearly in contradiction with the fundamental tasks of road transport - improving the quality and reducing the cost of transport services, as safety, efficiency, environmental friendliness and sociology, but not only on safety. There were also cases of an increase in the accident rate due to a sharp deterioration in traffic conditions after a comfortable, high-speed traffic to the humps zone. It should be noted that today we are looking for other ways to improve safety, including reducing speed in certain places, within the required limits and at the right time, for example, with the help of flexible traffic light control with mandatory automatic video monitoring. In addition, on such streets with medium and high load, there was an additional specificity associated with the formation and resorption of blocking before humps. This is due to the fact that the saturation flow on humps is significantly less than on a flat surface, respectively, 0.33 and 0.55 v/sec. When driving through the hump of dense packs of cars, the arrival interval of which is close to 2 second, and the departure interval is 3 second blocking is started. And in the presence of an unregulated pedestrian crossing near artificial irregularities, for the same reason queues are formed and grow noticeably faster, and they dissolve much more slowly. It causes traffic delays and additional stops (from a speed of about 20 km / h). There have been cases when a transport-pedestrian overload occurred on humps, causing the formation of long non-dissolving vehicle queues (from 10–15 minutes to several hours). These features exacerbated the process of interaction between traffic and pedestrian flows. Fourthly, the hump forces drivers under the threat of loss of controllability or car breakdowns to forcibly and constantly reduce speed, regardless of the traffic situation. This causes objective disturbance of drivers and passengers, i.e. "Social" costs. In addition, the vigilance of drivers is dulled. Fifthly, there are difficulties associated with the lack of an unequivocal priority of pedestrians when crossing the roadway through an unregulated pedestrian crossing. The transition of the roadway at a pedestrian crossing in the unregulated mode consists of three parts (stages) - the exit to the roadway, the intersection itself and the end of the crossing. The current Rules of the Road give pedestrians an advantage in two phases out of three,

namely, in the actual transition and at the end of the transition. At the same time, a pedestrian can begin the transition of the roadway only when he is convinced of the safety of the exit, i.e. if he does not force the driver of the approaching vehicle to slow down or stop. Many pedestrians simply ignore this. And in conclusion, it should be noted that it was established that the use of humps in historical trends in the reduction of accident rates was not secured.

The video monitoring contributes to reducing the number of potential violators and has proven itself in many countries. When using the video control system, police control and the application of legal measures are intended to be used only in cases of intentional violations of limitations. The effective way to reduce the speed in emergency sections of the road network is to inform the road users about the reasons for the limitations and the effect obtained from the measures taken. The explanation of the introduction of countermeasures helps to reduce the amount of intentional violations.

Speed humps is "the last tool of a set of tools designed to improve traffic safety." At low loads, it reduces the accident rate with victims by about half, increases the accident rate without victims, by about 10% and reduces the overall accident rate by about 15%. Accident on Speed humps remains, since it eliminates only one of a multitude of reasons - it reduces movement speed. In this regard, it is less effective than traffic light regulation, in which accidents with injured people are reduced by a half order. Research has shown that the Speed humps causes economic and environmental losses - from \$ 6,000 / year in yard areas, to \$ 650,000 / year on main streets, and reducing the accident rate by \$ 1 of its estimated socio-economic value leads to an increase in losses 20-120 dollars in the economic and environmental aspects. In addition, it causes significant social losses due to its rejection by both drivers and passengers.

Based on the above, it is recommended: 1. To allow the installation of Speed humps: in residential areas and yard territories equal to them, where the speed of movement is legally limited to 20 km / h or less; as an exception, for example, when descending in front of a school - on two-lane local streets with traffic intensity not more than 120 auto / h in total in both directions.

2. To prohibit the installation of Speed humps: on the streets with three or more lanes; on two-lane streets with the movement of trucks and route passenger transport or with traffic intensity over 120 cars / h in both directions. When justifying the improvement of traffic safety, it is necessary to foresee at the same time as a decrease in the accident rate and an increase in the aggregate quality of road traffic, assessed by the magnitude of the total accident, environmental and economic losses in road traffic [12-14].

Conclusion. The traffic calming use provides or reduces the accidents level. In some cases, an increase in accidents was established due to various organizational and managerial causes in the Belarus conditions. There is also a need to assess the effectiveness of speed control measures, taking into account the traffic specif-

ics in order to improve the overall traffic quality (safety, efficiency, ecological compatibility and sociology). It is necessary to exclude the use of humps on highways using alternative solutions. Also it is necessary to develop proposals for improving the Rules in terms of transferring priority from a pedestrian to the driver and vice versa.

Acknowledgements. This work was supported by internal research projects 3769/09 Road signs with additional devices; 2319/17 Development of road traffic schemes based on traffic police proposals.

References

- 1 Cameron, M. H. & Elvik, R. (2010). Nilsson's Power Model connecting speed and road trauma: Applicability by road type and alternative models for urban roads. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 1908-1915.
- 2 Elvik, R. (2009). The Power Model of the relationship between speed and road safety: update and new analyses. TØI Report; 1034/2009. Oslo, Institute of Transport Economics TØI.
- 3 Elvik R., Høyе F., Vaa T., Sørensen M. (2009) The Handbook of Road Safety Measures. Second Edition. Emerald Group Publishing Limited. Page 405, table 3.1.1.
- 4 Kapsky, D. and others. (2015) Road safety audit. Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus, Belarusian State University of Transport. Gomel.
- 5 Nilsson, G. (1982) The effects of speed limits on traffic crashes in Sweden. In: Proceedings of the international symposium on the effects of speed limits on traffic crashes and fuel consumption, Dublin. Organisation for Economy, Co-operation, and Development (OECD), Paris.
- 6 OECD (2006) Report on speed management measures. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- 7 OECD (2008). Towards Zero: Ambitious road safety targets and the Safe System approach. OECD, Paris.
- 8 Taylor, M., Baruya, A., & Kennedy, J.V. (2002) The relationship between speed and accidents on rural single carriageway roads. TRL Report TRL511. Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- 9 Tingvall, C. & Howarth, N. (1999) Vision Zero: an ethical approach to safety and mobility. The 6th Institute of Transport Engineers International Conference on Road Safety and Traffic Enforcement: Beyond 2000. Melbourne 1999.
- 10 Traffic Engineering Handbook (6th Edition). (2009) Institute of Transportation Engineers. Washington. Page 556, table 15-5.
- 11 Weijermars, W. & Wegman, F. (2011) Ten years Sustainable Safety in the Netherlands; an assessment. *Journal of the Transportation Research Board*, 2213, 1-8.
- 12 Vruble, Y.A. Dangers in traffic / Y.A. Vruble, D.V. Kapski - M.: New knowledge, 2013. - 244 p.
- 13 Kapski, D.V. Methodology of improving the quality of road traffic / D.V. Kapski, Minsk: BNTU, 2018. - 372 p.
- 14 Vruble, Y.A. The definition of losses in road traffic: [monogr.] / Y.A. Vruble, D.V. Kapski, E.N. Kot. - Minsk: BNTU, 2006. - 240 p.

References

- 1 Cameron, M. H. & Elvik, R. (2010). Nilsson's Power Model connecting speed and road trauma: Applicability by

road type and alternative models for urban roads. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 1908-1915.

- 2 Elvik, R. (2009). The Power Model of the relationship between speed and road safety: update and new analyses. TØI Report; 1034/2009. Oslo, Institute of Transport Economics TØI.
- 3 Elvik R., Høyе F., Vaa T., Sørensen M. (2009) The Handbook of Road Safety Measures. Second Edition. Emerald Group Publishing Limited. Page 405, table 3.1.1.
- 4 Kapsky, D. and others. (2015) Road safety audit. Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus, Belarusian State University of Transport. Gomel.
- 5 Nilsson, G. (1982) The effects of speed limits on traffic crashes in Sweden. In: Proceedings of the international symposium on the effects of speed limits on traffic crashes and fuel consumption, Dublin. Organisation for Economy, Co-operation, and Development (OECD), Paris.
- 6 OECD (2006) Report on speed management measures. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- 7 OECD (2008). Towards Zero: Ambitious road safety targets and the Safe System approach. OECD, Paris.
- 8 Taylor, M., Baruya, A., & Kennedy, J.V. (2002) The relationship between speed and accidents on rural single carriageway roads. TRL Report TRL511. Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- 9 Tingvall, C. & Howarth, N. (1999) Vision Zero: an ethical approach to safety and mobility. The 6th Institute of Transport Engineers International Conference on Road Safety and Traffic Enforcement: Beyond 2000. Melbourne 1999.
- 10 Traffic Engineering Handbook (6th Edition). (2009) Institute of Transportation Engineers. Washington. Page 556, table 15-5.
- 11 Weijermars, W. & Wegman, F. (2011) Ten years Sustainable Safety in the Netherlands; an assessment. *Journal of the Transportation Research Board*, 2213, 1-8.
- 12 Vruble, Y.A. Dangers in traffic / Y.A. Vruble, D.V. Kapski - M.: New knowledge, 2013. - 244 p.
- 13 Kapski, D.V. Methodology of improving the quality of road traffic / D.V. Kapski, Minsk: BNTU, 2018. - 372 p.
- 14 Vruble, Y.A. The definition of losses in road traffic: [monogr.] / Y.A. Vruble, D.V. Kapski, E.N. Kot. - Minsk: BNTU, 2006. - 240 p.

Капський Д.В., Коржова А. Методи стримування швидкості в Республіці Білорусь.

Стаття присвячена методам усвідомлення швидкості руху, які є одними з основних підходів до забезпечення безпеки на міських вулицях і засновані на концепціях безпеки. Це є підставою мінімізації прохідних транзитних потоків по вулицях районного значення, забезпечення безпеки пішоходів і велосипедистів, а також вплив на поведінку водіїв у міських умовах. Вулиці міста повинні бути спроектовані з урахуванням швидкостей, а також у відповідності з категорією та призначенням. Необхідно враховувати функціональність вулиці, рівномірність руху транспорту, призначення обмежених можливостей, що використовуються для організації руху. Основними критеріями з використанням такого підходу, як сповільнений трафік, можуть бути: рівень аварійності, швидкість, умови руху.

Ключові слова: система відкриття дверей, залізничний транспорт, аналіз міцності, комп'ютерне моделювання.

Капский Д., Коржова А. Методы сдерживания скорости в Республике Беларусь.

Эта статья посвящена методам успокоения скорости движения, которые являются одним из основных подходов к обеспечению безопасности на городских улицах и основаны на концепции сдерживания скорости. Целью этого подхода является минимизация проходящих транзитных потоков по улицам районного значения, обеспечение безопасности пешеходов и велосипедистов, а также влияния на поведение водителей в городских условиях. Улицы города должны быть спроектированы с учетом ограничения скорости, а также в соответствии с категорией и назначением. Необходимо учитывать функциональность улицы, равномерность движения транспорта, целесообразность наложенных ограничений, предсказуемость технических средств, используемых для организации движения. Основными критериями использования такого подхода,

как успокаивающий трафик, могут быть: уровень аварийности, скорость, условия движения.

Ключевые слова: управление скоростью, организация движения, система мер контроля скорости.

Капский Д. – д.т.н., декан автотракторного факультета, Белорусский национальный технический университет (БНТУ), d.kapsky@gmail.com.

Коржова А. – магистр.т.н., научный сотрудник Научно-исследовательского центра дорожного движения, филиал БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт», tonya_korzhova@tut.by.

Рецензент: д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

Статья подана 08.04.2019

УДК 629.423.33::621.336.323: 001.891.573

**ЕКСПЛУАТАЦІЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ КОНТАКТНИХ
ЕЛЕМЕНТІВ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ****Баб'як М.О.****OPERATION OF RESOURCE-SAVING CONTACT ELEMENTS
OF URBAN ELECTRIC TRANSPORT****Babyak M.**

У статті розглянуто результати експлуатації на струмоприймачах міського електричного транспорту контактних вставок БрЗГ-Гр з нового перспективного матеріалу на основі бронзи, який дозволяє підвищити ресурс експлуатації як самих вставок, так і контактного дроту. Особливістю взаємодії нових вставок струмоприймачів тролейбуса і контактного дроту полягає в покращеному постійному змащенні зони контакту і утворення струмопровідної політури на контактуючих поверхнях. Розроблені рекомендації щодо підвищення експлуатаційних характеристик та надійності контактних вставок струмоприймачів тролейбусів в умовах депо, які ремонтують і експлуатують рухомий склад різних серій.

Ключові слова: експлуатація, струмоприймач, контакт, вставка, зношення, дріт, ресурс

Вступ. Проблема експлуатації контактних елементів струмоприймачів міського електричного транспорту є доволі старою і залишається не вирішеною з кількох причин.

По-перше: у кожному місті є свої особливості пролягання маршрутів - їх протяжність; наявність кривих ділянок; крутизна і довжина затяжних спусків і підйомів; пролягання вздовж відкритих водойм, або у заглибленій місцевості; відкрита чи затінена ділянка, тощо.

По-друге: особливості улаштування контактної мережі на різних маршрутах; різна кількість спеціальних частин контактної мережі; стан контактного дроту; кількість місць стикування контактного дроту, наявність повітряних стрілок і перетинів з трамвайною мережею; віддаленість від тягової підстанції найбільш навантажених ділянок.

По-третє: експлуатація на окремих ділянках і маршрутах тролейбусів різних моделей з різними струмовими характеристиками та схемами керування.

По-четверте: використання контактних вставок на струмоприймачах з різних контактних матеріалів.

По-п'яте: людський фактор, зокрема навик, досвід і відповідальність ремонтного персоналу, а особливо - водіїв тролейбусів.

По-шосте: погодні умови, зокрема дощ, сніг, мороз, ожеледь, спека.

Але, найбільш впливовим на параметри надійності роботи контактної пари "вставка струмоприймача - контактний дріт" залишається матеріал елементів, що контактують.

Головною функцією контактних вставок тролейбусних струмоприймачів є забезпечення надійного ковзного контакту між електричною схемою тролейбуса і контактною мережею.

Окрім цього, головка штанги струмоприймача повинна забезпечувати маневреність тролейбуса; дозволяти йому рухатися як на прямих так і в кривих ділянках великого і малого радіусів; допускати однакове переміщення тролейбуса як вперед, так і назад; не підтримувати горіння можливої електричної дуги, та забезпечувати необхідну ударну стійкість при пересіченні спеціальних частин контактної мережі.

Експлуатація міського електричного транспорту вимагає підвищеної уваги водіїв, зокрема тролейбусів, не тільки під час руху за дорожньою ситуацією, що забезпечує у місті безпечний трафік транспортних засобів але й великої уваги за станом контактних елементів (вставок) струмоприймачів, оскільки від цього залежить безперебійний контакт між контактною мережею та електричними колами тролейбуса.

Одним з найважливіших питань в цьому є забезпечення надійного знімання та передачі тягових струмів. Водій на свій розсуд повинен розрахувати ресурс вугільних вставок таким чином, щоб їх вистачило на рейс, на зміну, чи принаймні до кінцевої зупинки, де є можливість виконати безпечну і якомога швидку заміну, щоб дотриматися графіку руху.

При великій ожеледі на контактних дротах іноді виникає ситуація, яка не дозволяє "розплавити" лід у зоні контакту, що призводить до "примерзання" штанг. Особливо це відбувається в місцях, де постійно збільшена вологість повітря, а кількість тролейбусів, які б тяговими струмами "розтопили" ожеледь мінімальна.

На надійність роботи контактних вставок в основному впливають чинники, які викликають пошкодження і руйнування їх поверхонь тертя. При підвищеній вологості їхні змашуючі властивості знижуються, що призводить до утворення задирів на поверхні контактного дроту і вставок, а, як наслідок, до інтенсивного механічного та електричного зношування контактної пари. При ожеледі на поверхні контактів, або намерзанні мокрого снігу, утворюється електрична дуга, а з цим тісно пов'язане ерозійне пошкодження і зношення як контактної вставки, так і контактного дроту.

Постановка проблеми. На даний час тролейбусні депо України, і зокрема у Львові, використовують в якості електричних ковзних контактів вуглецеві (вугільні) вставки з коксу, або графіту (рис. 1).



Рис. 1. Вугільні контактні вставки



Рис. 2. Металокерамічні вставки (зимові) МКВ-3

У деяких країнах частково використовують металокерамічні вставки (рис. 2), але масового застосування вони не отримали через відносно високу вартість при незначних ресурсах роботи.

Виробники вставок вдаються до усіляких хитрощів і конструктивних рішень за для боротьби з ожеледицею на контактному дроті, включаючи ви-

готовлення вставок з чавуну, щоб навмисне нагрівати зону контакту, або до примітивного надрізування робочої частини контактної вставки для здирання ожеледі механічним способом (рис. 3).

Деякі водії, щоб мати стратегічний запас, особливо для несприятливих погодних умов "виходять з положення" наплавляючи зношені металеві вставки, не думаючи про наслідки використання такого ноу-хау (рис. 4).



Рис. 3. Чавунні контактні вставки



а



б

Рис. 4. Металеві контактні вставки: а – нові; б – після наплавлення електродом

Основним недоліком усіх згаданих контактних вставок є великий знос контактного дроту, а також суттєвий знос самих вставок.

Вагомим недоліком усіх перерахованих контактних вставок, згідно з вимогами Директив Євросоюзу, які ставляться на пріоритетні позиції, є забруд-

нення навколишнього середовища, зокрема і важкими металами. При цьому, хімічний склад і структура даних вставок не дозволяють суттєво покращити експлуатаційні характеристики порівняно з мідно-графітовими вставками, які колись використовували у великих містах з інтенсивним дорожнім трафіком.

Мета статті. Аналіз існуючих контактних вставок для струмоприймачів міського електричного транспорту, виявлення основних конструктивних, технологічних та експлуатаційних недоліків відомих контактних вставок та розробка ресурсозберігаючої технології експлуатації контактних вставок струмоприймачів тролейбусів з урахуванням їх взаємодії з контактним дротом.

Викладення основного матеріалу. На даний час на міському електричному транспорті, як і на більшості видах електрорухомого складу залізничного та промислового 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.

Проте, жодна відома контактна вставка не забезпечує в повній мірі надійність роботи струмоприймача.

Технічна задача, що вирішується нашою розробкою композиції для вставки штангових струмоприймачів міського електричного транспорту, є створення контактного 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 [1].

Прикладом реалізації даної моделі є контактні елементи на бронзовій основі БрЗГ струмоприймача електрорухомого складу з підвищеною зносостійкістю пари контактного дроту і струмоз'ємного елемента [2].

На даний час авторами розробки проведені дослідження покращеної композиції для контактних пластин струмоприймачів електрорухомого складу постійного струму (масова частка вуглецю в політурі перевищує 35%), що дозволить зменшити знос контактного проводу, з підвищенням ресурсу самої пластини [3, 4].

Використовуючи патенти № 90838 та № 93116, на основі аналізу проведених раніше випробувань контактного матеріалу БрЗГ, що добре себе зарекомендував на електровозах та електропоїздах залізничного транспорту, за ініціативою начальника тролейбусного депо №3 ЛКП "Львівелектротранс" визначено перспективи використання нового матеріалу БрЗГ-Тр в якості контактних вставок для струмоприймачів тролейбусів.

Розробникам поставлені задачі щодо виготовлення і випробування в умовах депо та в реальній експлуатації контактних вставок струмоприймачів тролейбусів БрЗГ-Тр.

Усі дослідження базувалися на використанні теоретичних моделей, прогнозувалися на математично-аналогових моделях, а результати експлуатаційних випробувань (як моделі в натуральну величину) оброблялися з використанням методів математичної статистики [5-8].

Було розроблено шість варіантів контактних вставок, найкращими з яких стали БрЗГ-5Тр (рис. 5) і БрЗГ-6Тр (рис. 6).

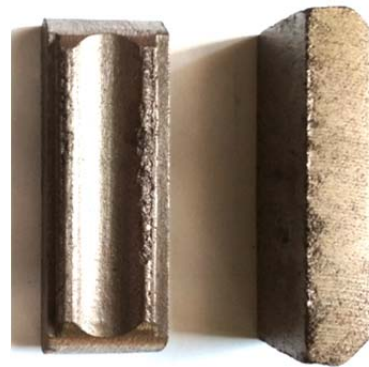


Рис. 5. Контактні вставки БрЗГ-5Тр



Рис. 6. Контактні вставки БрЗГ-6Тр

У лютому 2018 року випробувані контактні вставки БрЗГ-4Тр (висота робочої зони 6 мм) на тривісному зчленованому тролейбусі "Škoda 15TrM" № 602 в умовах депо і на маршруті №3.

Погодні умови випробувань складні - іній, мороз -16°C , великий шар ожеледі на контактному дроті. Пробіг контактних вставок БрЗГ-4Тр склав 4 доби і 443,65 км. Знос вставок 1,9...2,1 мм.

Основним зауваженням було: недостатня висота вставок 6 мм у робочій зоні, що призводить до швидкого зносу. Комісія запропонувала розробити контактні вставки БрЗГ відповідно до висоти вугільних вставок і провести випробування контактних вставок на тролейбусах різних моделей на усіх маршрутах.

З 26.02.2018 р. по 01.03.2018 р. , проведено випробування контактних вставок струмоприймачів електротранспорту марки БрЗГ-5уТр (висота робочої зони 14 мм), на тривісному зчленованому тролейбусі "Škoda 15TrM" № 602 в умовах депо та на маршрутах №3 і 5. Погодні умови випробувань складні - іній, мороз $-15...-20^{\circ}\text{C}$, великий шар ожеледі на контактному дроті. Пробіг дослідних конта-

ктних вставок БрЗГ-5уТр № 5у-1, 5у-2 становив 4 доби і 660 км. Знос вставок 1,9...2,2 мм.

При цьому 27.02.2018 р. на тролейбусі "Škoda 15TrM" № 598, який працював на тому ж маршруті, заміна вугільних вставок 2УГА виконувалася двічі на круг. За зміну (12 кругів) замінено 48 вставок. Проте, за зміну 28.02.2018 р. (10 кругів) було замінено 13 вставок марки 2УГА.

Для випробувань у найважчих умовах - сильна ожеледь та підвищена вологість, контактні вставки БрЗГ-5уТр було переставлено на модернізований тролейбус "Škoda 14Tr" № 512 і випробувано на маршруті № 11 протягом двох діб при температурі -23...-25°C. Знос вставок становив 0,35...0,4 мм.

При цьому 02.03.2018 р. на тролейбусі "Škoda 14Tr" № 555, який працював на тому ж 11 маршруті, заміна вугільних вставок 2УГА виконувалася 8 разів. За зміну (8 кругів) було замінено 16 вставок. А 03.03.2018 р. (8 кругів) замінено 10 вставок 2УГА.

Далі тролейбус "Škoda 14Tr" № 512 експлуатувався на маршрутах № 3, 5, 11, 12, 13, 24. Погодні умови випробувань складні - іній, різкі перепади температур, мороз з великим шаром ожеледі на контактному дроті, дощі, велика вологість, різке потепління з випаровуванням. Загальний пробіг дослідних контактних вставок БрЗГ-5уТр станом на 19.03.2018 становив 20 діб і 3104 км. Знос вставок становив 7,8...9,8 мм.

З 01.03.2018 р. до 18.03.2018 р. проведено випробування контактних вставок струмоприймачів електротранспорту марки БрЗГ-6зТр № 6-1, 6-2 (висота робочої зони 14 мм), на тривісному зчленованому тролейбусі "Škoda 15TrM" № 602 в умовах депо та на маршруті №3. Погодні умови випробувань складні - іній, різкі перепади температур, мороз з великим шаром ожеледі на контактному дроті, дощі, велика вологість, різке потепління з випаровуванням. Пробіг контактних вставок БрЗГ-6зТр становив 18 діб і 2938 км. Знос вставок становив 3,8...4,0 мм.

Комісія визнала доцільним впровадження контактних вставок марок БрЗГ-5уТр і БрЗГ-6зТр в експлуатацію у тролейбусному депо ЛКП "Львівелектротранс".

Основними перевагами контактних вставок марок БрЗГ-5уТр і БрЗГ-6зТр було визнано змащення контактного дроту, утворення на ньому і на контактній вставці захисної струмопровідної політури, що запобігає окисленню контактних поверхонь.

Рекомендовано випробування контактних вставок БрЗГ-5уТр і БрЗГ-6зТр на тролейбусах "Електрон Т19101" на окремому маршруті №9.

17.05.18 року контактними вставками БрЗГ-5Тр були облаштовані головки струмоприймачів на тролейбусах "Електрон Т19101, Т19102" - №№ 115, 117, 121, 123. На тролейбусі "Електрон Т19102" № 119 продовжено випробування дослідних контактних вставок БрЗГ-6зТр № 6-1, 6-2.

Експериментально доведено можливість роботопридатності вставок БрЗГ-Тр до 4 мм з ресурсом 11000 км. при дотриманні вимог експлуатації, відповідно до ТУ.

Поточні розрахунки зносу вставок виконувалися щоденно після візуальної оцінки стану і проведення замірів. Комісійний огляд і заміри зносу проводилися щотижнево в депо.

Особливими погодними умовами за час експлуатації були швальні дощі і спека.

На 09.07.2018 року результати експлуатації були задовільними. Вставки №№ 5-3, 5-4, 5-5, 5-6, 5-7, 5-8, 6-1, 6-2 були зняті і передані для оцінки роботи в управління ЛКП "Львівелектротранс". Вставки №№ 5-1, 5-2 експлуатувалися до 23.07.18 р.

Результати випробувань зведені у таблицю 1.

Таблиця 1

Результати випробувань дослідних контактних вставок БрЗГ-Тр

№ вставки	марка	Початок роботи	Кінець роботи	№ тр-са	Початкова висота, мм
4-1	4Тр	16.02.18	19.02.18	602	6
4-2	4Тр	16.02.18	19.02.18	602	6
5у-1	5уТр	26.02.18	19.03.18	602, 512	14
5у-2	5уТр	26.02.18	19.03.18	602, 512	14
6-1	6зТр	01.03.18	09.07.18	602, 119	14
6-2	6зТр	01.03.18	09.07.18	602, 119	14
5-1	5Тр	17.05.18	23.07.18	121	14
5-2	5Тр	17.05.18	23.07.18	121	14
5-3	5Тр	17.05.18	09.07.18	115	14
5-4	5Тр	17.05.18	09.07.18	115	14
5-5	5Тр	17.05.18	09.07.18	117	14
5-6	5Тр	17.05.18	09.07.18	117	14
5-7	5Тр	17.05.18	09.07.18	123	14
5-8	5Тр	17.05.18	09.07.18	123	14
№ вставки	Поточна висота, мм	Знос, мм	Пробіг вставки, км	Робота вставки, доба	Особливо складні умови роботи
4-1	4,1	1,9	443,6	4	Іній, ожеледь
4-2	3,9	2,1	443,6	4	Іній, ожеледь
5у-1	6,2	7,8	3104	20	Ожеледь, дощ
5у-2	4,2	9,8	3104	20	Ожеледь, дощ
6-1	4,8	9,2	11391	71+	Ожеледь, дощ
6-2	4,3	9,7	11391	71+	Ожеледь, дощ
5-1	8,5	5,5	8375	67+	Дощ, спека
5-2	8,9	5,1	8375	67+	Дощ, спека
5-3	10,5	3,5	8247	53+	Дощ, спека
5-4	10,0	4,0	8247	53+	Дощ, спека
5-5	10,5	3,5	7729	53+	Дощ, спека
5-6	9,5	4,5	7729	53+	Дощ, спека
5-7	9,1	4,9	9947	53+	Дощ, спека
5-8	8,2	5,8	9947	53+	Дощ, спека

Примітка: "+" - на момент огляду вставки продовжують працювати

Комісія в умовах тролейбусного депо №3 ЛКП "Львівелектротранс" за результатами випробувань контактних вставок БрЗГ-Тр зробила такі висновки:

- вставки БрЗГ-Тр не мають оплавлення країв і не переносять метал з контактного дроту на вставки;
- вставки БрЗГ-Тр змащують контактний дріт, утворюють на ньому захисну струмопровідну політуру, що запобігає окисненню вставки і дроту;
- завдяки рівномірному зносу самої контактної вставки БрЗГ-Тр, внутрішні грані щічок головки струмоприймача не стираються, що не вимагає частоті заміни щічок;
- вставки БрЗГ-Тр мають значно більший ресурс роботи порівняно з вугільними, а також відомими аналогами мідно-графітових вставок;
- вставки БрЗГ-Тр придатні до експлуатації у зимовий період;

- за період дослідної експлуатації нарікань зі сторони працівників служби електропостачання до дослідних вставок БрЗГ-Тр не зафіксовано.

- оцінка водіїв щодо роботи контактних вставок БрЗГ-Тр - відмінно;

- використання вставок БрЗГ-Тр зменшує час простою тролейбуса для вимушеної заміни вставок, зокрема на проїжджій частині, що зменшує ймовірність аварійних ситуацій, нещасних випадків, а також зменшення кількості захворювань водіїв завдяки відсутності необхідності виходу з кабіни, особливо за несприятливих погодних умов;

- при систематичному розвертанні головок струмоприймача на 180 градусів хоча б раз на день, знос контактної поверхні вставок стає рівномірним, а інтенсивність зносу значно зменшується.

Середній пробіг контактних вставок БрЗГ-5Тр улітку 2018 року становив 42 доби і 5660 км. Проте, зустрічалися випадки заміни вставок з пробігом 1350...1600 км та одностороннім зносом вставок через ігнорування вимог експлуатації про розвертання головки струмоприймача.

Основною причиною нерівномірного швидкого зносу контактних вставок БрЗГ-Тр, як і вугільних 2УГА є відсутність належного контролю водіїв за роботою струмоприймачів.

Основною причиною різного зносу вставок лівої та правої штанги є значна різниця натиску штанг на контактний дріт, а іноді і перевищення допустимих значень.

Середній пробіг контактних вставок БрЗГ-5Тр у вересні-жовтні 2018 року становив 27...35 діб і 4236...5270 км. Основною причиною інтенсивності зношення залишився нерівномірний знос правої і лівої вставки, а також односторонній знос. Підвищення інтенсивності зносу спостерігалось під час тривалих дощів у жовтні.

У листопаді-грудні 2018 року передано 400 од. зимових контактних вставок БрЗГ-6зТр. Пробіг вставок БрЗГ-6зТр у листопаді-грудні 2018 року становив 25...37 діб і 3854...5099 км. Основною причиною різкого зносу стало значне обмерзання контактного дроту, а також односторонній знос.

Для постійного контролю 04.01.19 року встановлено 40 контактних вставок БрЗГ-6зТр на тролейбуси різних марок на різні маршрути.

Усього протягом 2018-2019 років в умовах тролейбусного депо №3 ЛКП "Львівелектротранс" було використано 1038 вставок контактних БрЗГ-Тр.

Пробіг вставок БрЗГ-Тр на тролейбусах різних моделей відрізнявся в залежності від роботи на різних маршрутах та погодних умов і становив 21...45 діб, або 2550...7819 км.

Середня витрата вставок БрЗГ-Тр у 2018-2019 р.р. становила 5,17.. 6,26 комплектів на рік.

Використання вугільних вставок 2УГА у той же період в становило 1,23...5,7 вставок/день на тролейбус, залежно від погодних умов і маршруту.

Результати вибіркової перевірки серійної експлуатації контактних вставок БрЗГ-6Тр наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Результати вибіркової перевірки серійної експлуатації контактних вставок БрЗГ-6Тр

№ вставки	марка	Початок роботи	Кінець роботи	№ тролейбуса	Поточна висота, мм	Знос, мм	Пробіг вставки, км	Робота вставки, доба	Особливо складні умови роботи
918-919	6зТр	04.02.19	11.03.19	115	11-5	3-9	5034	35	Іній, ожеледь
807-808	6зТр	04.01.19	12.03.19	117	10-8	4-6	3651	18+	Іній, ожеледь
861-870	6зТр	11.02.19	12.03.19	119	7-6	7-8	5621	30+	Іній, ожеледь
916-917	6зТр	30.01.19	28.02.18	120	9-7	5-7	4987	29+	Іній, ожеледь
845-846	6зТр	06.02.19	12.03.19	121	7-6	7-8	5489	35+	Іній, ожеледь
819-820	6зТр	18.01.19	27.02.19	123	7-8	7-6	5748	41	Іній, ожеледь

Примітка: "+" - вставки продовжують працювати

Висновок. У роботі проаналізовано конструктивні та експлуатаційні особливості контактних вставок струмоприймачів міського електричного транспорту, зокрема тролейбусів.

З урахуванням специфіки взаємодії контактних вставок струмоприймача та контактного дроту, вмісту просочувального матеріалу, а також умов експлуатації залежно від струмових навантажень та умов навколишнього середовища, розроблено про-

позиції щодо використання в якості контактних вставок нового перспективного матеріалу БрЗГ-Тр.

Результати досліджень можуть в подальшому бути реалізовані в ЛКП «Львівелектротранс» та у навчальному процесі ДНУЗТ.

Л і т е р а т у р а

1. ТУ У 31.6 - 2237310075 001:2018 Вставка контактна БрЗГ для струмоприймачів електротранспорту. Технічні умови.
2. Баб'як М.О. Ресурсозберігаюча технологія експлуатації накладок струмоприймачів з урахуванням їх взаємодії з контактним дротом // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2018. – № 2 (243). – С. 32–37.
3. Babyak M., Horobets V., Sychenko V., Horobets Y. Comparative tests of contact elements at current collectors in order to comprehensively assess their operational performance. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.-Kharkov: Vol 6, No12 (96) (2018), p.13-21
4. Баб'як М.О., Горобець В.Л., Артемчук В.В. Дослідження фізико-механічних властивостей накладок пантографів, що застосовуються в якості струмоємних елементів електрорухомого складу // Электрические контакты и электроды. Серия: Композиционные, слоистые и градиентные материалы и покрытия : зб. наук. пр. — Київ, 2016. — С.89-100.
5. Горобець В.Л., Баб'як М.О., Ярмач А.Я., Бондарев О.М. Методологія комплексної оцінки експлуатаційних якостей накладок струмоприймачів електрорухомого складу. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – № 1 (218). – С. 297–302.
6. Myamlin, S., Dailidka, S., & Neduzha, L. (2012). Mathematical Modeling of a Cargo Locomotive. Proceedings of 16th international conference Transport Means, 310-312.
7. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
8. Klimenko, I., Černiauskaite, L., Neduzha, L. & Ochkasov, O. (2018). Mathematical Simulation of Spatial Oscillations of the «Underframe-Track» System Interaction. Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems – ITELMS'2018: Proc. of 12th Intern. Conf., 105-114.

References

1. TU U 31.6 - 2237310075 001:2018 Vstavka kontaktna BrZH dlya strumoprymachiv elektrotransportu. Tekhnichni umovy. TST-0188.
2. Bab'yak M.O. Resursozberihayucha tekhnolohiya ekspluatatsiyi nakladok strumoprymachiv z urakhuvannyam yikh vzayemodiyi z kontaktnym drotom // Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya. – 2018. – № 2 (243). – S. 32–37.
3. Babyak M., Horobets V., Sychenko V., Horobets Y. Comparative tests of contact elements at current collectors in order to comprehensively assess their operational performance. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.-Kharkov: Vol 6, No12 (96) (2018), p.13-21.
4. Bab'yak M.O., Horobets' V.L., Artemchuk V.V. Doslidzhennya fizyko-mekhanichnykh vlastyvyostey nakladok pantografiv, shcho zastosovuyut'sya v yakosti

strumoz'yemnykh elementiv elektrorukhomoho skladu // Elektricheskiye kontakty y elektrody. Seryya: Kompozitsionnye, sloystye y hradyentnye materyaly y pokrytyya : zb. nauk. pr. — Kyiv, 2016. — S.89-100.

5. Horobets' V.L., Bab'yak M.O., Yarmak A.YA., Bondaryev O.M. Metodolohiya kompleksnoyi administrativnoyi diyal'nosti. // Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya. – 2015. – № 1 (218). – s. 297–302.
6. Myamlin, S., Dailidka, S., & Neduzha, L. (2012). Matematychnye modelyuvannya vantazhnoho lokomotyva. Materialy 16-yi mizhnarodnoyi konferentsiyi "Transportni zasoby", 310-312.
7. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Matematychnye modelyuvannya dynamichnoho zavantazhennya pidshypnykiv kaset dlya vantazhnykh vagoniv. Transportni zasoby: Navch. 21-ho Stazhera. Scientific Conf., 973-976.
8. Klymenko I., Chernyauskayte, L., Neduzha L., Ochkasov O.O. (2018). Matematychnye modelyuvannya prostorovykh kolyvan' systemy vzayemodiyi «pidramnyk-dorizhka». Intelktual'ni tekhnolohiyi v systemakh lohistyky ta mekhatroniky - ITELMS'2018: Proc. 12-ho stazhera. Conf., 105-114.

Баб'як М.О. Експлуатація ресурсозберігаючих контактних елементів міського електричного транспорту.

У статті розглянуто результати експлуатації на струмоприймачах міського електричного транспорту контактних вставок БрЗГ-Тр з нового перспективного матеріалу на основі бронзи, який дозволяє підвищити ресурс експлуатації як самих вставок, так і контактного дроту. Особливістю взаємодії нових вставок струмоприймачів тролейбуса і контактного дроту полягає в покращеному постійному змащенні зони контакту і утворення струмопровідної політури на контактуючих поверхнях. Розроблені рекомендації щодо підвищення експлуатаційних характеристик та надійності контактних вставок струмоприймачів тролейбусів в умовах депо, які ремонтують і експлуатують рухомий склад різних серій.

Ключові слова: експлуатація, струмоприймач, контакт, вставка, зношення, дріт, ресурс

Babyak M. Operation of resource-saving contact elements of urban electric transport.

In the article the results of operation of contact inserts BrZG-Tr from a new promising material on the basis of bronze, which allows to increase the lifetime of both inserts and contact wire. The peculiarity of the interaction of the new inserts of current receivers of the trolleybus and the contact wire is the improved permanent contact zone lubrication and the formation of conductive polyurethane on the contact surfaces. Recommendations for increasing the operational characteristics and reliability of trolley bus current inserts have been developed in the depot conditions, which repair and operate the rolling stock of different series.

Keywords: operation, current collector, contact, insert, wear, wire, resource

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

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

Стаття подана 13.03.2019

УДК 711.582

ПРИБУДИНКОВІ ТЕРИТОРІЇ: ТЕНДЕНЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ЇХ ПРОБЛЕМИ**Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є.****NEAR HOUSE TERRITORY: TRENDS OF THE ORGANIZATION AND THEIR PROBLEMS****Biloshytska N., Tatarchenko G., Biloshytskiy M., Uvarov P.**

В статті зроблено аналіз факторів, що впливають на комфортне перебування мешканців на прибудинковій території. Зроблено аналіз основних функціональних зон прибудинкової території. Досліджено архітектурно-планувальну структуру прибудинкової території багатоповерхової та середньоповерхової житлової забудови європейських та українських міст, зокрема м. Сєвєродонецька, розробили заходи щодо покращення прибудинкової території.

Ключові слова: житлова забудова, функціональні зони, багатоповерхова забудова, благоустрій, прибудинкова територія.

Вступ. Сучасне місто є складною системою, в якій протікають різні процеси, в першу чергу, пов'язані з життєзабезпеченням людини. Все зростаючий темп життя населення міст із зростаючим числом потреб і підвищенням ролі матеріального благополуччя і зниженням значимості соціальних аспектів життя людини призводять до різних проблем, пов'язаних з нестачею відпочинку, спілкування, звуження соціальних зв'язків до робочого колективу і сім'ї.

Прибудинкова територія включає в себе не тільки традиційний двір – внутрішній простір, обмежений забудовою, – але й частину прилеглих зовнішніх просторів, найбільш активно використовуваних жителями і виступає буфером між людиною і негативними факторами сучасного міста, що впливають на неї. Прибудинкова територія – це найбільш доступний простір для відпочинку та комунікації поза робочим місцем та житловими приміщеннями. Простір двору є соціальною територією, в зв'язку з цим він повинен бути упорядкований таким чином, щоб бути здатним задовольнити комунікативні потреби жителів, тобто бути комфортним.

Поняття комфортності проживання нерозривно пов'язане з життєпридатністю території, житлових кварталів і описується трьома ознаками оточення: життєзабезпечення, безпека та співзвуччя [1].

1. До життєзабезпечення віднесені такі характеристики, як доступність об'єктів повсякденного обслуговування, пішохідна доступність зупинок

громадського транспорту, тобто наявність необхідних функціональних зон.

2. До безпеки віднесені такі складові, як функціонально-типологічна різноманітність, інтровертність (тобто приватність). Найбільшу приватність дворових просторів забезпечує компактно-периметральна і групова структура забудови.

3. До співзвучності віднесені такі характеристики, як співмасштабність елементів середовища, впізнаваність (ідентичність), поверховість.

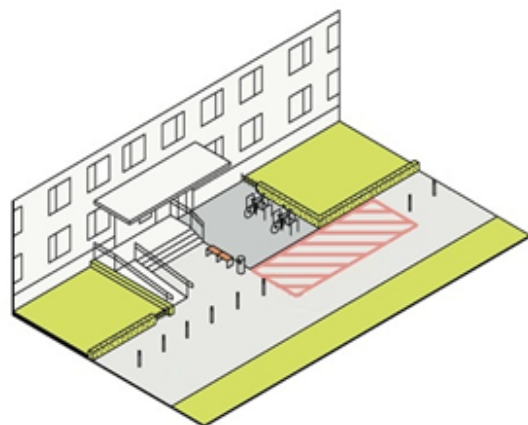
Метою даної роботи є аналіз факторів, що впливають на комфортне перебування населення на прибудинковій території та розробка пропозицій, що відповідають всім сучасним вимогам з реконструкції та благоустрою житлового двору одного з мікрорайонів м. Сєвєродонецька.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Прибудинкова територія поділяється на п'ять основних функціональних зон: входу, парковки, галасливого відпочинку, тихого відпочинку і господарської [2].

Організація зони входу передбачає облаштування вхідної групи, підходів і під'їздів до неї, а також місць для короткочасного відпочинку і очікування (рис. 1). Вхідна група обладнується пандусом з ухилом не більше 8% (при висоті підйому менше 0,2 м – до 10%) для маломобільних груп населення. Кожна зона входу в житловий будинок обладнується урнами і елементами освітлення. Щоб забезпечити короткострокову стоянку автомобілів екстрених служб, а також завантаження і вивантаження, з одного боку від вхідної групи в складі другорядного внутрішньоквартального проїзду передбачається площадка розміром 3 × 7 м.

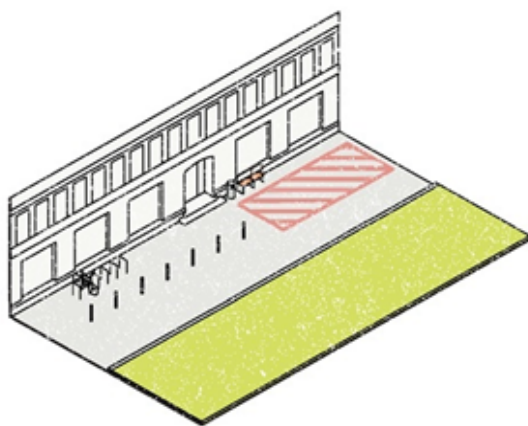
Основні внутрішньоквартальні проїзди повинні бути організовані з урахуванням високої інтенсивності їх використання транспортними засобами і забезпечувати найкоротші наскрізні проїзди через територію двору і зв'язок з об'єктами соціальної інфраструктури (рис. 2, а). Другорядні проїзди служать для забезпечення зв'язку зон входів в будинок з основними внутрішньоквартальними проїздами і



а



б

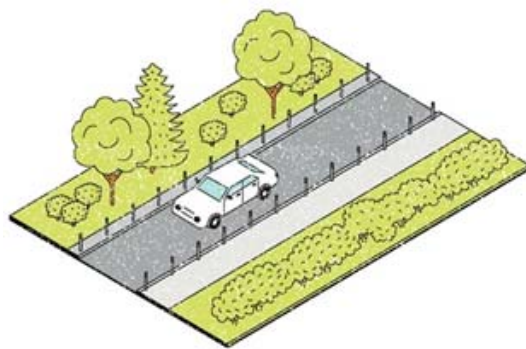


в



г

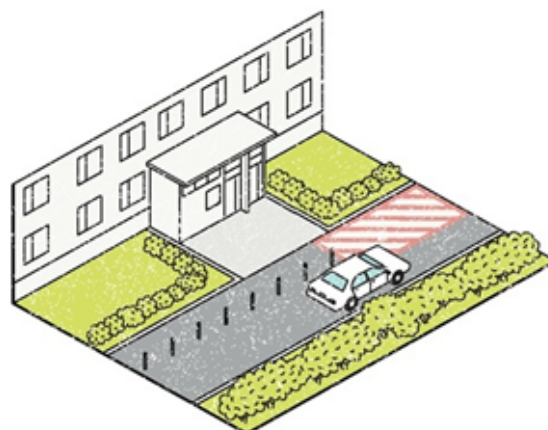
Рис. 1. Організація входу в житловий будинок:
а – піднесеним над рівнем тротуару з ганком, схема;
б – те ж, фото; в – піднесеним над рівнем тротуару
без ганку, схема; г – те ж, фото



а



б



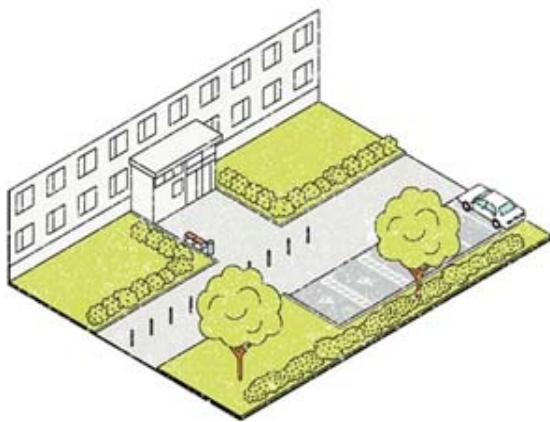
в



г

Рис. 2. Організація внутрішньоквартальних проїздів:
а – основних, схема; б – те ж, фото; в – другорядних,
схема; г – те ж, фото

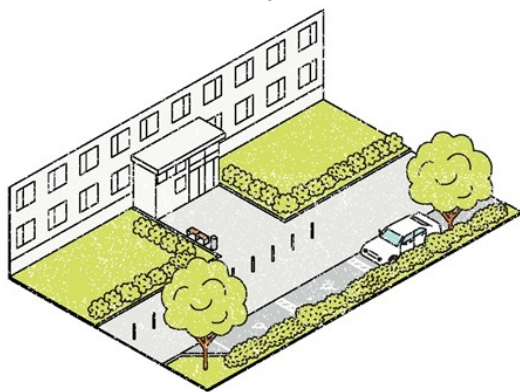
повинні відповідати вимогам пожежної безпеки з урахуванням поверховості будівлі, до якого вони примикають (рис. 2, б). Основні і другорядні проїзди повинні бути освітлені.



а



б



в



г

Рис. 3. Організація парковки: а – перпендикулярно осі проїзду, схема; б – те ж, фото; в – паралельно осі проїзду, схема; г – те ж, фото

Уздовж внутрішньоквартальних проїздів передбачаються паркувальні кишені, де місця для машин розташовані перпендикулярно або паралельно осі проїзду (рис. 3). При реконструкції головної умовою є збереження кількості паркувальних місць.

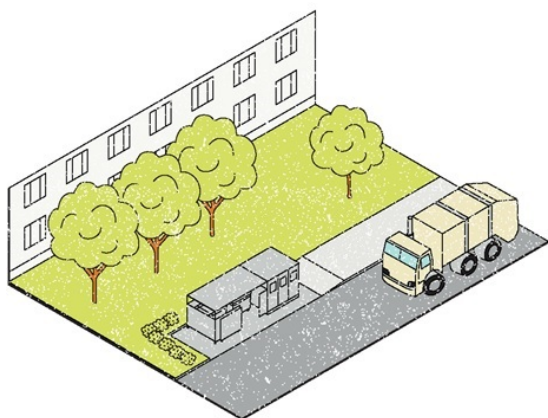
Дворові території повинні проглядатися, тому висота насаджень не повинна перевищувати 1,2 м. Через кожні чотири-п'ять машино-місць на прилеглих озеленених ділянках слід висаджувати дерева для захисту припаркованого автотранспорту від прямих сонячних променів в літній час. Парковки повинні бути освітлені.

Під час улаштування дитячих майданчиків на прибудинкових територіях необхідно дотримуватися вимог чинних нормативно-інструктивних документів, а саме ДБН Б.2.2-12:2018 «Планування і забудова територій» та ДБН Б.2.2-5:2011 «Благоустрій територій».

Відкритого простору для організації ігрових майданчиків дітей при щільній забудові не багато, тому необхідно використовувати всі наявні планувально-просторові заходи для збільшення функціонально-просторового ресурсу (рис. 4). Для потреб дітей є більший вибір у формуванні вікових та інших груп для ігрової діяльності, ширші можливості соціалізації, більша контрольованість дворового простору, але менші параметри відкритого простору на кожну дитину порівняно з іншими типами забудови, необхідність мінімізації шуму від дітей [4]. Тому є доцільним розміщувати майданчики для ігор дітей 7-12 років та спортивні майданчики в найближчому парку або сквері.



Рис. 4. Дитячі майданчики на прибудинковій території



а



б



в



г

Рис. 5. Організація майданчиків для збору ТПВ:
а – схема; б – під навісом; в – з озелененням
та огороженням; г – з озелененням

Для збору та тимчасового зберігання сміття (твердих побутових відходів) у дворах встановлюються контейнери з огорожею, навісом і озеленюються. В деяких випадках такі майданчики закриваються жителями на замок, щоб ніхто сторонній не потрапив на їх територію (рис. 5).

Майданчики для встановлення сміттєзбірників необхідно розмішувати вздовж проїздів. Контейнери можна доповнювати окремими сміттєприймачами з пунктом підпресування. Для роздільного збору сміття зазвичай виділяють наступні категорії: скло, метал, пластик, папір, харчові відходи, небезпечні відходи [5-7].

Огородження й навіс майданчика повинні бути виконані з матеріалів, які легко мити і можна дезінфікувати. Для відводу поверхневих вод необхідно забезпечувати ухил майданчика в сторону проїзду.

Якщо на прибудинковій території присутні різного роду розподільні пункти, їх захищають спеціальними огорожами з метою неможливості попадання в них сторонніх і маскують посадками дерев і чагарників (рис. 6).



Рис. 6. Огородження й маскування розподільного пункту

Двір є одним з міських інтер'єрів, значення якого в соціально-культурному середовищі міста велике. Встановленню емоційних контактів людини з архітектурним середовищем міста сприяє ряд



а



б



в



г

Рис. 7. Парковки і велопарковки в Данії:
а – парковки уздовж будинків з боку вулиці,
б – підземні парковки; в – велопарковки відкриті;
г – велопарковки закриті

особливостей об'ємно-просторової будови дворів. Напівзамкнуті простори «інтер'єрів» міського середовища, доповнені зеленню аркади, галереї, внутрішні двори викликають позитивні емоції. Однією з причин комфортності цих елементів є відповідність середовища параметрам людини.

Для міст Данії, зокрема Копенгагена, характерна забудова будинками в 7-8 поверхів, максимум 10. Відсутність закритих дворів з охороною і паркінгів в них. Нормою паркувальних місць для новобудов є 1,2 машино-місця на 2-х кімнатну квартиру площею 80 м². Парковки в спальних районах розташовуються або вздовж будинків з боку вулиці, або влаштовуються підземні (рис. 7, а, б). Гостьові парковки розташовуються уздовж вулиці та їх невелика кількість. У планах влади Копенгагена повністю прибрати в центрі парковки уздовж вулиць. Парковка буде можлива тільки на підземних або багаторівневих паркінгах. Замість обмежувальних стовпчиків укладаються камені, а на в'їздах в підземні парковки влаштовуються перголи. Великою популярністю користується екологічно чистий вид транспорту – велосипед. Тому у дворах велика кількість велопарковок як закритих, так і відкритих (рис. 7, в, г).

Жителі Данії особливу увагу приділяють екології, тому сміття сортують, є окремі баки для скла, батарейок і паперу. Контейнерні майданчики закриваються і призначені тільки для жителів району.

Для міст Фінляндії, зокрема Гельсінкі, характерна квартальна забудова підвищеної щільності з чітким поділом на двір і вулицю. Райони побудовані в одному стилі, але немає двох однакових будинків, навіть двох однакових під'їздів в одному будинку. Забудова малої і середньої поверховості, в основному 6-8 поверхів – це вважається оптимальною поверховістю для житла.

Характерною особливістю фінських дворів, також як і в Данії, є відсутність в них машин, зате присутні гойдалки і облаштовані зони для ігор дітей різного віку (рис. 8, а, б), влаштовуються різноманітні альтанки в різних частинах двору (рис. 8, в), а також столики з лавочками (рис. 8, г).

На відміну від Данії, двори в Фінляндії є приватними, тільки для жителів даного кварталу (рис. 9).

У старих районах Берліна суцільна квартальна забудова, вхід у двір відбувається через ворота. Вони, як правило, закриваються на ключ, який є тільки у місцевих жителів, а також у комунальних служб, які вивозять сміття. Двори таких районів виглядають акуратно, дерева огорожені і покладена тротуарна плитка (рис. 10). У дворах немає автомобілів, їх можна встановлювати тільки на спеціальних парковках, але можна ставити велосипеди.



а



б



в



г

Рис. 8. Благоустрій прибудинкової території в Фінляндії:
а – дитячі майданчики для дітей дошкільного віку;
б – дитячі майданчики для дітей шкільного віку та підлітків; г – альтанки; д – столики з лавочками



Рис. 9. Прибудинкові території в Гельсінкі



Рис. 10. Двори у старих районах Берліну

Результати досліджень та їх обговорення.

Виконаємо дослідження прибудинкового простору у сучасній багатоповерховій житловій забудові м. Северодонецька.

Для реалізації поставленої мети були проведені дослідження дворів міста Северодонецька та виявлено загальні проблеми розвитку територій.

Так, забудова 60-70-х років минулого століття не має чіткого зонування прибудинкових територій та необхідного складу майданчиків, характерних для поліфункціонального двору (рис. 11, а), тобто територія не має:

- дитячих ігрових майданчиків молодших вікових груп, яким необхідний постійний контроль батьків;
- яскравого благоустрою для сприйняття його як зсередини, так і зверху (з вікон квартир);
- мінімізації автомобільного руху і відсутності паркувальних місць;
- великої кількості вуличних меблів;
- великої кількості озеленення;
- якості матеріалів і елементів двору, порівнянної з житловим простором квартир.

Для цього періоду характерна в основному 4-5 поверхова забудова.

Забудова 80-2000-х років має деякі характерні особливості поліфункціонального простору, а саме: присутність на прибудинковій території дитячих ігрових майданчиків та вуличних меблів, але хаотично по всій території двору припарковані авто та висаджені дерева (рис. 11, б). В цей час переважала 9-поверхова забудова.

Починаючи з 2000-х років більшу увагу приділяли при забудові житлових кварталів, тому вже чітко проглядається наявність всіх необхідних елементів поліфункціонального двору (рис. 11, в).

У теперішній час в місті стало правилом здавати об'єкти в експлуатацію з виконанням озелененням, якщо дозволяє сезон, але з завезеним і спланованим рослинним ґрунтом – обов'язково, в будь-який час року.

Проведений методами натурного обстеження аналіз стану дворів Северодонецька дозволив виявити основні проблеми організації дворового простору:

- дефіцит місць для паркування;
- необхідність організації прибудинкових майданчиків різного функціонального призначення.

У даній роботі були розроблені пропозиції щодо реконструкції прибудинкової території, розташованої в центральній частині м. Северодонецька (рис. 12).

Основними проблемами в забудові даного типу прибудинкових територій є:

- недостатня різноманітність функціональних зон: через невеликі відстані між будівлями важко розміщувати галасливі рекреаційні майданчики і великі майданчики для спортивних ігор;
- значну частину дворових просторів займають місця для паркування, хаотично розташовані уздовж проїздів і ускладнюють пересування автомобілів і доступ жителів до входів в будинки.



а



б



в

Рис. 11. Благоустрій прибудинкових територій м Северодонецька: а – забудова 60-70-х років минулого століття; б – забудова 80-2000-х років; в – сучасна забудова



Рис. 12. Існуюча стан прибудинкової території центральної частини м. Северодонецька

Загальний перелік заходів при реконструкції та благоустрої територій включає в себе:

- створення прибудинкових паркувальних місць;
- розробку структури функціонального зонування і організацію зручної мережі пішохідного руху на прибудинковій території;
- реконструкція існуючих і будівництво спортивних та дитячих майданчиків з травмобезпечним покриттям і сучасним обладнанням;
- пристрій системи основного зовнішнього освітлення;
- розробка дендрологічного плану території, яка враховує нові вимоги і поступову заміну вимираючого і малоцінного озеленення новими рослинами з високими екологічними і естетичними характеристиками.



Рис. 13. Принципи розміщення функціональних зон при впорядкуванні прибудинкових територій в багатоповерховій мікрорайонній забудові:

- 1 – зона входу; 2 – зона паркування; 3 – зона галасливого відпочинку; 4 – зона тихого відпочинку; 5 – господарська зона

Висновки. Дослідження показали, що сучасна забудова більшості кварталів Северодонецька носить незакінчений характер і виконана з порушенням єдиної композиційної та об'ємно-просторової системи.

Проаналізовані міські території переважно центральної частини м. Северодонецька показали, що наявні резерви даних площ можливо використовувати для реконструкції. Тільки комплексний благоустрій всього кварталу або групи кварталів може дати якісне вдосконалення середовища і формування внутрішньоквартальних та дворових просторів.

Кwartали, на сьогоднішній день складаються із старого житла і позбавлені обов'язкових елементів благоустрою і комфорту, а також квартали масової серійної забудови після комплексної реорганізації підвищать цінність цих територій для міста і комфортності проживання населення.

Література

- 1 Линч К. Совершенная форма в градостроительстве. – М.: Стройиздат, 1986. – 112 с.
- 2 Сердюк Т.В. Концепція розвитку архітектурно-планувальної структури внутрішньо дворового простору житлової забудови / Т.В. Сердюк, Т.Е. Потапова, В.М. Бармалюк, В.О. Кобилянський // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Міське будівництво та архітектура. – Том 24. – №1 (2018). – С. 66-73.
- 3 https://uploads/knowledge_file/content/39/170512_Monotowns_Report_17.5_Courtyards.pdf
- 4 Особливості пристосування щільної забудови середньої поверховості до потреб дітей. Смалійчук, А. Д. <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/31046>.
- 5 Директива 2008/98/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 19 листопада 2008 року про відходи (електронний ресурс): <http://www.minjust.gov.ua/45875>
- 6 Закон України від 05.03.1998 № 187/98-ВР «Про відходи» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1998, N 36-37, ст.242) Із змінами (електронний ресурс): <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3073-14/ed20150628>
- 7 Тараненко М. Сміття місту не пасує: наведення порядку з вивезенням сміття з Харкова / М. Тараненко // Слобідський край. - 2006. - № 83. - С. 2-9.
- 8 Фото <https://varlamov.ru/1592678.html>

References

- 1 Linch K. Sovershennaya forma v gradostroitelstve. – M.: Stroyizdat, 1986. – 112 s.
- 2 Serdyuk T.V. KontseptsIya rozvitku arhItekturno-planuvальноYi strukturi vnutrIshno dvorovogo prostoru zhitlovoYi zabudovi / T.V. Serdyuk, T.E. Potapova, V.M. Barmalyuk, V.O. Kobilyanskiy // Suchasnl tehnologIYi, materIali I konstruksIYi v budIvnitstvl. MIske budIvnitstvo ta arhItektura. – Tom 24. – #1 (2018). – S. 66-73.
- 3 https://uploads/knowledge_file/content/39/170512_Monotowns_Report_17.5_Courtyards.pdf
- 4 OsoblivostI pristosuвання schIlnnoYi zabudovi serednoYi poverhovostI do potreb dltey. SmalIychuk, A. D. <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/31046>.
- 5 Direktiva 2008/98/ES Evropeyskogo Parlamentu ta Radi vId 19 listopada 2008 roku pro vIdhodi (elektronniy resurs): <http://www.minjust.gov.ua/45875>
- 6 Zakon UkraYini vId 05.03.1998 # 187/98-VR «Pro vIdhodi» (VIdomostI VerhovnoYi Radi UkraYini (VVR), 1998, N 36-37, st.242) Iz zmlnami (elektronniy resurs): <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3073-14/ed20150628>
- 7 Taranenko M. SmIttya mIstu ne pasuE: navedennya poryadku z vivezennyam smIttya z Harkova / M. Taranenko // Slobidskiy kray. - 2006. - # 83. - S. 2-9.
- 8 Foto <https://varlamov.ru/1592678.html>

Белошицкая Н.И., Татарченко Г.О., Белошицкий Н.В., Уваров П.Е. Придомовые территории: тенденции организации и их проблемы.

В статье произведен анализ факторов, влияющих на комфортное пребывание жителей на придомовой территории. Сделан анализ основных функциональных зон придомовой территории. Исследовано архитектурно-планировочную структуру придомовой территории многоэтажного и среднеэтажной жилой застройки европейских и украинских городов, в частности г. Северодонецка, разработаны мероприятия по улучшению придомовой территории.

Ключевые слова: *жилая застройка, функциональные зоны, многоэтажная застройка, благоустройство, придомовая территория.*

Biloshytska N., Tatarchenko G., Biloshytskiy M., Uvarov P. Near house territory: organization trends and their problems

The article analyzes the factors affecting the comfortable residents stay in the near house territory. Analysis of near house territory main functional zones is made. Researched architecture-planning structure of near house territory of European and Ukrainian high- and middle-stored residential buildings, in particular town of Severodonetsk, improvement activity of near house territory was developed.

Key words: *residential buildings, functional zones, multi-stored residential buildings, improvement activity, near house territory.*

Білошицька Н.І., к.т.н., доц., доцент кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
Татарченко Г.О., д.т.н., проф., завідувач кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Білошицький М.В., к.т.н., доц., доцент кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Уваров П.Є., к.т.н., доц., доцент кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Рецензент: д.т.н., проф., **Суворін О.В.**

Стаття подана 12.03.2019

УДК 621.225:51.001.57

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ГИДРООБЪЕМНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ПОЛУПРИЦЕПА АКТИВНОГО АВТОПОЕЗДА ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ

Бурлыга М.Б.

CHOICE OF HYDRAULIC DRIVE SYSTEM RATIONAL SCHEME FOR ACTIVE SEMI-TRAILER ROAD TRAIN TERRAIN

Burlyga M.

В статье проанализированы две схемы гидрообъемной передачи активных полуприцепов с параллельным и последовательным подключениями гидромоторов. Выявлено, что схема с параллельным подключением гидромоторов является приоритетной. В основу предложенного вывода были положены результаты тяговых испытаний самоходных шасси Ш-104 и Ш-06 класса 0,6, а также результаты стендовых испытаний, которые подтверждают выводы, предложенные в статье. На этапе проектирования важным являлось по результатам анализа сделать правильный выбор схемы с гидрообъемной передачей активного автопоезда. Подтверждено, что приоритет имеет гидрообъемная передача с параллельным соединением гидромашин для активного автопоезда с учетом одномашинного регулирования.

Ключевые слова: активный полуприцеп, гидронасос, гидромотор, гидрообъемная передача.

Введение. В настоящее время для перевозки различных типов грузов используется специализированный подвижный состав, в частности, автопоезд.

Автопоезд – это комбинированное многозвенное транспортное средство, которое состоит из автомобиля-тягача и прицепного звена (прицеп или полуприцеп). Прицепных звеньев у автопоезда может быть несколько.

Использование автопоездов позволяет увеличить производительность подвижного состава и снизить себестоимость перевозок. Однако, в случаях преодоления участков бездорожья для доставки крупногабаритных грузов необходимо увеличивать проходимость автопоезда. Для этой цели используются активные модули автопоезда (активные полуприцепы). В свою очередь, одной из возможностей увеличения проходимости автопоезда является использо-

вание активного модуля с гидрообъемной передачей (ГОП).

Одной из важных задач в определении рациональной схемы ГОП является исследование способов регулирования угловой скорости ГОП.

Изменение скорости движения активного автопоезда с ГОП может осуществляться несколькими способами, основные из которых:

- изменение рабочего объема насоса при неизменном рабочем объеме гидромотора;
- изменение рабочего объема гидромотора при неизменном рабочем объеме насоса.

Вопрос использования схем ГОП с регулируемым насосом и гидромотором рассматривался в работе [2]. Установлено, что схема ГОП с регулируемым насосом обеспечивает размеры гидромотора. Но габариты насоса увеличиваются. Вопрос методов управления работой ГОП рассматривался также в работах [8, 9].

Как известно, при составлении различных схем с ГОП могут использоваться схемы с параллельным и последовательным соединением гидромоторов и гидронасосов, а также с возможностью регулирования гидронасосов и гидромоторов (одно- или двухмашинное регулирование). Эти вопросы исследовались в работах [4, 5, 10]. В данной работе было показано, что двухмашинное регулирование ухудшает параметры ГОП.

Создание активных полуприцепов повышенной проходимости велось на Кременчугском автомобильном заводе достаточно давно. В качестве примера можно привести активный автопоезд КраЗ-260Д (рис. 1). В разработке был применен силовой привод с механической передачей, который имеет существенные недостатки, такие, как сложная и тяжелая конструкция с использованием угловых редукторов,

невозможность расщепления и замены прицепного состава [3].

Одной из возможностей улучшения указанных недостатков является возможность использования ГОП.

Целью работы является анализ двух схем ГОП активных полуприцепов с параллельным и последовательным подключениями гидромоторов.

Изложение основного материала. В одной из первых работ [1] по гидроприводу самоходных машин были предложены различные схемы ГОП. Одной из самых рациональных схем ГОП является схема с регулируемым гидронасосом и двумя нерегулируемыми гидромоторами (рис. 2).

В этой схеме гидромоторы могут быть установлены отдельно на шасси полуприцепа, что удобно обеспечивает компоновку автопоезда. Гидромоторы – нерегулируемые, регулируемым является только гидронасос [7]. Схема позволяет создать простую автоматическую систему управления и, по мнению автора работы [2] является наиболее эффективной.

В работе [3] предложена одна из возможных схем гидрообъемного привода двухосного колесного модуля прицепного звена автопоезда.

Особенностью данной схемы ГОП является последовательное подключение гидромоторов, в отли-

чие от схемы с параллельным подключением гидромоторов, представленной на рис. 3.

Проанализируем преимущества и недостатки этих схем. На рис. 4 представлена тяговая характеристика машины с объемным гидроприводом с двумя гидромоторами, работающими в параллельном и последовательном режимах.

Гиперболообразная кривая I – I, характеризующая режим работы объемного гидропривода при параллельном соединении гидромоторов, описывается уравнением

$$M_2 \cdot \omega_2 = K_N \cdot N_{XZ} \cdot \eta_{\text{полн}} \quad (1)$$

где ω_2 – угловая скорость вала гидромотора,

M_2 – крутящий момент на валу гидромотора,

$\eta_{\text{полн}}$ – полный КПД ГОП,

K_N – коэффициент размерной мощности,

N_{XZ} – максимальная требуемая мощность.

Кривая II – II, характеризующая последовательный режим работы гидромоторов, также подчиняется зависимости (1). Но, поскольку полные КПД передачи $\eta_{\text{полн}}$ в параллельном и последовательном режимах работы гидромоторов различны, она несколько смещена относительно кривой I – I.



Рис. 1. Активный автопоезд с механическим приводом [3]

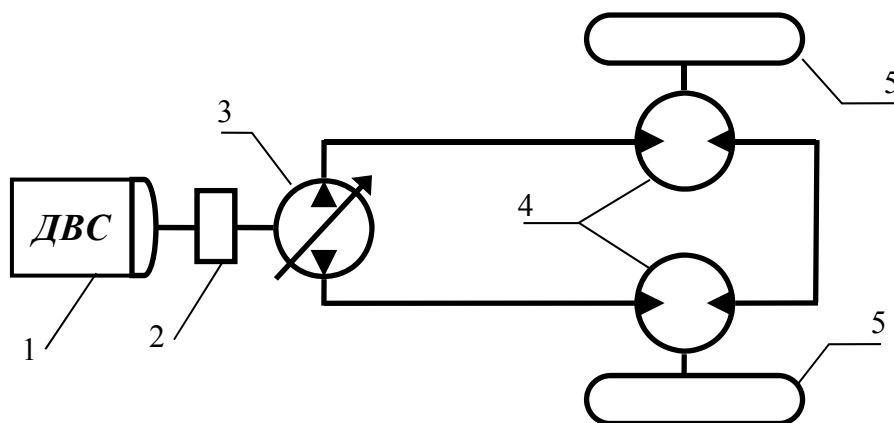


Рис. 2. Схема ГОП с регулируемым гидронасосом и двумя нерегулируемыми гидромоторами: 1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – раздаточная коробка; 3 – гидронасос; 4 – гидромотор; 5 – движитель (колеса)

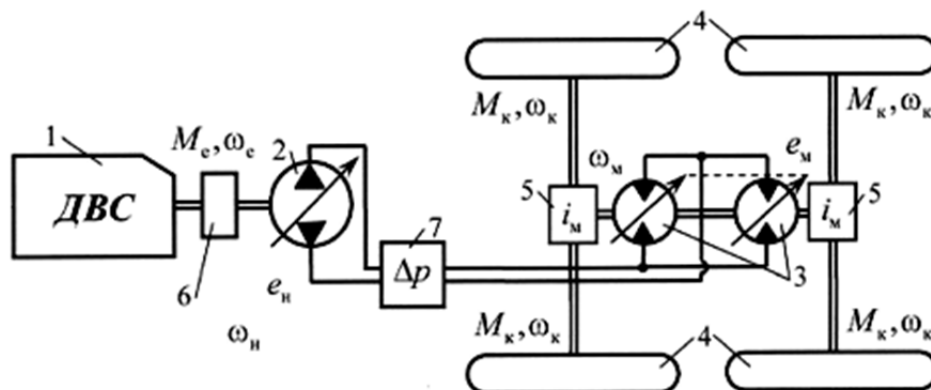


Рис. 3. Схема ГОП двухосного колесного модуля прицепного звена автопоезда:
1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – гидронасос; 3 – гидромотор; 4 – движитель (колеса);
5 – главная передача; 6 – раздаточная коробка; 7 – клапанная система [3]

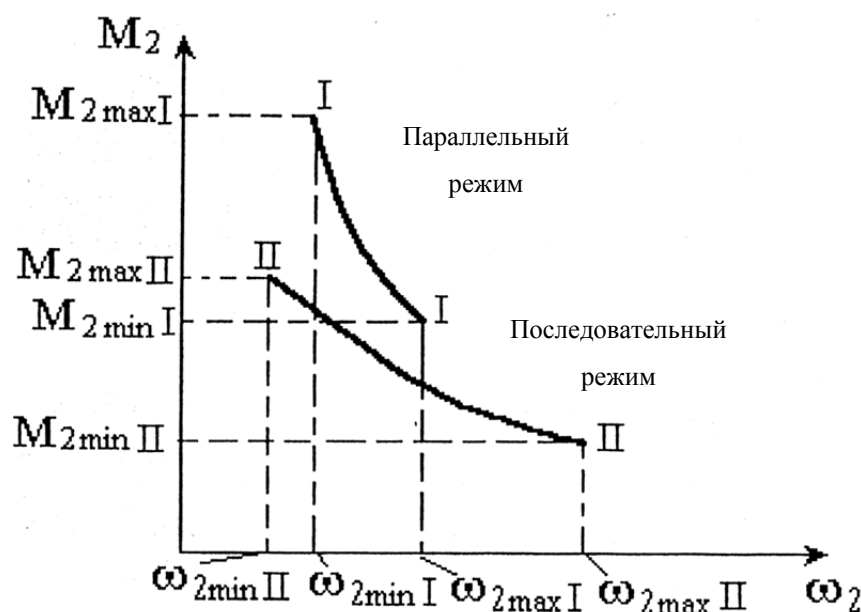


Рис. 4. Тяговая характеристика машины с объемным гидроприводом, работающая в параллельном и последовательном режимах [4, 5]

Из-за повышенных объемных потерь $\eta_{полнII} < \eta_{полнI}$ кривая II – II соответствует меньшей мощности, чем кривая I – I. Это подтверждается исследованиями Ю. Ловцова и А. Рогова [6].

Суммарный объем гидромоторов, соответствующий рабочему диапазону нагрузок, определяется из выражения

$$\sum K_2 = \frac{P_{Kmax} \cdot R_K}{K_M \cdot \Delta P_{max} \cdot \eta_{M2} \cdot i_P \cdot \eta_P} \quad (2)$$

где $\sum K_2$ – суммарный рабочий объем гидромоторов,

η_P – КПД механической части ГОП между валом гидромотора и движителями (колесами),

P_{Kmax} – максимальная касательная сила тяги на движителях,

R_K – динамический радиус ведущего колеса,

ΔP_{max} – максимальный перепад давлений в напорной и сливной магистралях,

η_{M2} – гидромеханический КПД гидромотора,

i_P – передаточное число механической части ГОП между валом гидромотора и движителями (колесами).

Рабочий объем насоса K_1 может быть определен из условия обеспечения максимальных скоростей. В режиме параллельного соединения гидромоторов рабочий объем насоса определяется так:

$$K_1 = K'_1 = \frac{v_{max} \cdot K_2 \cdot i_P}{K_n \cdot m \cdot n_1 \cdot R_K \cdot \eta'_{01} \cdot \eta'_{02}}, \quad (3)$$

где K_n – коэффициент размерности,
 η'_{01}, η'_{02} – объемные КПД насосов и гидромоторов в режиме параллельного соединения,
 $v_{\max}$ – максимальная скорость,
 K_2 – рабочий объем гидромотора,
 n_1 – частота вращения гидронасоса,
 m – число насосов.

В режиме последовательного соединения гидромоторов зависимость для определения рабочего объема насоса имеет вид

$$K' = K'' = \frac{v_{\max} \cdot K_2 \cdot i_n}{2K_n \cdot m \cdot n_1 \cdot R_K \cdot \eta''_{01} \cdot \eta''_{02}}, \quad (4)$$

где η''_{01}, η''_{02} – объемные КПД насосов и гидромоторов в режиме последовательного соединения.

Параметры ГОП с параллельными и последовательными соединениями гидромоторов можно считать рационально подобранными, если соблюдаются следующие условия:

- а) обеспечивается максимальная производительность машины в диапазоне рабочих скоростей;
- б) имеется возможность бесступенчатого изменения скорости во всем диапазоне скоростей – от нуля до максимальной.

Первое условие выполняется в том случае, если режим параллельной работы гидромоторов охватывает весь диапазон рабочих нагрузок, второе – если соблюдается соотношение

$$M_{2\max II} \geq M_{2\min I} \quad (5)$$

На основании вышеизложенного можно предложить следующую схему активного автопоезда (рис. 5).

Данная схема, в отличие от схемы на рис. 2, может иметь два регулируемых гидронасоса, что может быть обусловлено требованием к повышенной проходимости автопоезда в условиях бездорожья. Наличие двух насосов позволяет создать разность силовых потоков рабочей жидкости и обеспечить различную угловую скорость ведущих колес, а также, в случае необходимости повышенной маневренности машины, подача насосами рабочей жидкости может быть распределена по бортам.

Кроме указанных схем для автопоездов с активным полуприцепом может быть использована автономная насосная установка, представляющая собой дополнительный дизельный двигатель и регулируемый реверсивный гидронасос (гидронасосы). Автономная насосная установка может располагаться на борту или платформе автомобиля и соединяться с гидромоторами через гибкие трубопроводы [3].

В качестве регулируемого гидронасоса может быть предложен аксиально-поршневой гидронасос (например, завода ОАО «Гидросила», г. Кропивницкий), а в качестве гидромоторов – мотор-колеса с кулачковыми шайбами и радиально расположенными цилиндрами (фирма «Сису», Финляндия). Параметры гидронасосов и гидромоторов могут быть определены после проведения тягового расчета автопоезда.

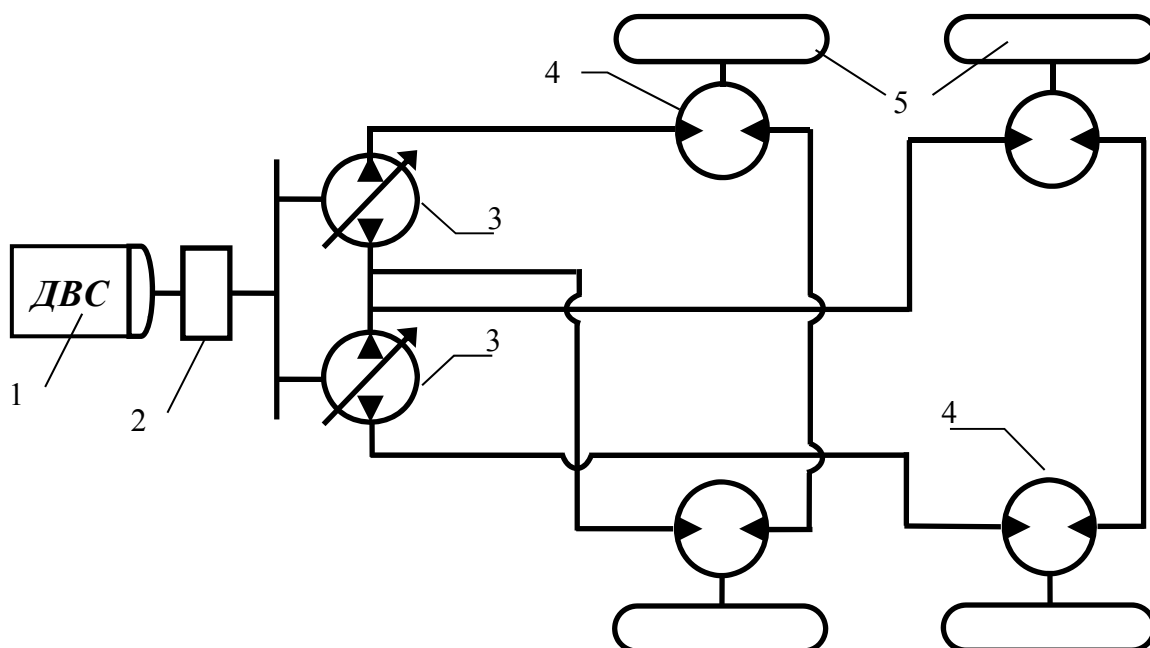


Рис. 5. Схема активного автопоезда:

- 1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – раздаточная коробка; 3 – гидронасосы;
- 4 – гидромоторы; 5 – движитель (колеса)

Выводы. Проанализированы схемы ГОП активного полуприцепа с параллельным и последовательным подключениями гидромоторов. Установлено, что использование регулируемых гидромоторов уменьшает КПД гидропередач. Отмечено, что схема с параллельным подключением является приоритетной из-за более высокого КПД гидропередач.

Таким образом, двухмашинное регулирование ухудшает работу ГОП независимо от схем подключения гидромоторов.

В то же время применение гидравлической передачи в составе активного автопоезда позволяет уменьшить недостатки использования схемы активного автопоезда с механической передачей.

Л и т е р а т у р а

1. Комисарик С. Ф., Ивановский Н. А. Гидравлические объемные трансмиссии. Москва: Машгиз, 1963. 155 с.
2. Бурлыга М. Б. Исследование способов регулирования угловой скорости вала гидромотора объемного гидропривода самоходного шасси. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. Харьков, 2000. Вып. 10. С. 16–22.
3. Коркин С. Н., Курмаев Р. Х., Крамер А. С. Применение активных колесных модулей в автопоездах для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов. *Известия Московского государственного технического университета «ММИ»*. 2012. № 2 (14). Т. 1. С. 160–168.
4. Бурлыга М. Б. Обоснование оптимальных параметров гидромашин объемного гидропривода ходовой части самоходного шасси. *Тракторна енергетика в рослинництві*. Харків, 1999. Вип. 5. С. 140–146.
5. Львовский К. Я., Черпак Ф. А., Серебряков И. Н., Щельцын Н. А. Трансмиссии тракторов. Москва: Машиностроение, 1976. 280 с.
6. Ловцов Ю. И., Рогов А. Я. Влияние переключения схемы питания гидромоторов на потери в гидрообъемной трансмиссии. *Тракторы и сельхозмашины*. 1969. № 3. С. 8–10.
7. Самородов В. Б., Рогов А. В., Бурлыга М. Б. Методика и результаты построения универсальных характеристик гидрообъемно-механических трансмиссий. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. 2002. № 3 (14). С. 46–49.
8. Самородов В. Б., Коваль А. А., Бурлыга М. Б. Сравнение универсальных характеристик гидрообъемных передач как элементов перспективных бесступенчатых гидрообъемно-механических трансмиссий украинских тракторов. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. 2009. Вип. 2 (55), Ч. 1. С. 73–77.
9. Самородов В. Б., Митцель Н. А., Бурлыга М. Б. Экспериментальное исследование бесступенчатой гидрообъемно-механической трансмиссии. *Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 17–18 апр. 2015 г.)*. Новосибирск, 2015. № 3 (10), Ч. 4. С. 6–10.
10. Бурлыга М. Б. Универсализация математических моделей гидрообъемных передач, работающих в составе двухпоточных бесступенчатых трансмиссий. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2008. Вип. 5/5 (35). С. 4–7.

References

1. Komisarik, S. F., Ivanovskiy, N. A. (1963), *Gidravlicheskkiye obyemnyye transmissii* [Hydraulic volumetric transmissions], Mashgiz, Moskva, Russia.
2. Burlyga, M. B. (2000), *Issledovaniye sposobov regulirovaniya uglovoy skorosti vala gidromotora ob'yemnogo gidroprivoda samokhodnogo shassi* [Study of the methods of regulating the angular velocity of the shaft of the hydraulic motor of a volumetric hydraulic drive of a self-propelled chassis], *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*, vol. 10. pp. 16–22.
3. Korokin, S. N., Kurmayev, R. Kh., Kramer, A. S. (2012), *Primeneniye aktivnykh kolesnykh moduley v avtopoyezdakh dlya perevozki krupnogabaritnykh i tyazhe lovesnykh gruzov* [The use of active wheel modules in road trains for the transport of bulky and heavy goods], *Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta «MAMI»*, no. 2(14). vol. 1. pp. 160–168.
4. Burlyga, M. B. (1999), *Obosnovaniye optimal'nykh parametrov gidromashin obyemnogo gidroprivoda khodovoy chasti samokhodnogo shassi* [Substantiation of the optimal parameters of hydraulic machines for the hydraulic drive system of the chassis of a self-propelled chassis], *Traktorna yenergetika v roslinnitstvi*, vol. 5. pp. 140–146.
5. L'vovskiy, K. Ya., Cherpak, F. A., Serebryakov, I. N., Shchel'tsyn, N. A. (1976), *Transmissii traktorov* [Tractor transmissions], Mashinostroyeniye, Moskva, Russia.
6. Lovtsov, Yu. I., Rogov, A. Ya. (1969), *Vliyaniye pereklyucheniya skhemy pitaniya gidromotorov na poteri v gidroobyemnoy transmissii* [The effect of switching the power supply circuit of hydromotors on losses in hydrostatic transmission], *Traktory i sel'khoz mashiny*, no. 3. pp. 8–10.
7. Samorodov, V. B., Rogov, A. V., Burlyga, M. B. (2002), *Metodika i rezul'taty postroyeniya universal'nykh kharakteristik gidroobyemno-mekhanicheskikh transmissiy* [Methodology and results of the construction of universal characteristics of hydraulic-mechanical transmissions], *Visnyk Kremenchutskoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu*, vol. 3, no. 14. pp. 46–49.
8. Samorodov, V. B., Koval', A. A., Burlyga, M. B. (2009), *Sravneniye universal'nykh kharakteristik gidroobyemnykh peredach kak elementov perspektivnykh besstupenchatyykh gidroobyemno-mekhanicheskikh transmissiy ukrainskikh traktorov* [Comparison of universal characteristics of hydro-volumetric gears as elements of promising stepless hydraulic-mechanical transmissions of Ukrainian tractors], *Visnyk Kremenchutskoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho*, vol. 2, no. 55, part 1. pp. 73–77.
9. Samorodov, V. B., Mittsel', N. A., Burlyga, M. B. (2015), *Eksperimental'noye issledovaniye bes-stupenchatoy gidroobyemno-mekhanicheskoy transmissii* [An experimental study of a stepless hydrovolume-mechanical transmission], *Nauchnyye perspektivy XXI veka. Dostizheniya i perspektivy novogo stoletiya: materialy X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Novosibirsk, 17–18 apr. 2015)*, vol. 3, no. 10, part 4. pp. 6–10.
10. Burlyga, M. B. (2008), *Universalizatsiya matematicheskikh modeley gidroobyemnykh peredach, rabotayushchikh v sostave dvukhpotochnykh besstupenchatyykh transmissiy* [Universalization of mathematical models of hydrostatic gears operating as part of double-flow continuously variable transmissions], *Skhidno-Yevropeys'kyi zhurnal передових технологій*, vol. 35, no. 5. pp. 4–7.

Бурлига М.Б. Вибір раціональної схеми гідрооб'ємної передачі для напівпричепи активного автопоїзда підвищеної прохідності.

В статті проаналізовані дві схеми гідрооб'ємної передачі активних напівпричепів з паралельним і послідовним підключенням гідромоторів. Виявлено, що схема з паралельним підключенням гідромоторів є пріоритетною. В основу запропонованого виводу були покладені результати тягових випробувань самохідних шасі Ш-104 і Ш-06 класу 0,6, а також результати стендових випробувань, які підтверджують висновки, запропоновані в статті. На етапі проектування важливим було за результатами аналізу зробити правильний вибір схеми з гідрооб'ємною передачею активного автопоїзда. Підтверджено, що пріоритет має гідрооб'ємна передача з паралельним з'єднанням гідромашин для активного автопоїзда з урахуванням одномашиного регулювання.

Ключові слова: активний напівпричеп, гідронасос, гідромотор, гідрооб'ємна передача.

Burlyga M.B. Choice of hydraulic drive system rational scheme for active semi-trailer road train terrain.

The paper analyses two schemes of hydraulic drive system (HDS) of active semitrailers with parallel and serial connections of hydraulic motors. The priority of scheme with parallel connection of hydraulic motors determined. The proposed conclusion was based on the results of traction tests of self-propelled chassis Sh-104 and Sh-06 class 0.6, as well as the results of bench tests that confirm the conclusions proposed in the article. At the design stage, it was important to make the right choice of the scheme with the hydraulic transmission of the active road train based on the analysis results. It is confirmed that the priority has a hydraulic transmission with a parallel connection of hydraulic machines for active road train taking into account single-machine regulation. As an adjustable hydraulic pump, the axial and piston hydraulic pump can be used and as hydraulic motors – motorized wheels with cam washers and radially located cylinders.

Keywords: active semitrailer, hydraulic pump, hydraulic motor, hydraulic drive system.

Бурлига М.Б. – к.т.н., старший викладач кафедри «Автомобілі та трактори» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, e-mail: burligakr@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф., **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 23.03.2019

УДК 621.384

УЛУЧШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ С ПОМОЩЬЮ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Василенко Н.А., Гончаров В.В., Климаш А.А.

IMPROVEMENT OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CYLINDROPIRICLE GROUP DETAILS USING IONIC IMPLANTATION METHOD

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

В статье проведены исследования механических характеристик чугуна СЧ24-44, распространённого материала цилиндропоршневой группы. В результате обработки микротвердость поверхностного слоя образцов возросла более чем в 6 раз по сравнению с микротвердостью исходного материала и составила 256 МПа, износ поверхности обработанных образцов уменьшился почти в 8 раз. При этом энергия адгезии составила 12 МПа, а толщина модифицированного слоя не превышала 1,5 мкм.

Ключевые слова ионная имплантация, модифицированный слой, микротвердость, адгезия, износ.

Введение. Развитие автомобилестроения требует решения ряда взаимосвязанных задач: упрочнения поверхности нагруженных деталей, повышения износостойкости и твердости деталей ходовой части автомобиля (амортизаторов, пружин, рычагов и т.д.). Решение данных задач возможно осуществить перспективным технологическим приемом - внедрением в поверхность деталей атомов и ионов специально подобранных веществ с помощью метода ионной имплантации [1-3]. Целесообразность такого метода в автомобилестроении объясняется рядом его особенностей, основными из которых являются:

- наносимый материал внедряется в поверхностный слой обрабатываемой детали на глубину порядка 1 мкм. Следовательно, не требуется нанесение подложки, ввиду отсутствия границы раздела и не наблюдается отслаивание образующегося слоя,
- сравнительно низкий расход легирующего элемента;
- образование слоя осуществляется при низких температурах (на уровне комнатных), поэтому отсутствуют изменения глубинной структуры основного материала детали, нет коробления сложно-профильных поверхностей;
- после нанесения покрытий (образования слоя) не изменяются линейные размеры деталей, что от-

крывает широкие возможности повышения износостойкости;

- возможность локальной обработки поверхностей деталей;
- ионы и нейтралы наносимого вещества могут воздействовать на структуру основного материала, изменяя его физические, химические и механические свойства;
- возможность получения композиционных слоев различных веществ на поверхностях любых материалов.

Долговечность и эффективность работы автомобильных двигателей в значительной степени определяются износостойкостью деталей цилиндропоршневой группы. По данным статистических исследований отказов автомобильных двигателей, поступающих в ремонт, на детали цилиндропоршневой группы приходится до 20% всех отказов, а расходы на их восстановление превышают 30% от всех расходов на капитальный ремонт двигателя.

Износ деталей цилиндропоршневой группы приводит к снижению тягово-мощных показателей работы двигателя, росту расхода горюче-смазочных материалов и т.д. Нарушения в работе цилиндропоршневой группы влияют на работу других сборочных единиц двигателя, ускоряя их износ. Одной из дорогих и быстроизнашивающихся деталей цилиндропоршневой группы является гильза цилиндра. Таким образом, совершенствование методов восстановления и увеличения ресурса деталей цилиндропоршневой группы является актуальной задачей [4].

Материалом для поршней чаще всего служит чугун марок СЧ24-44 и СЧ28-48 и конструкционные стали. Поршни и поршневые пальцы, изготовленные из чугуна, часто подвержены быстрому износу, поэтому упрочнения поверхности этих деталей с помощью модификации поверхностного слоя представляет практический интерес.

Целью работы является исследование механических характеристик чугуна марки СЧ24-44 после модификации методом ионной имплантации.

Техника эксперимента. Мишенью в данном эксперименте служила пластинка титана, а реактивным газом - азот при давлении $5,32 \cdot 10^{-2}$ Па. Давление остаточных газов в камере составляло $13,3 \cdot 10^{-2}$ Па. Подложками служили образцы в виде пластин чугуна СЧ24-44.

Был выбран следующий режим напыления: напряжение и ток на газовом разряде соответственно 380 В и 0,5 А соответственно, напряжение и ток на мишени 2 кВ и 60 мА, напряжение и ток на подложке - 20 кВ и 10 мА. Температура образцов составляла 60-80°C.

Анализ литературных данных [5, 6] показал, что оптимальной является доза порядка $D=10^{17}$ ион/см².

Потому в работе доза ионов, внедряемых в подложку, при времени обработки от 10 до 120 мин, варьировалась от $0,2 \cdot 10^{16}$ до $5,3 \cdot 10^{16}$ ион/см².

Результаты эксперимента и их обсуждение.

При имплантации элементов (Ti, Cr, Ni и др.) в поверхность металлов и сплавов в последних происходит перераспределение механических напряжений в поверхностном слое, искажение кристаллических решеток, накопление имплантируемых.

Вследствие указанных эффектов наблюдается изменение физико-химических, термических и механических свойств.

Поэтому в первую очередь исследовали микротвердость чугуновых образцов (табл.1).

Таблица 1

Микротвердость образцов СЧ24-44

Состав	Микротвердость, МПа
Без покрытия	40
С покрытием TiN	256

Важными характеристиками для материалов с покрытиями являются адгезия и толщина покрытия. Проведенные исследования (рис.) показали, что обработанные чугуны имеют высокую адгезию при малой толщине слоя, что свидетельствует о высокой надежности полученных материалов.

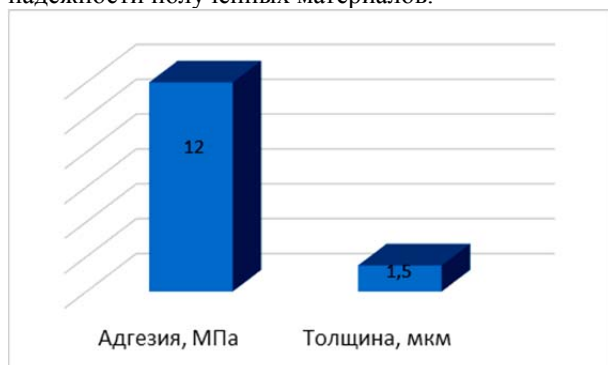


Рис. Величины адгезии и толщины модифицированного слоя образцов СЧ24-44 после имплантации нитрида титана

Неотъемлемой характеристикой деталей с ресурсом работы является износостойкость. Результаты изучения износа СЧ24-44 при ступенчатом нагружении до 6 МПа приведены в таблице 2.

Таблица 2

Износ образцов СЧ24-44

Состав	Износ, мг
Без покрытия	55,0
С покрытием TiN	7,8

Как видно из данных таблицы 2 материалы, обработанные ионами титана и азота, имеют износостойкость на порядок большую, чем исходные образцы.

Выводы. Таким образом, имплантация ионов азота и титана в поверхность чугуна СЧ24-44, как распространённого представителя материалов цилиндропоршневой группы, приводит к модификации поверхностного слоя с увеличением микротвердости последнего.

Модифицированный слой толщиной до 1,5 мкм обладает высокой адгезией и обеспечивает требуемый ресурс за счет повышенной износостойкости. В целом, полученные характеристики свидетельствуют в пользу применения метода ионной имплантации деталей цилиндропоршневой группы как перспективной технологии в автомобилестроении.

Л и т е р а т у р а

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 Moodera. // Thin Solid Films. - 2000. - Vol. 376. - №1/2. - P. 9 - 15.
3. 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.
4. Салахутдинов И.Р., Хохлов А.Л. Повышение износостойкости гильз цилиндров бензиновых двигателей биметаллизацией рабочей поверхности трения // Ульяновск, УГСХА, 2012 г. - 207 с.
5. 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.
6. Honcharov V.V., Zazhigalov V.A, Sawlowicz Z., Socha R., Gurgol J. (2017) Structural, catalytic and thermal properties of stainless steel WITH Nanoscale surface layer. Nanophysics, Nanomaterials, Interface Studies, and Applications. NANO 2016. Springer Proceedings in Physics, vol 195. Springer, Cham., 355-364, 880. DOI: 10.1007/978-3-319-56422-7_26..

R e f e r e n c e s

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 Moodera. // 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. Salahutdinov I.R., Khokhlov A.L. Improving the wear resistance of cylinder liners of gasoline engines by bi-metallization of the friction working surface // Ulyanovsk, UGSKHA, 2012 - 207 p.
 5. Ion implantation in semiconductors and other materials [Text]: collection of articles / Translated from English. Ed. Doctor of Phys.
 6. 14. Honcharov V.V., Zazhigalov V.A., Sawlowicz Z., Socha R., Gurgol J. (2017) Structural, catalytic and thermal properties of stainless steel WITH Nanoscale surface layer. Nanophysics, Nanomaterials, Interface Studies, and Applications. NANO 2016. Springer Proceedings in Physics, vol 195. Springer, Cham., 355-364, 880. DOI: 10.1007/978-3-319-56422-7_26..

Василенко Н.П., Гончаров В.В., Климах А.А.
Поліпшення механічних характеристик деталей
циліндропоршневої групи за допомогою іонної імплантації

У статті проведено дослідження механічних характеристик чавуну СЧ24-44, поширеного матеріалу циліндропоршневої групи. В результаті обробки мікротвердість поверхневого шару зразків зросла більш ніж в 6 разів у порівнянні з мікротвердістю вихідного матеріалу і склала 256 МПа, знос поверхні оброблених зразків зменшився майже в 8 разів. При цьому енергія адгезії склала 12 МПа, а товщина модифікованого шару не перевищувала 1,5 мкм..

Ключові слова іонна імплантація, модифікований шар, мікротвердість, адгезія, знос.

Vasilenko N.A., Honcharov V.V., Klimash A.A.
Improvement of mechanical Characteristics of
cylindropiracle group details using ionic implantation
method

The paper studied the mechanical characteristics SCH24-44 iron, widespread material cylinder group. As a result of processing, the microhardness of the surface layer of the samples increased by more than 6 times as compared with the microhardness of the source material and amounted to 256 MPa, the surface wear of the treated samples decreased by almost 8 times. In this case, the adhesion energy was 12 MPa, and the thickness of the modified layer did not exceed 1.5 μm .

Keywords: ionic implantation, modified layer, microhardness, adhesion, wear.

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"

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

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 29.03.2019

УДК 629.4.014.7-592

**ЕФЕКТИВНИЙ СТЕНД ДЛЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ЗАЛІЗНИЧНОЇ ГАЛЬМОВОЇ СИСТЕМИ ВАНТАЖНОГО ТИПУ****Дмитрієв Д.В., Валігура М.Я.****EFFICIENT STAND FOR SCIENTIFIC RESEARCH
RAILWAY BRAKING SYSTEM OF CARGO TYPE****Dmytriev D.V., Valigura M.Y**

В статті розглянуті науково-практичні аспекти створення стенда для лабораторних досліджень внутрішніх газодинамічних процесів у гальмовій системі пневматичних залізничних гальм вантажного типу шляхом натурних експериментів. Оскільки набули подальшого розвитку способи об'єктивного дослідження робочих процесів, які відбуваються у гальмовій системі та її складових практично за будь-якого програмного випробування, в тому числі із застосуванням сучасних засобів вимірювань параметрів.

Ключові слова: рухомий склад, гальмова, пневматичні гальма, внутрішня газова динаміка, пристрій для наукових досліджень, контрольний стенд, випробувальний стенд

Постановка проблеми. Для наукових досліджень технічних об'єктів, у тому числі гальмових приладів і систем залізничного транспорту, в світі набули поширення два методи: теоретичний та експериментальний. В останні часи все частіше експерименти проводять у цифровій формі за допомогою комп'ютерів, що за визначенням ближче до теоретичних досліджень, ніж до натурних експериментів. У разі застосування комп'ютерного моделювання постає проблема адекватності математичних моделей. Звісно, найбільш вірогідним методом досліджень є експериментальний. Проведення натурних експериментів з гальмами залізничного рухомого складу в умовах виробництва - є складною, небезпечною та витратною роботою.

Аналіз досліджень і публікацій. Флагманом виробництва гальмових приладів для рухомого складу залізниць колії 1520 мм є ОАО МТЗ ТРАНСМАШ (Москва, Російська Федерація). Це підприємство пропонує замовникам автоматизований стенд для випробувань повітродозподільників вантажного типу [1].

Подібний стенд, але власної розробки, виготовляє та реалізує НПП ТОРМО (Єкатеринбург, Російська Федерація) [2].

Обидва названі стенди призначено для автоматизації виробничого процесу з ремонту повітро-

розподільників, тобто виконання перевірок працездатності відповідно до нормативно-технічної документації на гальмові прилади. Стенди МТЗ Трансаш і ТОРМО значно підвищують продуктивність праці при ремонті, дозволяють звести до мінімуму вплив людського фактору, але для наукових досліджень названі два стенди придатні обмежено, оскільки реалізують одну й ту саму програму випробувань.

Мета статті. Метою статті є розширений аналіз наукових досліджень розвитку і удосконалення стендів для проведення випробувань гальмових приладів вантажного типу і шляхи удосконалення ефективності випробувань.

Внесок авторів у розв'язання проблеми. Стосовно дослідження залізничних гальм рухомого складу більш прийнятно основні досліді виконувати в лабораторії на стендах, які складено з типових гальмових приладів та систем, і лише за необхідності окремі положення перевіряти шляхом експериментів на виробництві. Авторами було створено компресорну станцію та комплект стендів-тренажерів, що мають всі елементи відповідної пасажирської та вантажної типових одиниць рухомого складу. Названі стенди виготовлено та введено в експлуатацію лабораторії гальм залізничного рухомого складу ДУІТ [3]. Усі стенди лабораторії мають власті пости керування та поєднано повітропроводами постачальної та гальмової магістралей. Це, за потреби, дозволяє утворити своєрідний поїзд та керувати його гальмовою системою з поста керування будь-якого стенда. Компресорна станція лабораторії має продуктивність 2,0 кубічних метра повітря на хвилину з тиском 0,8 МПа та повітрозбірник ємністю 1600 літрів.

Робота авторів щодо створення прецизійного інструмента (стенда) для лабораторних досліджень внутрішніх газодинамічних процесів у гальмовій системі пневматичних залізничних гальм вантажного

типу шляхом натурних експериментів має ознаки наукової новизни. Оскільки, як мінімум, набули подальшого розвитку способи та засоби об'єктивного дослідження робочих процесів, які відбуваються у гальмовій системи та її складових практично за будь-якою програмою випробувань, в тому числі із застосуванням сучасних засобів вимірювання у вигляді швидкодіючого цифрового багатоканального запам'ятовуючого осцилографа на базі комп'ютера.

Викладення основного матеріалу. На рисунку 1 показано пневматичну схему авторського стенду. Цей стенд одночасно відтворює гальмову пневмосистему одного як вагона, так і локомотива.

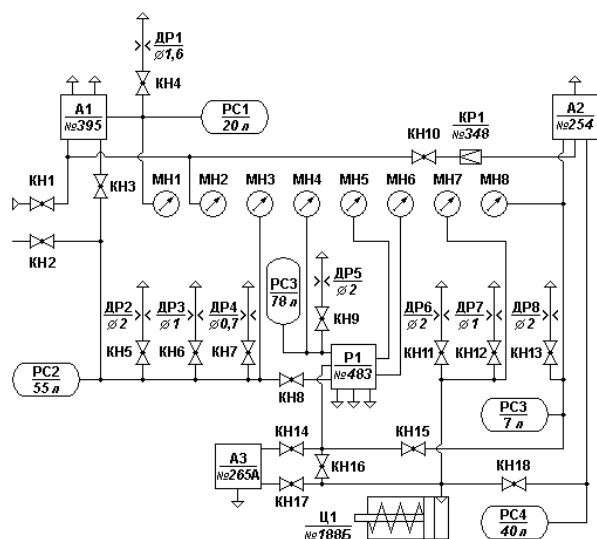


Рис. 1. Пневматична схема стенда

До постачальної магістралі (ПМ) стенда стиснене повітря подають роз'єднувальним краном КН1, а до загальної гальмової магістралі (ГМ) лабораторії стенд підключають краном КН2. Тиск у ПМ контролюють за манометром МН2. Стенд має два пости керування. Перший пост обладнано поїзним краном машиніста (КМ) А1 №395-3 із зрівнювальним резервуаром (ЗрР) РС1 об'ємом 20 л, тиск в якому контролюють за манометром МН1. Кран КН4 призначено для створення витоку повітря із ЗрР крізь пневмодросель ДР1. Кран КН3 під'єднує поїзний КМ до ГМ стенда. Другий пост керування стенда обладнано краном допоміжного гальма (КДГ) локомотива А2 №254, який може бути від'єднано шляхом перекриття трьох кранів: КН9, КН15 і КН18. Стиснене повітря подається з ПМ до КДГ через редуктор КР1 №348 аби унеможливити випадкове перевищення тиску в ГЦ.

ГМ стенда має у своєму складі резервуар РС2 об'ємом 55 л, який краном КН8 під'єднано до ПР Р1 №483. ПР стенда у типовій комплектації складається з двокамерного резервуара №295М, головної частини №270-023 і магістральної частини №483М-010. Відповідно до програми випробувань склад ПР може бути змінено шляхом заміни названих головної та магістральної частин на взаємозамінні з ними

по вузлах під'єднання, а також встановленням пневмоелектричного датчика №418 контролю стану гальмової магістралі поїзда. Для створення нормативних витоків повітря з ГМ стенда крізь пневмодроселі ДР2-ДР4 призначено крани КН5-КН7. Тиск повітря у ГМ стенда контролюють за манометром МН3. До ПР під'єднано ЗР РС3 об'ємом 78 л, тиск в якому контролюють за манометром МН4. Для створення витоку із ЗР слугують пневмодроселі ДР5 і кран КН9. Тиск у золотниковій та робочій камерах ПР контролюють за манометрами МН5 і МН6 відповідно.

Типовий ГЦ Ц1 №188Б чотиривісного вагона під'єднують до ПР або краном КН16, або кранами КН14 і КН17 – через автоматичний регулятор режимів гальмування (авторежим) А3 №265А. Моделювання ступеня завантаженості вагона на стенді виконують за допомогою спеціального гвинтового механізму шляхом зміни зазору між упором авторежима й опорою названого механізму. Для створення нормативних витоків із ГЦ крізь пневмодроселі ДР6 або ДР7 призначено крани КН11 або КН12 відповідно. Тиск у ГЦ контролюють за манометром МН7. Для моделювання внутрішнього об'єму комплексу ГЦ локомотива призначено резервуар РС4 об'ємом 40 л.

ГМ локомотива на стенді утворена резервуаром РС3 об'ємом 7 л, тиск в якому контролюють за манометром МН8. Створення витоку повітря з ГМ виконують через пневмодросель ДР8 за допомогою крана КН13.

Конструкцію стенда захищено патентом України на корисну модель [4]. Стенд в інтер'єрі лабораторії показаний на рисунку 2.



Рис. 2. Фото стенда

Однією з особливостей цього стенда є можливість реєструвати та документувати у вигляді осцилограм зміни тиску стисненого повітря в усіх його резервуарах та камерах. Запис осцилограм тиску реалізовано за допомогою портативного вимірювально-обчислювального комплексу. Восьми-канальна авторська апаратура на базі ноутбука пройшла метрологічну атестацію і дозволяє вимірювати та зберігати в енергонезалежній пам'яті осцилограми тиску повітря з розгорткою в часі від одної мілісекунди (для швидкоплинних процесів) до

одної секунди (для повільних процесів). Авторські електроманометри мають клас точності не гірше 0,4.

Висновки. Анонсований стенд може ефективно бути застосований для розв'язання багатьох практичних і наукових задач. Наприклад, для розслідування причин аварійних відмов гальм — шляхом дослідження на стенді гальмових приладів, які зняті з одиниці рухомого складу, що потрапила в аварію. Або, як джерело отримання первинних даних для побудови адекватних математичних моделей

Авторський стенд може бути використано у навчальному процесі в тому числі як тренажер щодо роботи пневмогальм одиниці залізничного рухомого складу вантажного типу колії 1520 мм. Стенд, що було стисло розглянуто в статті, доцільно буде застосувати у натурних лабораторних дослідженнях гальмових приладів залізничного рухомого складу насамперед щодо підприємств із важкими та небезпечними умовами праці, де можливості проведення натурних експериментів обмежені та їх вартість значна, насамперед, - у металургійній та горно-рудній галузях.

Л і т е р а т у р а

- 1 ОАО МТЗ ТРАНСМАШ. URL: www.mtz-transmash.ru/files/presscentr/publikacii/MTZ_%20K483.pdf (Дата звернення 10.03.2019).
- 2 НПП ТОРМО URL: www.tormo.ru/products/1_ukvr.htm (Дата звернення 01.04.2019).
- 3 Державний університет інфраструктури та технологій URL: <http://duit.edu.ua/kizt/irsz/vvg/#1515501551028-c01d51b7-3b38> (Дата звернення 10.03.2019).
- 4 Пат. 65386 Україна. Комплексний стенд-тренажер для випробувань залізничної гальмової пневмосистеми вантажного типу. Опубл. 12.12.2011.

R e f e r e n c e s

- 1 OJSC MTZ TRANSMASH. URL: www.mtz-transmash.ru/files/presscentr/publikacii/MTZ_%20K483.pdf (Revision date 10.03.2019).
- 2 NPO TORNO URL: www.tormo.ru/products/1_ukvr.htm (Date of application as of 01.04.2019).
- 3 State University of Infrastructure and Technology URL: <http://duit.edu.ua/kizt/irsz/vvg/#1515501551028-c01d51b7-3b38> (Date of the application on March 10, 2019).

c01d51b7-3b38 (Date of the application on March 10, 2019).

- 4 Pat. 65386 Ukraine. Comprehensive bench simulator for tests of railway brake pneumatic systems of cargo type. Published by 12/12/2011.

Дмитриев Д.В., Валигура Н.А. Эффективный стенд для научных исследований железнодорожной тормозной системы грузового типа.

В статье рассмотрены научно-практические аспекты создания стенда для лабораторных исследований внутренних газодинамических процессов в тормозной системе пневматических железнодорожных тормозов грузового типа путем натурных экспериментов. Поскольку получили дальнейшее развитие способы объективного исследования рабочих процессов, которые происходят в тормозной системе и ее составляющих практически любого программного испытания, в том числе с применением современных средств измерений параметров.

Ключевые слова: подвижной состав, тормозная, пневматические тормоза, внутренняя газовая динамика, устройство для научных исследований, контрольный стенд, испытательный стенд

Dmytriyev D.V., Valigura M.Y. Efficient stand for scientific research railway braking system of cargo type.

The article deals with the scientific and practical aspects of the creation of a stand for the laboratory research of internal gas-dynamic processes in the brake system of pneumatic railway brakes of cargo type by field experiments. As further development of the methods of objective research of working processes occurring in the braking system and its components for virtually any software test, including the use of modern means of measuring parameters, have been further developed.

Keywords: rolling stock, brake, pneumatic brakes, internal gas dynamics, device for scientific research, control bench, test bench

Дмитрієв Д.В. — к.т.н., с.н.с., доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ, м. Київ.

Валігура М. Я. — старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ, м. Київ

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

Стаття подана 02.04.2019

УДК 621.002

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ГРУЗОВЫХ ФРОНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Заверкин А.В., Марченко Д.Н., Кузьменко С.В., Чередниченко С.П.

THEORETICAL PROVISIONS EFFECTIVE OPERATIONAL WORK OF FREIGHT FRONTS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Zaverkin A., Marchenko D., Kuzmenko S., Cherednychenko S.

В статье рассмотрены вопросы организации работы транспортных систем в условиях ограниченной технологической и технической оснащенности грузовых фронтов. При этом рассмотрены вопросы моделирования транспортной системы при высоком уровне неравномерности транспортного потока и невысокой перерабатывающей способности грузовых механизмов.

Ключевые слова: Транспортная система, промышленное предприятие, погрузочно-разгрузочные машины, грузовой фронт, подача, вагон, коэффициент использования грузоподъемности.

Вступление. Работа промышленного транспорта как транспортных систем должна удовлетворять требованиям двух смежных систем - производственной и магистрального транспорта [1].

Транспортная система предприятия должна иметь достаточные резервы для поддержания устойчивого состояния работы производства и в то же время соответствовать параметрам внешней среды, то есть по техническому состоянию и экономическим показателям отвечать характеристикам входных параметров магистрального транспорта.

Одной из наиболее важных характеристик внешнего воздействия признана неравномерность поступления на промышленные предприятия вагонов с массовыми грузами [5].

Постановка задачи. Задача исследований может быть сформулирована следующим образом. Имеется несколько предприятий-грузоотправителей как массовых, так и немассовых грузов, которые задействованы по договорам поставки на одного грузоотправителя и работающие в неустойчивом режиме, что приводит к большим колебаниям в поступлении вагонов на входе транспортных систем предприятия грузополучателя.

Исследование работы транспортных систем предприятий при ограничении погрузочно-разгрузочных механизмов (ПРМ).

Для транспортной системы при ограничении погрузочно-разгрузочных машин, когда транспортная система содержит $Z_{ПРМ}$ и каждый грузовой фронт может одновременно обслуживаться только одной подачей из всех K подач с интенсивностью λ для числа грузовых фронтов равно m , возможны следующие условия обслуживания с их характеристиками:

1. Вероятность того, что в транспортной системе находится k подач при условии, что их число не превосходит числа ПРМ:

$$P_k = \frac{m! \cdot \rho^k}{k! \cdot (m-k)!} \cdot P_0, \quad k = \overline{1, Z}. \quad (1)$$

2. Вероятность того, что в системе находится k подач, в случае, когда их число не меньше числа грузовых механизмов:

$$P_k = \frac{m! \cdot \rho^k}{Z! \cdot (m-Z)! \cdot Z^{k-Z}} \cdot P_0, \quad k = \overline{Z, m}. \quad (2)$$

3. Вероятность того, что в транспортной системе все подачи обслужены:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^Z \frac{m! \cdot \rho^k}{k! \cdot (m-k)!} + \sum_{k=Z+1}^m \frac{m! \cdot \rho^k}{Z! \cdot (m-Z)! \cdot Z^{k-Z}}}. \quad (3)$$

4. Среднее число подач, ожидающих начала обслуживания (средняя длина очереди):

$$M = \sum_{k=Z+1}^m (k-Z) P_k. \quad (4)$$

5. Среднее число подач, находящихся на обслуживании в транспортной системе:

$$M = \sum_{k=1}^m k \cdot P_k. \quad (5)$$

6. Среднее число простаивающих ПРМ:

$$Z_n = \sum_{k=0}^{Z-1} (Z-k) P_k. \quad (6)$$

7. Коэффициент простоя ПРМ:

$$k_n = \frac{Z_n}{Z}. \quad (7)$$

8. Коэффициент простоя подачи:

$$k_{nn} = \frac{M_1}{M} \quad (8)$$

Исследование работы грузовых фронтов в условиях ограничения грузовых устройств с точки зрения влияния на время нахождения вагонов в транспортной системе проводилось при следующих условиях:

- прибытие вагонов на грузовые фронты случайно по времени и по величине, т.е. режим их работы недетерминированный;
- вагоны поступают на грузовые фронты одинокими группами, средняя величина которых определяется статистически;
- погрузочно-выгрузочные устройства обслуживают вагоны общесетевого и внутривозовского парка.

Известно, что с увеличением вместимости грузовых фронтов вагоночасы простоя вагонов на грузовом фронте растут, а с увеличением числа погрузочно-разгрузочных механизмов - падают [3]. Зависимость времени простоя вагонов под грузовыми операциями от числа фронтов для небольших предприятий с суточным вагонопотоком до 50 вагонов имеет вид:

$$B_{\text{фр}} = A_1 \cdot n_{\text{фр}} - D_1, \quad (9)$$

а вагоночасы простоя вагонов под грузовыми операциями изменяются по следующей зависимости от числа механизмов:

$$B_m = AZ^3 + BZ^2 + CZ + D. \quad (10)$$

При этом изменение коэффициентов А, В, С и D могут быть представлены функциями:

$$\begin{aligned} A(Z) &= 0.02Z^2 + 1.7Z - 17.0, \\ B(Z) &= -0.29Z^2 - 20.7Z + 216.0, \\ C(Z) &= -4.15Z^2 + 154.2Z - 1135, \\ D(Z) &= -1.39Z^2 - 107.1Z + 1370, \end{aligned} \quad (11)$$

При определении оптимальной вместимости фронта и числа механизмов, обслуживающих вагоны общесетевого и собственного необходимо знать годовые приведенные расходы, которые рассматриваются в других статьях автора:

$$E''_{np} = \varphi(Z_{\text{мех}}, n_{\text{фр}}, n_{\text{под}}, T_{\text{фр}}) \quad (12)$$

и включают затраты, вызванные изменением:

$Z_{\text{мех}}$ - числа грузовых механизмов;

$n_{\text{фр}}$ - вместимости грузовых фронтов;

$T_{\text{фр}}$ - времени работы грузового фронта (час);

$n_{\text{под}}$ - числа подач и уборок.

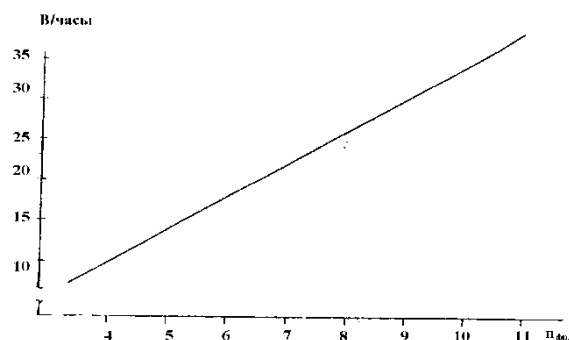


Рис. 1. Зависимость времени простоя вагонов под грузовыми операциями от вместимости фронта при $Z = \text{const}$

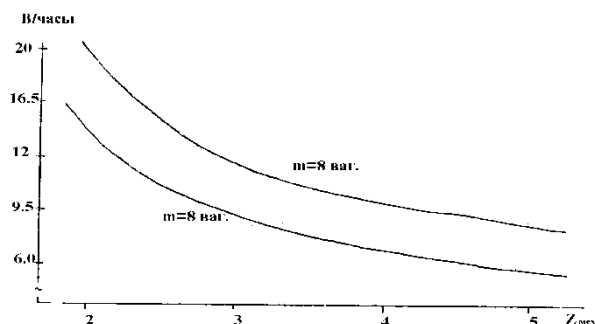


Рис. 2. Зависимость вагоночасов простоя вагонов в ожидании под грузовыми операциями от числа механизмов при $n = \text{const}$

Расчет минимально необходимого числа машин производится по формуле:

$$Z_{\text{мин}} = \frac{365 N_{\text{сут}} q_{\text{ваг}} k_{\text{д}} (1 - \alpha_n)}{(365 - T_n) n Q_{\text{см}}}, \quad (13)$$

где $N_{\text{сут}}$ - среднесуточное количество вагонов;

$q_{\text{ваг}}$ - средняя статнагрузка вагона;

$k_{\text{д}}$ - коэффициент, учитывающий выполнение дополнительных операций ($k_{\text{д}}=1$);

α_n - коэффициент использования грузоподъемности вагона;

T_n - простой машин в ремонте в течение года (для машин с электроприводом - 10-12 сут., с ДВС - 20-25 сут.);

n - число смен работы механизмов в сутки;
 $Q_{см}$ - сменная производительность ПРМ (т).

$$Q_{см} = T \cdot k_{исп} \cdot \Pi, \quad (14)$$

где T - продолжительность смены (час);

$k_{исп}$ - коэффициент использования машин по времени;

Π - техническая производительность машины (т/час).

Когда грузовой фронт обслуживает несколько грузовых механизмов, и грузовые операции выполняются в порядке поступления вагонов, имеет место полнодоступная многоканальная система обслуживания. Среднее время ожидания выполнения грузовых операций с вагонами при произвольном законе распределения входящего потока и времени грузовых операций можно определить по формуле:

$$t_{ож}^{zp} = \frac{\alpha_3 \phi_i (v_{вх}^2 - v_{обс}^2) t_{обс}}{2Z(1 - \phi_i) [1 - (1 - \phi_i) v_{вх}^2]}, \quad (15)$$

где ψ_i - относительная загрузка грузового фронта;

$t_{обс}$ - среднее время грузовых операций;

$v_{вх}$, $v_{обс}$ - коэффициент вариации соответственно входящего вагонопотока и времени грузовых операций.

При поступлении на грузовой пункт двух и более входящих вагонопотоков при одном механизме характер функционирования таких систем зависит от четкости выполнения очереди. Анализ грузовых пунктов цементных заводов показывает, что имеют место случаи, когда, исходя из экономических и технологических требований, отдается предпочтение одному из потоков, например, вагонам общесетевого парка.

При выделении из общего потока вагонов, имеющих преимущественное право грузовых операций, продолжительность ожидания с j -ой категорией приоритета:

$$t_{ожj} = t_{ож}^{zp} \frac{1 - \phi}{(1 - \phi_{0-1})(1 - \phi_i)} \quad (16)$$

где ψ_j и ψ_{j-1} - коэффициент загрузки системы соответственно j и $(j-1)$ категории включительно.

При наличии двух видов вагонов (общесетевого и внутризаводского парка) и приоритета обслуживания одного из них:

$$t_{ож1} = t_{ож}^{zp} \frac{1 - \phi}{\phi_1}; \quad (17)$$

$$t_{ож2} = t_{ож}^{zp} \frac{1 - \phi}{\phi_1}. \quad (18)$$

В общем виде зависимость для определения относительной загрузки грузовых механизмов следующая:

$$\phi_{мех} = \frac{T_{zp} + T_{доп} + T_{мех}}{ZT_{фр}}, \quad (19)$$

где $T_{фр}$ - продолжительность работы грузового фронта в течение суток (час);

T_{zp} - суммарная продолжительность выполнения погрузочно-разгрузочных операций (час);

$T_{доп}$ - потери рабочего времени механизмов, связанные с выполнением маневровых операций у грузового фронта и неисправностью устройств (час);

$T_{мех}$ - занятость грузовых механизмов в технологическом процессе производства (час).

Величина $T_{доп}$ определяется исходя из среднестатистических данных относительно занятости механизмов в период выполнения как маневровых операций на грузовом фронте по перестановке вагонов, так и перемещения грузовых устройств из одного пункта в другой (например, крана на железнодорожном ходу).

Суммарная продолжительность выполнения грузовых операций:

$$T_{zp} = \frac{N_{ср} q_{ваг}}{\Pi}. \quad (20)$$

Тогда загрузка механизмов может быть определена по следующей зависимости:

$$\phi_{мех} = \frac{N_{ср} q_{ваг} + (T_{доп} + T_{мех}) \Pi}{Z \Pi}. \quad (21)$$

Среднее время обслуживания требований т.е. средняя продолжительность выполнения грузовых операций:

$$t = \frac{\overline{m_{ni}} q_{ваг}}{Z \Pi}, \quad (22)$$

где $\overline{m_{ni}}$ - средняя величина группы вагонов, поступающая на грузовой фронт (уч.ваг);

Π - производительность грузового устройства (т/час);

Как показали исследования [4], на выполнение грузовых операций, наибольшее влияние оказывают колебания величин групп вагонов, поступающих на грузовые фронты в составе передаточных поездов. Численные значения коэффициентов вариации величин групп вагонов и продолжительности выполнения грузовых операций обычно близки между собой, поэтому для практических расчетов справедливо следующее допущение:

$$v_{обс} = v_{ni}. \quad (23)$$

Это также справедливо для вагонов с изменением времени грузовых операций в одной подаче на грузовой фронт. Коэффициент вариации входящего потока $v_{вх}$ с достаточной степенью точности для расчетов принимается равным коэффициенту вариации

ции длительности интервалов между поступлением групп вагонов или определяется аналитически по формуле:

$$v_{ax} = \left(1 - \frac{N_i}{m_{ni} \cdot n_{nep}} (1 - v_y^2) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (24)$$

где N_i^{nl} - плановые размеры вагонопотока за сутки, поступающего на i -ый грузовой фронт;

m_{ni} - средняя величина группы вагонов, прибывающих на i -ый грузовой фронт в составе передаточного поезда.

При жесткой специализации локомотивов по видам работ среднее время ожидания маневровых операций в зависимости от вместимости исследуемого грузового фронта определяется из следующей зависимости:

$$t_{ож}^{ny} = \frac{\left(B_{нал} \sum_{i=1}^n n_{on} + N_{cp} \right) \cdot (1 + v_{обс}^2) \cdot t_{обс}^2}{2 \left[24 B_{нал} - \left(\sum_{i=1}^{n-1} n_{on} + N_{cp} \right) \right]}, \quad (25)$$

где $\sum_{i=1}^{n-1} n_{on}$ - общее число маневровых операций, выполняемых локомотивом в данном маневровом районе без учета исследуемого фронта.

При приведенных выше допущениях определим условия стационарного режима работы транспортной системы, а именно

$$\phi_{mex} \leq 1; \quad (26)$$

$$Z \geq Z_{min}, \quad (27)$$

где Z_{min} - минимальное число механизмов, определяемое по формуле (13).

$$n_{min} \leq n_{под} \leq n_{max}, \quad (28)$$

где n_{min} - минимальное количество подач вагонов, определяемое максимальной вместимостью фронта;

$$n_{min} = \frac{N_{cp}}{B_{max}}, \quad (29)$$

где n_{max} - максимальное количество подач, устанавливаемое наличием маневровых средств;

$$n_{max} = \frac{T_{ман}}{t_{ман}}, \quad (30)$$

где $T_{ман}$ - количество локомотивочасов, выделенное для обслуживания данного грузового фронта.

Вывод. Статья посвящена разработке методов эффективной эксплуатационной работы погрузочно-разгрузочного комплекса промышленных предприя-

тий в условиях ограниченных транспортных ресурсов. Исследованы характеристики эксплуатационной работы погрузочно-разгрузочных систем предприятий, работа погрузочно-разгрузочных систем в условиях ограниченного парка, путевого развития грузовых фронтов, нестабильность грузопотока.

Л и т е р а т у р а

1. Акулиничев В.М. Организация вагонопотоков на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1979. - 223 с.
2. Белов И.В., Каплан А.Б. Применение математических методов в планировании на железнодорожном транспорте. - М.: Транспорт. - 1967. - 168 с.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1979. - 399 с.
4. Васильев Е.М., Игудин Р.В., Лившиц В.Н. и др. Оптимизация планирования и управления транспортными системами. - М.: Транспорт. 1987. - 208 с.
5. Воскресенская Т.П. Оптимизация структуры и стадийного развития систем переработки массовых сыпучих грузов на промышленных предприятиях. - Автореферат докторской диссертации. - Ленинград.-1991.- 41 с.
6. Выганов А.А. Методика определения величины резервного парка порожних вагонов на станциях погрузки маршрутов с рудно-металлургическим сырьем. - Сб. Применение матметодов и ЭВМ в эксплуатации железных дорог. - М.: Транспорт. МИИТ, 1989.- с. 74-78.
7. Деордица Ю.С., Нефедов Ю.М. Исследование операций в планировании и управлении. - Киев.: Вища школа, - 1991. -207 с.
8. Казюлин Г.Е. Эффективность неспециализированного способа использования аппаратов в многоканальных системах обслуживания. Тр. МИИТа, вып 500. - 1985. - С. 86-92.
9. Клошин Ю.Т. Исследование неравномерности суточного прибытия вагонов МПС и ее влияние на техническую вооруженность транспорта металлургических заводов. Канд. дисс. КПТИ 1983. - 186 с.
10. Козлов П.А., Миловидов С.П., Попов А.Т. Оптимизация работы промышленного транспорта в промышленных системах. - Экономика и математические методы. - 1985. - Т.22. - Вып. 2. - С. 571-576.
11. Козлов П.А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии. - Докторская диссертация. - Липецк, 1986. - 377 с.

R e f e r e n c e s

1. Akulinichev V.M. Organizatsiya vagonopotokov na zheleznodorozhnom transporte. M.: Transport, 1979. - 223 s.
2. Belov I.V., Kaplan A.B. Primeneniye matematicheskikh metodov v planirovani na zheleznodorozhnom transporte. - M.: Transport. - 1967. - 168 s.
3. Buslenko N.P. Modelirovaniye slozhnykh sistem. - M.: Nauka, 1979. - 399 s.
4. Vasil'yev Ye.M., Igudin R.V., Livshits V.N. i dr. Optimizatsiya planirovaniya i upravleniya transportnymi sistemami. - M.: Transport. 1987. - 208 s.
5. Voskresenskaya T.P. Optimizatsiya struktury i stadiynogo razvitiya sistem pererabotki massovykh sypuchikh gruzov na promyshlennykh predpriyatiyakh. - Avtoreferat doktorskoy dissertatsii. - Leningrad.-1991.- 41 s.

6. Vyganov A.A. Metodika opredeleniya velichiny rezervnogo parka porozhnykh vagonov na stantsiyakh pogruzki marshrutov s rudno-metallurgicheskimi syr'yem. - Sb. Primeneniye matematicheskikh i EVM v ekspluatatsii zheleznikh dorog. - M.: Transport. MIIT, 1989. - s. 74-78.
7. Deorditsa YU.S., Nefedov YU.M. Issledovaniye operatsiy v planirovani i upravlenii. - Kiyev.: Vishcha shkola, - 1991. - 207 s.
8. Kazyulin G.Ye. Effektivnost' nespetsializirovannogo sposoba ispol'zovaniya apparatov v mnogokanal'nykh sistemakh obsluzhivaniya. Tr. MIITa, vyp 500. - 1985. - S. 86-92.
9. Kloshin YU.T. Issledovaniye neravnomernosti sutochnogo pribytiya vagonov MPS i yeye vliyaniye na tekhnicheskuyu vooruzhennost' transporta metallurgicheskikh za-vodov. Kand. diss. KPTI 1983. - 186 s.
10. Kozlov P.A., Milovidov S.P., Popov A.T. Optimizatsiya raboty promyshlennogo transporta v promyshlennykh sistemakh. - Ekonomika i matematicheskiye metody. - 1985. - T.22. - Vyp. 2. - S. 571-576.
11. Kozlov P.A. Teoreticheskiye osnovy, organizatsionnyye formy, metody optimizatsii gibkoy tekhnologii transportnogo obsluzhivaniya zavodov chernoy metallurgii. - Doktorskaya dissertatsiya. - Lipetsk, 1986. - 377 s.

Заверкін А.В., Марченко Д.М., Кузьменко С.В., Чередниченко С.П. Теоретичні положення ефективної експлуатаційної роботи вантажних фронтів промислових підприємств.

У статті розглянуті питання організації роботи транспортних систем в умовах обмеженої технологічної та технічної оснащеності вантажних фронтів. При цьому розглянуті питання моделювання транспортної системи при високому рівні нерівномірності транспортного

потoku і невисокою переробною здатністю вантажних пристроїв.

Ключові слова: Транспортна система, промислове підприємство, вантажно-розвантажувальні машини, вантажний фронт, подача, вагон, коефіцієнт використання вантажопідйомності.

Zaverkin A., Marchenko D., Kuzmenko S., Cherednychenko S. Theoretical provisions effective operational work of freight fronts of industrial enterprises.

The article deals with the organization of the work of transport systems in conditions of limited technological and technical equipment of cargo fronts. At the same time, the issues of modeling the transport system with a high level of traffic flow irregularity and low processing capacity of cargo devices are considered.

Keywords: Transport system, industrial enterprise, loading and unloading machines, cargo front, supply, car, capacity utilization rate.

Заверкін А.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин ЧНУ ім. В. Даля, zaverkin@ukr.net.

Марченко Д. М. - д.т.н., професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин ЧНУ ім. В. Даля.

Кузьменко С. В. - к.т.н, доцент, директор навчально-наукового інституту транспорту і логістики ЧНУ ім. В. Даля, kuzmenkov@ukr.net.

Чередниченко С. П. - к.т.н., доц., с.н.с. інституту металів та сплавів АН України.

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

Стаття подана 14.04.2019

УДК 621.002

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА

Заверкин А.В., Марченко Д.Н., Кузьменко С.В., Чередниченко С.П.

STUDY OF TRANSPORT SYSTEMS IN A LIMITED LOCOMOTIVE PARK

Zaverkin A., Marchenko D., Kuzmenko S., Cherednychenko S.

В статье рассмотрены вопросы разработки методов эффективной эксплуатационной работы железнодорожного транспорта промышленных предприятий в условиях ограниченных транспортных ресурсов. Исследованы характеристики эксплуатационной работы транспортных систем предприятий, работа транспортных систем в условиях ограниченного локомотивного, вагонного парков, путевого развития станций и грузовых фронтов.

Ключевые слова: локомотиво-вагонный парк, ограничение транспортных ресурсов, станция, подъездной путь, грузовой фронт, транспортная система.

Вступление. Переход предприятий на прямые договорные связи по поставке продукции в условиях рыночных отношений, с аккумулярованием производственных фондов, дает большие возможности самостоятельного решения вопросов планирования и управления как режимом производства, так и выбором видов транспорта.

Рыночные отношения, в отличие от централизованной системы, как известно, имеют ряд особенностей, которые чреваты большими колебаниями спроса на продукцию, зависящую от конкурентоспособности, рекламы, авторитета производителя, технических характеристик и т.п., что значительно усложняет задачи перевозок, осуществляемых с большими колебаниями.

В связи с этим поиск оптимальных эффективных методов управления и выбор количественных и качественных характеристик транспорта должен быть направлен для решения следующих задач:

- определения закономерностей работы транспортных систем при различных режимах их функционирования;
- определения минимальных потребностей в транспортных средствах в условиях гибкого производства;

- снижения затрат на эксплуатацию и содержание транспортных систем;
- анализа функционирования промышленного железнодорожного транспорта при различных режимах работы предприятий.

Постановка задачи. Задача исследований может быть сформулирована следующим образом. Имеется несколько предприятий-грузоотправителей как массовых, так и немассовых грузов, которые задействованы по договорам поставки на одного грузоотправителя и работающие в неустойчивом режиме, что приводит к большим колебаниям в поступлении вагонов на входе транспортных систем предприятия грузополучателя (рис. 1).



Рис.1. Общая структурная схема работы транспортных комплексов предприятий различных отраслей промышленности

Поэтому для этого предприятия необходимо создать гибкую систему организации управления эксплуатационной работой транспорта, основанную на имитационных моделях с динамическими характеристиками решения вариантного обслуживания и оптимизации транспортных затрат при использовании минимальных (ограниченных) транспортных ресурсов.

Исследование общих характеристик эксплуатационной работы транспортных систем предприятий.

Эксплуатационная работа на промышленном железнодорожном транспорте связана с дискретным процессом обработки передаточных поездов, групп и отдельных вагонов, поступающих на предприятие или грузовые пункты. Известно, что входящие вагонопотоки характеризуются моментом поступления транспортных единиц $t_1, t_2, \dots, t_i$ или интервалами между последовательно поступающими транспортными единицами $I_1, I_2, \dots, I_i$ ($I_i = t_i - t_{i-1}$) и количеством вагонов $n_1, n_2, n_3 \dots n_n$, прибывающих с каждой группой с i -ым родом груза, поступающим в составе передаточного поезда. Законы, описывающие интервалы поступления вагонов, характеризуют поток по времени, а количество вагонов в поездах характеризуют входной транспортный поток по величине.

Условия взаимодействия железнодорожного транспорта предприятий со станциями примыкания для транспортных систем характеризуется наличием четырех категорий потоков:

- входящий поток передаточных поездов, поступающий на предприятие по периодам времени;
- входящий поток вагонов, поступающий под выгрузку на грузовые фронты;
- общий выходящий поток вагонов после выполнения грузовых операций с грузовых фронтов на грузовую станцию;
- выходящий вагонопоток на станцию примыкания.

Для систематизации работы транспортного комплекса предприятия с учетом вышеперечисленных условий рассмотрена элементарная структурная модель блоков транспортной системы предприятий по их функциональным назначениям: регулирование вагонопотоков при ограничении вагонного парка, очередности обслуживания транспортной системы при ограничении маневровых локомотивов, оптимального числа подач, модель адресования вагонов при ограничении ПРМ, обработки вагонов при ограничении путевого развития станции и грузовых фронтов (рис. 2).

Входящий поток передаточных поездов ординарный, так как вероятность одновременного наступления двух и более событий (передаточных поездов) мала по сравнению с появлением одного события. Характер распределения интервалов между моментами поступления передаточных поездов является величиной случайной и детерминированной, в зависимости от порядка подачи вагонов со станции примыкания на подъездной путь, причем случайный характер поступления передаточных поездов является наиболее распространенным при безынтервальной подаче вагонов со станции МПС на подъездные пути, т.е. по уведомлениям, детерминированный - когда интервалы времени между поступлением передаточных поездов заранее известны, при этом интервалы могут быть равны, либо не равны по величине.



Рис. 2. Структурная схема модели функционирования железнодорожного транспорта предприятия

Если интервалы между поступлениями подач равны, то такой поток регулярный

$$\begin{cases} 0 & \text{при } I \leq m_y, \\ 1 & \text{при } I \geq m_y, \end{cases} \quad (1)$$

где m_y - математическое ожидание величины интервала между поступлениями передач.

Как показывает практика и исследования, загрузки транспортных систем предприятий имеют большую суточную неравномерность по структуре и объему груженых вагонопотоков, что является результатом воздействия на поток многочисленных объективно существующих факторов. Поступление вагонов на станцию примыкания в адрес предприятий носит случайный характер. Маловероятно, чтобы каждый грузоотправитель обеспечивал ежедневно отгрузку одинакового количества вагонов в одни и те же назначения, и они прибывали на станцию с одними и теми же интервалами и строго по графику.

Колебания числа вагонов с различными грузами, прибывающими в составе передаточных поездов на грузовые фронты и интервалов между поступлениями групп вагонов, оказывают большое влияние на загрузку маневровых локомотивов и погрузочно-выгрузочных механизмов, которое носит случайный характер.

С вероятностной точки зрения случайные величины характеризуются математическим ожиданием $M(x)$, среднеквадратическим отклонением $\sigma(x)$, коэффициентом вариации $V(x)$ и законом распределения $F(x)$.

По численным значениям коэффициента вариации интервалов времени можно сделать предположение о соответствии данного статистического распределения теоретическому закону, т.е. проверить гипотезу о законе распределения, используя критерий согласия выбранного теоретического распределения статистическому.

Принятая методика исследования вагонопотоков основана на проверке соответствия статистического (экспериментального распределения) частот появления случайной величины теоретической гипотезе. В качестве меры допустимого расхождения

принимаются статистические критерии согласия - χ^2 (Пирсона) или ROM (Романовского).

Обработка результатов наблюдений за вагонопотоками при статистической выборке $\{x_i\}, (i = \overline{1, n})$ выполнялась в такой последовательности.

Выбирают максимальную и минимальную величину прибытия (отправления) вагонов:

$$\begin{aligned} B &= \max_{i=\overline{1, n}} \{x_i\}, \\ A &= \min_{i=\overline{1, n}} \{x_i\}. \end{aligned} \quad (2)$$

По формулам

$$\begin{aligned} R &= B - A, \\ L &= 3.22 \lg(n), \\ H &= \frac{R}{L}, \\ M &= \frac{1}{n} \sum_{i=\overline{1, n}} k_i, \\ D &= \frac{\sum_{i=\overline{1, n}} x_i^2 - M^2 \cdot n}{n - 1}, \\ V &= \frac{\sigma}{m}. \end{aligned} \quad (3)$$

определяется размах выборки, количество и длина интервалов разбиения, математическое ожидание, выборочная дисперсия, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации для конкретного груза или грузопотока и в целом для предприятия.

Затем находится массив частот, то есть количество наблюдений, значения которых попадают в интервал и массив относительных частот, %.

Исследованиями по теории потоков на железнодорожном транспорте [1, 4, 9] установлено, что наиболее общими для прогнозирования теоретическими законами являются двухпараметрические законы распределения вероятностей - Эрланга и Гаусса. При исследовании интервалов прибытия передаточных поездов на предприятия применяем параметр Эрланга, который приведен в таблице 1.

Таблица 1

Значения коэффициента вариации распределения (Эрланга)

Коэфф. вариации	1,0	0,71	0,58	0,5	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,31
Параметр Эрланга	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Проверка выполнялась по критерию Пирсона:

$$\chi = \sum_{i=1}^L \frac{(F_i - nP_i)^2}{nP_i}, \quad (4)$$

где $P_i (i = \overline{1, L})$ - теоретическая вероятность попадания интервала прибытия вагонов в интервал Δ_i определяется как разность значений интегральной функции в начале и конце интервала времени.

Интегральная функция, определяющая вероятность того, что случайная величина T интервала прибытия вагонов примет значение меньшее или равное t при распределении Эрланга имеет вид:

$$\begin{aligned} \text{для } k=1 \quad F(t) &= 1 - e^{-\lambda t}, \\ k=2 \quad F(t) &= 1 - (2\lambda \cdot t + 1)e^{-2\lambda t}, \\ k=3 \quad F(t) &= 1 - (4.5\lambda^2 t^2 + 3\lambda \cdot t + 1)e^{-3\lambda t}. \end{aligned} \quad (5)$$

Величины коэффициентов вариации интервалов по прибытию или отправлению передаточных поездов на обследованных металлургических, химических и цементных заводах изменялись в пределах 0.6-0.8 соответственно, значение параметра Эрланга составило 2 или 3. Одним из основных факторов, регулирующих влияние на степень равномерности потока передаточных поездов на подъездные пути предприятий оказывает работа станции примыкания, где трансформируется поступающий вагоноток в передаточные поезда с определенным вероятностным количеством вагонов. На станции примыкания суммируется несколько потоков в один, который в общем виде для мощных вагонопотоков описывается законом Эрланга.

На остальных заводах распределение количества вагонов в поездах, прибывающих на предприятия, могут быть описаны нормальным законом распределения. Параметры теоретических распределений для передаточных поездов металлургических заводов приведены в таблице 2.

При характеристике входящего на заводы потока вагонов, помимо закона распределения интервалов, количества вагонов в поездах различных категорий и очередности, поступления на станцию, было определено количество фронтов, на которые прибыли вагоны и количество отцепов в сборных поездах, а также и среднее количество вагонов в отцепе на каждый погрузочно-выгрузочный фронт. Как оказалось, эти величины зависят от общего количества грузовых фронтов на предприятии, рода груза и плановых показателей по выпуску продукции.

Таблица 2

Математические параметры операций с передаточным поездом

N п/п	Наименование	Мат. ожидан.	Средне-квадрат. отклонение	Коэфф. вариации	Параметр Эрланга	Закон распределения
1	Количество вагонов в маршрутах	70	10.11	0.15	45	нормальный
2	Количество вагонов в передаточном поезде	55	10.42	0.19	28	нормальный

Количество фронтов при расформировании составов с немаршрутизированным вагонопотоком достигает 8-9 групп на цементных заводах, при расформировании маршрутов с массовыми грузами 2-3 группы. Теоретические значения по предприятиям других отраслей промышленности составляют: по металлургическим заводам 22-25, предприятиям угольной промышленности 4-6, коксохимическим заводам 5-7.

Количество отцепов в сборном поезде зависит от количества фронтов и числа вагонов в передаточном поезде.

$$q_p = K_N \cdot \lambda \cdot m_c, \quad (6)$$

где K_N - расчетное количество, в адрес которых приехали вагоны в сборном поезде;

m_c - количество вагонов в передаточном поезде;

λ - коэффициент, значение которого зависит от вида маневровой работы;

0.24 - подбор вагонов по внутризаводским станциям и грузовым пунктам (для металлургических заводов);

0.32 - подбор вагонов по грузовым фронтам (химические и цементные заводы);

0.40 - сортировка порожних вагонов (цементные заводы).

Теоретическая средняя величина отцепа для сборных поездов цементных, металлургических, коксохимических заводов составляет 2-4 вагона. Применение теории массового обслуживания при поездной работе позволяет, планируя в дальнейшем грузовые операции, обеспечивать высокое качество обслуживания при экономичной эксплуатации и с возможно меньшими первоначальными затратами.

Рассматривая системы массового обслуживания, состоящие из систем двух классов: системы с отказами и системы с ожиданием, для условий промышленного железнодорожного транспорта следует учитывать функциональные возможности транспортной системы массового обслуживания, в том числе таких, как:

- распределение времени поступлений заявок на обслуживание грузовых фронтов;
- распределение продолжительности выполнения грузовых операций;
- характеристику обслуживающей транспортной системы;
- директивность в обслуживании заявок.

На заводах транспортные системы предназначены для работы в течение весьма длительного периода времени. Поэтому этот процесс отвечает условию стационарности, и можно исследовать такие операционные характеристики систем массового обслуживания: P_n - вероятность того, что в системе находятся n заявок на грузовые операции или транспортное обслуживание; N_S - среднее число находящихся в системе заявок на грузовые операции; N_q - среднее число заявок, находящихся в очереди на грузовые операции; T_S - средняя продолжительность выполнения грузовых операций; T_q - средняя продолжительность

пребывания вагонов в очереди на транспортное обслуживание.

По определению

$$N_S = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot P_n, \quad (7)$$

$$N_q = \sum_{n=1}^{\infty} (n - c) \cdot P_n,$$

где c - число локомотивов, механизмов, функционирующих в транспортной системе предприятия.

Между N_S и T_S , как и между N_q и T_q , существует строгая взаимосвязь и так что, зная исходные значения одной из этих величин, в частности, если частота поступлений в систему заявок на транспортное обслуживание или грузовые операции равна λ , мы имеем:

$$N_S = \lambda \cdot T_S, \quad (8)$$

$$N_q = \lambda \cdot T_q.$$

Приведенные выше соотношения справедливы и при гораздо менее жестких предположениях, не налагающих никаких специальных ограничений ни на распределение моментов последовательных поступлений заявок на грузовые операции, ни на распределение продолжительностей грузовых операций. Однако в тех случаях, когда частота поступлений заявок на общее транспортное обслуживание равняется λ и превышает возможности транспортной системы, то не все требования имеют возможность быть выполненными из-за ограниченных транспортных ресурсов (например, из-за отсутствия локомотивов, погрузочно-выгрузочных механизмов и др.).

Исследование работы транспортных систем в условиях ограниченного локомотивного парка.

Для транспортных систем с ограниченными транспортными ресурсами задача ставится следующим образом: М одинаковых локомотивов обслуживают поток заявок на маневровую работу интенсивностью λ :

$$\lambda = \frac{\sum k_{in}}{24}, \quad (9)$$

где k_{in} - общее число маневровых операций, подлежащих выполнению данным локомотивом (число заявок).

Если в момент поступления вагонов имеется хотябы один свободный локомотив, он немедленно начинает их обслуживать. Если же все локомотивы заняты, то вновь прибывшие вагоны сборного поезда становятся в очередь. Освободившийся локомотив немедленно приступает к обслуживанию очередного поезда, если только имеется очередь. Длительность маневровых операций представляет случайную величину, которая может быть описана распределением показательного закона. Найдем вероятностные характеристики системы массового обслуживания для этого случая.

Выражения для определения состояния транспортной системы имеют вид:

$$P_k = \left(\frac{\rho}{M}\right)^{k-M} \cdot \frac{\rho^M}{M!} P_0 = \frac{\rho^k}{M! \cdot M^{k-M}} P_0, \quad (10)$$

$k \geq M,$

где M - число локомотивов;

k - число заявок на маневровую работу.

Для определения P_0 подставим полученное значение P_k в нормировочное условие:

$$P_0 \left[\sum_{k=0}^{M-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^M}{M!} \sum_{k=M}^{\infty} \left(\frac{\rho}{M}\right)^{k-M} \right] = 1, \quad (11)$$

Сумма

$$\sum_{k=M}^{\infty} \left(\frac{\rho}{M}\right)^{k-M} = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{M}\right)^k. \quad (12)$$

стоящая в квадратных скобках, есть сумма членов геометрической прогрессии со знаменателем ρ/M .

Как известно, она сходится при условии $\frac{\rho}{M} \leq 1$ и может быть вычислена по известной формуле суммы членов бесконечно убывающей геометрической прогрессии:

$$\sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{M}\right)^k = \frac{1}{1 - \frac{\rho}{M}} = \frac{M}{M - \rho}. \quad (13)$$

Подставляя выражение в квадратные скобки, получим:

$$P_0 = \left[\sum_{k=1}^{M-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^M}{(M-1)!(M-\rho)} \right] = 1. \quad (14)$$

Отсюда

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{M-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^M}{(M-1)!(M-\rho)}}. \quad (15)$$

Используя полученные выражения выполняем расчет (10-15) в следующей последовательности:

1. Определим вероятность того, что все локомотивы заняты. Этот случай может иметь место, когда в системе находится $n, n+1, \dots$ заявок одновременно. Эти заявки независимы, поэтому вероятность того, что все обслуживающие локомотивы заняты, может быть найдена, как сумма вероятностей $P_M, P_{M+1}, \dots$

Обозначим вероятность того, что все локомотивы заняты через π , тогда:

$$\pi = \sum_{k=M}^{\infty} P_k = \frac{\rho^M}{M!} P_0 \sum_{k=M}^{\infty} \left(\frac{\rho}{M}\right)^{k-M}. \quad (16)$$

Эта сумма при $\frac{\rho}{M} \leq 1$ была найдена выше.

Подставляя ее значения из выражения (12), получаем:

$$\pi = \frac{\rho^M}{(M-1)!(M-\rho)} \cdot P_0. \quad (17)$$

Запишем формулу для расчета средней продолжительности времени маневровой работы по выполнению одной заявки:

$$\overline{T_{обс}} = \frac{\pi}{\mu \cdot (M - \rho)}. \quad (18)$$

2. Используя это выражение легко найдем средние потери времени на ожидание, которые будут иметь все те заявки на транспортное обслуживание, которые поступили в систему за некоторый промежуток времени τ . Эти потери составят величину:

$$\lambda \tau \overline{T_{обс}} = \frac{\pi \rho \tau}{M - \rho}. \quad (19)$$

3. Формула для расчета средней длины очереди на маневровую работу имеет вид:

$$N_{ож} = \sum_{k=M}^{\infty} (k - M) \cdot \rho k = \frac{\rho}{M \left(1 - \frac{\rho}{M}\right)^2} \cdot P_M. \quad (20)$$

4. Среднее число заявок в транспортной системе:

$$N_z = \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot P_k = N_{ож} + \frac{M^2 P_M}{M - \rho} + P_0 \sum_{k=1}^{M-1} \frac{\rho^2}{(k-1)!}. \quad (21)$$

5. Среднее число грузовых фронтон на которые не подаются вагоны:

$$N_{\phi} = \sum_{k=0}^{M-1} (M - k) \cdot P_k. \quad (22)$$

6. Коэффициент простоя локомотивов:

$$K_n = \frac{N}{M}. \quad (23)$$

Продолжительность ожидания подачи вагонов к грузовым фронтам или уборки груженных или порожних вагонов на выставочные пути заводских станций зависит от интенсивности и степени неравномерности поступления заявок на маневровую работу, а также от степени загрузки и неравномерности транспортного обслуживания локомотивами маневрового района.

Сокращение межоперационных простоев в ожидании выполнения маневровых операций возможно за счет увеличения числа маневровых локомотивов, целесообразным их использованием или специализацией.

Если локомотив закреплен за определенным маневровым районом или обслуживанием опреде-

ленных заявок, то в этом случае имеет место жесткая специализация локомотивов.

При обслуживании очередной заявки любым свободным локомотивом имеет место неспециализированная (скользящая) схема использования локомотивов.

Критерием для оценки эффективного распределения маневровой работы между локомотивами является минимум затрат вагоночасов ожидания маневровой работы при допустимых вариантах специализации локомотивов, т.е.

$$nt_{ож}^{ман}(S_i) \rightarrow \min, \quad (24)$$

где n - среднесуточное количество подаваемых, убираемых, переставляемых вагонов;

$t_{ож}^{ман}$ - среднее время ожидания выполнения маневровых операций;

S_i - число грузовых пунктов.

Анализ показывает значительные преимущества неспециализированного способа использования локомотивов, предполагающего прогрессивный метод оперативного диспетчерского руководства, организации маневровой работы. Об этом также отмечалось в работе [11], где показано, что время ожидания в этом случае по сравнению со специализацией примерно в 1.5-2 раза меньше.

При специализации локомотивов среднее время ожидания выполнения маневровых операций при простейшем входящем потоке и произвольном времени обслуживания определяется согласно [6, 8, 11] по формуле:

$$t_{ож}^{ман} = \frac{\varphi_{лок} \cdot T v_{обс} \cdot \lambda \overline{T_{обс}}}{2(1 - \varphi_{лок})}, \quad (25)$$

где $\varphi_{лок}$ - коэффициент загрузки локомотива;

$v_{обс}$ - коэффициент вариации времени обслуживания требований локомотивом, количественно характеризующий неравномерность продолжительности грузовых операций.

Коэффициент загрузки локомотива равен:

$$\varphi_{лок} = \lambda \cdot \overline{T_{обс}}. \quad (26)$$

Используя эти зависимости была определена зависимость среднего времени ожидания выполнения маневровых операций для одноканальной системы обслуживания цементного завода от коэффициента загрузки локомотива и среднего времени обслуживания (при $T_{обс} = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0$ час). Расчеты приведены на рис. 3, откуда видно, что затраты на ожидание тем выше, чем больше загрузка локомотива и время обслуживания.

Скользящая система использования локомотивов позволяет рассматривать фазу перемещения вагонов как многоканальную. При этом в зависимости от структуры предприятия и возможности обслуживания требований локомотивами на крупных предп-

риятиях могут возникать полнодоступные и неполнодоступные многоступенчатые системы.

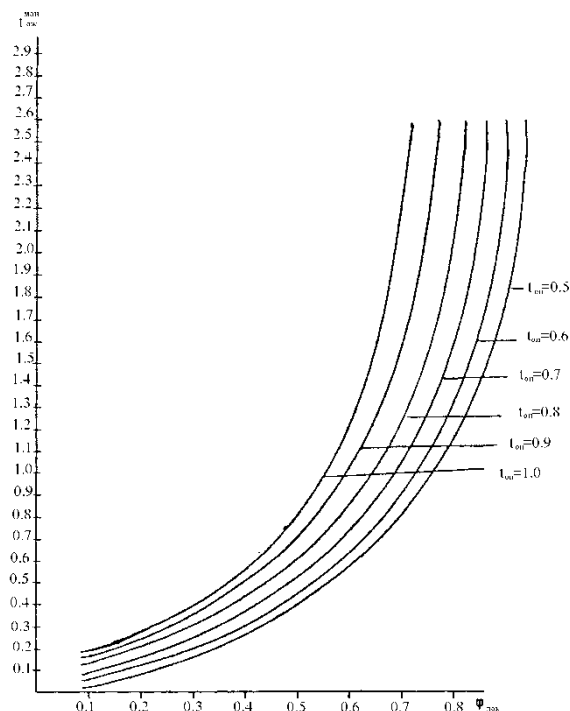


Рис. 3. Зависимость среднего времени ожидания выполнения маневровых операций от загрузки локомотива и времени выполнения маневровых операций

В полнодоступной многоканальной системе при скользящем способе использования локомотивов и произвольном законе выполнения маневровой работы, среднее время ожидания может быть определено для наших условий по зависимости:

$$t_{ож(Мn)}^{ман} = \frac{\alpha_M \cdot \varphi_M \cdot (1 + v_{обс}^2) \overline{T_{обс}}}{2M(1 - \varphi)}, \quad (27)$$

$$\alpha_M = \frac{M \cdot \varphi_M}{(M-1)(M-2) + \varphi_M(2M + M\varphi_M - 2)}, \quad (28)$$

где M - количество локомотивов;

$\varphi_M = \frac{\overline{T_{обс}}}{M}$ - коэффициент загрузки локомотива.

Предполагается, что интенсивности занятости маневровой работой равны отличаются не более чем на 20%-30%, число локомотивов на этих заводах не превышает пяти.

Анализ работы промышленного железнодорожного транспорта цементных заводов при скользящем способе использования локомотивов показывает, что обслуживание любой заявки, поступившей из i -го грузового пункта подъездного пути свободным локомотивом, возможно лишь в том случае, если маршрут следования к этому пункту свободен. Эта особенность вызывает необходимость рассмотрения многоканальной фазы при такой специализации, как неполнодоступной, в которой каждое тре-

бование ожидает освобождения не только локомотива, но и канала обслуживания.

Среднее время ожидания маневровой работы в многоканальной неполнодоступной системе обслуживания можно определить по зависимости:

$$t_{ож(НП)}^{ман} = 0.5(1 + \nu^2) \left\{ \frac{\alpha_M \varphi_M \overline{T_{обс}}}{M(1 - \varphi_M)} + \frac{\varphi_{зан}}{1 - \varphi} \right\}, \quad (29)$$

где $T_{обс}$ - продолжительность нахождения локомотива в данном маневровом районе при производстве маневровых операций;

φ_M - коэффициент загрузки маневрового локомотива.

$$\varphi_M = \lambda t_{зан}. \quad (30)$$

В этом выражении величины φ , λ , $t_{зан}$ соответствуют нагрузке локомотивов, интенсивности поступления и среднего времени обслуживания пункта по каждому маневровому району.

Учитывая специфические особенности и сложность выполнения маневровой работы на исследуемых заводах, несвоевременное получение составителем задания на выполнение очередной маневровой операции, расчет среднего времени ожидания маневровой работы выполнялся с учетом коэффициента диспетчерского управления локомотивов $\alpha_{дисп}$ по формуле:

$$t_{ож(МП)} = t_{ож}^{МП} (1 - \alpha_{дисп}). \quad (31)$$

Коэффициент диспетчерского управления имеет значение $0 \leq \alpha_{дисп} \leq 1$ и потому работа системы обслуживания как полнодоступную можно рассматривать лишь в те периоды, когда объем маневровой работы в том или ином районе значительно возрастает, что имеет место лишь к концу смен или отчетных суток.

При $\alpha_{дисп} = 0$ - жесткое закрепление локомотивов за определенными районами или видами операций.

При $\alpha_{дисп} = 1$ - обезличенное (скользящее) использование при выполнении маневровой работы.

Л и т е р а т у р а

1. Акулиничев В.М. Организация вагонопотоков на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1979. - 223 с.
2. Белов И.В., Каплан А.Б. Применение математических методов в планировании на железнодорожном транспорте. - М.: Транспорт. - 1967. - 168 с.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1979. - 399 с.
4. Васильев Е.М., Игудин Р.В., Лившиц В.Н. и др. Оптимизация планирования и управления транспортными системами. - М.: Транспорт. 1987. - 208 с.
5. Воскресенская Т.П. Оптимизация структуры и стадийного развития систем переработки массовых сыпучих

- грузов на промышленных предприятиях. - Автореферат докторской диссертации. Ленинград. - 1991. - 41 с.
6. Выганов А.А. Методика определения величины резервного парка порожних вагонов на станциях погрузки маршрутов с рудно-металлургическим сырьем. - Сб. Применение математических методов и ЭВМ в эксплуатации железных дорог. - М.: Транспорт. МИИТ, 1989. - с. 74-78.
7. Деордица Ю.С., Неведов Ю.М. Исследование операций в планировании и управлении. - Киев.: Вища школа, - 1991. - 207 с.
8. Казюлин Г.Е. Эффективность неспециализированного способа использования аппаратов в многоканальных системах обслуживания. Тр. МИИТа, вып 500. - 1985. - С. 86-92.
9. Клошин Ю.Т. Исследование неравномерности суточного прибытия вагонов МПС и ее влияние на техническую вооруженность транспорта металлургических заводов. Канд. дисс. КПТИ 1983. - 186 с.
10. Козлов П.А., Миловидов С.П., Попов А.Т. Оптимизация работы промышленного транспорта в промышленных системах. - Экономика и математические методы. - 1985. - Т.22. - Вып. 2. - С. 571-576.
11. Козлов П.А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии. - Докторская диссертация. - Липецк, 1986. - 377 с.

R e f e r e n c e s

1. Akulinichev V.M. Organizatsiya vagonopotokov na zheleznodorozhnom transporte. M.: Transport, 1979. - 223 s.
2. Belov I.V., Kaplan A.B. Primeneniye matematicheskikh metodov v planirovani na zheleznodorozhnom transporte. - M.: Transport. - 1967. - 168 s.
3. Buslenko N.P. Modelirovaniye slozhnykh sistem. - M.: Nauka, 1979. - 399 s.
4. Vasil'yev Ye.M., Igudin R.V., Livshits V.N. i dr. Optimizatsiya planirovaniya i upravleniya transportnymi sistemami. - M.: Transport. 1987. - 208 s.
5. Voskresenskaya T.P. Optimizatsiya struktury i stadiynogo razvitiya sistem pererabotki massovykh syuchikh грузов na promyshlennykh predpriyatiyakh. - Avtoreferat doktorskoy dissertatsii. - Leningrad. - 1991. - 41 s.
6. Vyganov A.A. Metodika opredeleniya velichiny rezervnogo parka porozhnykh vagonov na stantsiyakh pogruzki marshrutov s rudno-metallurgicheskim syr'yem. - Sb. Primeneniye matmetodov i EVM v ekspluatatsii zheleznykh dorog. - M.: Transport. MIIT, 1989. - s. 74-78.
7. Deorditsa YU.S., Nefedov YU.M. Issledovaniye operatsiy v planirovani i upravlenii. - Kiyev.: Vishcha shkola, - 1991. - 207 s.
8. Kazyulin G.Ye. Effektivnost' nespetsializirovannogo sposoba ispol'zovaniya apparatov v mnogokanal'nykh sistemakh obsluzhivaniya. Tr. MIITa, vyp 500. - 1985. - S. 86-92.
9. Kloshin YU.T. Issledovaniye neravnomernosti sutochnogo pribytiya vagonov MPS i yeye vliyaniye na tekhnicheskuyu vooruzhennost' transporta metallurgicheskikh za-vodov. Kand. diss. KPTI 1983. - 186 s.
10. Kozlov P.A., Milovidov S.P., Popov A.T. Optimizatsiya raboty promyshlennogo transporta v promyshlennykh sistemakh. - Ekonomika i matematicheskiye metody. - 1985. - T.22. - Vyp. 2. - S. 571-576.
11. Kozlov P.A. Teoreticheskiye osnovy, organizatsionnyye formy, metody optimizatsii gibkoy tekhnologii transportnogo obsluzhivaniya zavodov chernoy metallurgii. - Doktorskaya dissertatsiya. - Lipetsk, 1986. - 377 s.

Заверкин А.В., Марченко Д.Н., Кузьменко С.В., Чередниченко С.П. Дослідження роботи транспортних систем в умовах обмеженого локомотивного парку.

У статті розглянуті питання розробки методів ефективної експлуатаційної роботи залізничного транспорту промислових підприємств в умовах обмежених транспортних ресурсів. Досліджено характеристики експлуатаційної роботи транспортних систем підприємств, робота транспортних систем в умовах обмеженого локомотивного, вагонного парків, колійного розвитку станцій і вантажних фронтів.

Ключові слова: локомотиво-вагонний парк, обмеження транспортних ресурсів, станція, під'їзну колію, вантажний фронт, транспортна система.

Zaverkin A., Marchenko D., Kuzmenko S., Cherednychenko S. Study of transport systems in a limited locomotive park.

The article deals with the development of methods for the efficient operation of railway transport of industrial enterprises in conditions of limited transport resources. The characteristics of the operational work of transport systems of en-

terprises, the work of transport systems in conditions of limited locomotive, car fleet, track development of stations and cargo fronts are investigated.

Keywords: locomotive-car fleet, limitation of transport resources, station, access road, cargo front, transport system.

Заверкін А.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СХУ ім. В. Даля, zawerkin@ukr.net.

Марченко Д. М. - д.т.н., професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СХУ ім. В. Даля.

Кузьменко С. В. - к.т.н., доцент, директор навчально-наукового інституту транспорту і логістики СХУ ім. В. Даля, kuzmenkov@ukr.net.

Чередниченко С. П. - к.т.н., доц., с.н.с. інституту металів та сплавів АН України.

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

Стаття подана 15.04.2019

УДК 656.01

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РОЛИ ПОРТОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ**Иванова И.Н.****IDENTIFICATION OF THE PORT TERMINALS' LOGISTIC ROLE****Ivanova I. N.**

В статье рассмотрены логистические аспекты функционирования портовых терминалов. Установлены ситуации, при которых портовый терминал является или не является частью логистических систем. Определены два уровня согласования производственных процессов в порту в рамках внутрипроизводственной логистики – на уровне порта в целом и на уровне отдельного терминала. Определены соответствующие субъекты, решающие задачи согласования на каждом из уровней. Определены границы логистического обслуживания в порту.

Ключевые слова: портовый терминал, логистическая система, логистическое обслуживание, порт

Введение. Логистика является одним из динамично развивающихся направлений современного бизнеса, что естественным образом отражается на развитии соответствующей теории. Следует отметить уже достаточно устоявшуюся терминологическую базу и единодушие авторов научных публикаций по логистике в отношении сущности базовых понятий логистики – логистической системы, логистических функций, логистического центра, логистических операторов и т.п.

Тем не менее, логистическая концепция постепенно расширяет свои границы и ее основные принципы и подходы к управлению материальным потоком и сопутствующим ему информационным и финансовым, стали использоваться, например, для управления доставкой грузов, на транспорте, (в том числе и на морском транспорте), порождая, так называемую «транспортную логистику».

Анализ последних публикаций. В этом направлении до сих пор ведутся терминологические споры (например, [1,2]) и специалисты по транспорту обосновывают размежевание сфер «влияния» логистики и транспорта, и, в частности, в [1] доказывалась некорректность приравнивания современных транспортно-экспедиторских компаний к логистическим компаниям или операторам.

Во многих современных публикациях, посвященных вопросам развития портов Украины

(например, [3-5]) или вопросам развития логистики в Украине (например, [6]) утверждается важность портов в функционировании логистических систем. В частности, в [4] авторы считают, что «Морські порти являються важливою складовою ланкою транспортних ланцюжків та логістичних систем». В ряде публикаций (например, в [7]) декларируется необходимость развития логистических функций портов и постепенного превращения их в логистические (или транспортно-логистические) центры. В [8] даже содержится утверждение, что развитие портов в направлении логистики приведет к тому, что порт от роли логистического центра трансформируется в составляющую логистического центра.

Как показал анализ публикаций, у большинства авторов, которые затрагивают проблему логистической роли и функций портов, не совсем четко определен понятийный аппарат, более того, во многих публикациях предложения и рассуждения авторов не соответствуют (а в некоторых случаях и противоречат) современной организации работы портов. В частности, «порт» и «портовый терминал» – это не тождественные понятия и поэтому вопрос об их логистической роли не может рассматриваться в одной плоскости.

Таким образом, **целью данного исследования** является установление логистической роли портов и портовых терминалов.

Результаты исследования. Основной составляющей порта, где собственно и происходит большей частью осуществление основных функций портов – обслуживание судов и грузов, является *портовый терминал*. Согласно Закону «Про морські порти України» [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 інше устаткування, які забезпечують навантаження-розвантаження та зберігання вантажів, безпечну стоянку та обслуговування суден і пасажирів».

В этом же Законе дается следующее определение порта: «*морський порт* - визначені межами територія та акваторія, обладнані для обслуговування суден і пасажирів, проведення вантажних, транспортних та експедиційних робіт, а також інших пов'язаних з цим видів господарської діяльності».

В большинстве украинских портов на их территории функционируют несколько терминалов, находящихся под управлением компаний-операторов (стивидорных компаний), как государственных, так и негосударственных. Таким образом, в терминах системной методологии, *портовый терминал и компания-оператор* образуют две подсистемы единой системы, при этом терминал – объект, находящийся под управлением соответствующего субъекта – оператора. Следует отметить, что в практическом большинстве публикаций (если только не рассматриваются специфические вопросы, требующие четкого разграничения данных подсистем) под понятием «портовый терминал» подразумевается именно указанный тендем терминала и оператора.

Каждый терминал независимо от его специализации (зерновой, контейнерный и т.д.) представляет собой производственную систему, в рамках которой протекают различные производственные процессы. В частности, на контейнерном терминале осуществляется выгрузка контейнеров с судна, перемещение контейнеров по территории, их хранение, погрузка на судно или другие транспортные средства и т.д. Естественно, что данные операции требуют согласования, которое осуществляется на базе новейших информационных технологий.

В терминах логистики, в данном случае возникают проблемы *внутрипроизводственной логистики*. Под последней в большинстве публикаций понимается способ организации производства на предприятии, предусматривающий согласование принципов организации производственного процесса с принципами и правилами логистики. В данном случае задачи согласования производственных процессов на терминале можно рассматривать как задачи *специфической внутрипроизводственной логистики*.

В свою очередь, портовый терминал - это часть портовой системы, являющейся составляющей *транспортной системы* страны. При этом основное предназначение транспортной системы (и, соответственно, ее составляющих) – *обеспечение транспортировки грузов*. Поэтому портовый терминал играет, прежде всего, определенную роль в транспортном обеспечении доставки грузов. Следует отметить, что практически любой груз как объект транспортной сферы, является составляющей материального потока соответствующей логистической системы. Например, зерно, направляющееся на экспорт, проходит через зерновой терминал в порту. При этом для экспортера, как предприятия-производителя (или трейдера) *зерно является материальным потоком*; в рамках транспортной системы и терминала, в частности, зерно рассматривается как

грузопоток. Производство и экспорт зерна предполагает наличие соответствующей логистической системы (куда портовый терминал, вообще говоря, не входит), а прохождение зерна через терминал является частью ее *транспортного обеспечения*. Таким образом, если портовый терминал выполняет сугубо «*транспортные функции*» в процессе доставки того же зерна, а согласование соответствующих процессов (относящихся к транспортной сфере) должно базироваться на принципах *транспортной логистики*.

Тем не менее, отдельные портовые терминалы могут являться частью крупных предприятий-холдингов, в частности, занимающихся производством и экспортом зерна. В такой ситуации портовый терминал уже становится частью логистической системы указанных предприятий, играя не только «транспортную» роль, а и сугубо логистические – агрегирование материального потока, например.

Отметим, что из всего многообразия публикаций, связанных с данными вопросами, только в [10] автор придерживается подобного высказанному выше подходу к роли портовых терминалов. В частности, в [10] представлен следующий тезис: «возможны два статуса участия портовых терминалов в микро- и мезологистических системах:

- портовый терминал находится во владении, распоряжении и под контролем компании, управляющей данной логистической системой (в качестве такой управляющей компании может выступать производственное предприятие, трейдер и т.д.);
- портовый терминал входит в логистическую систему в качестве независимого объекта».

Таким образом, автор придерживается мнения, что портовый терминал в любом случае является частью той или иной логистической системы, но в разных статусах.

По нашему мнению портовый терминал может как являться частью логистической системы, так и не являться, выступая в роли элемента транспортного обеспечения логистической системы (рис.1).

Если же рассматривать порт в целом, как совокупность терминалов и часть транспортной системы страны, то в данном контексте в принципе некорректно рассматривать порт как элемент какой-либо логистической системы (если только в порту - один терминал). Здесь речь может идти о роли портов в обеспечении транспортировки экспорта/импорта и прохождении транзита. Отдельные авторы (например, [4,7]), акцентируя внимание на необходимости повышения логистического обслуживания в портах, в принципе, подразумевают необходимость согласования процессов прохождения транспортных средств/грузов через порты и, таким образом, минимизации соответствующего времени. Это, в свою очередь, обеспечивает конкурентоспособность порта в целом.

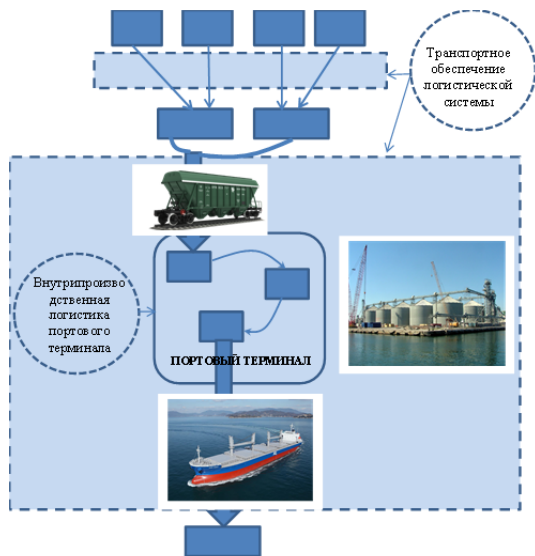


Рис. 1. Портовый терминал как составляющая транспортного обеспечения логистической системы

В этой связи следует отметить, что указанное *не является логистическим обслуживанием*, а может быть классифицировано как «внутрипроизводственная логистика» только уже на уровне порта, где возникают процессы, связанные с въездом и выездом транспортных средств с грузом на/с территории порта, таможенным досмотром и оформлением грузов и транспортных средств и т.п. Таким образом, возникает следующая схема (рис.2), на которой выделены два уровня внутрипроизводственной логистики в порту – на уровне порта в целом и на уровне отдельного терминала.

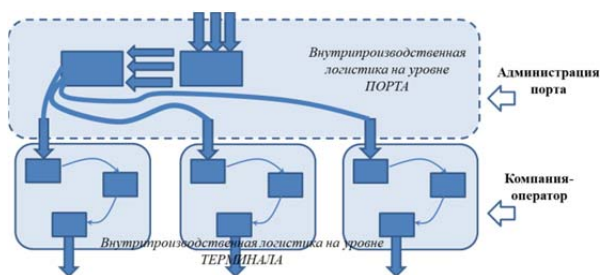


Рис. 2. Уровни рассмотрения внутрипроизводственной логистики в порту

Субъектами, обеспечивающими согласование соответствующих процессов, являются соответственно, администрация порта и компания-оператор. При этом еще раз подчеркнем, что рассматриваемые процессы *не являются логистическим обслуживанием*.

Выводы. В данной статье определены ситуации, при которых портовые терминалы являются или не являются элементами логистических систем. Установлены два уровня рассмотрения вопросов внутрипроизводственной логистики в портах – на уровне порта в целом и на уровне конкретного терминала. Установлены соответствующие субъекты, обеспечивающие решение задач по согласованию

процессов в рамках внутрипроизводственной логистики. Установлено, что порт не является частью логистических систем и не осуществляет логистическое обслуживание. Логистическое обслуживание может осуществляться в рамках портовых терминалов.

Полученные результаты являются базой для дальнейшего решения задач повышения эффективности работы портовых терминалов и портов в целом.

Л и т е р а т у р а

1. Кириллова О. В.; Король, В. Ю. Експедирування і логістика: термінологічні протиріччя, підміна понять і їх розмежування // Транспортні системи та технології перевезень, [s.l.], №. 15, С. 42-51.
2. Кириллова Е. В. Логистически-ориентированная транспортная терминология: модный тренд или нарушение традиций / Е. В. Кириллова, В. Ю. Король // Научный взгляд в будущее: международное периодическое научное издание. – 2018. – Вып. 9. – Том 2. – С. 4-16.
3. Патора Р. Логістична трансформація водних портів: зарубіжний і вітчизняний досвід / Р. Патора, Н. В. Фігун // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2008. - № 623. - С. 220-225
4. Нікулін С.Г, Роціна Н.В. (2015). Світові тенденції розвитку морських портів. Економіка: реалії часу, (4 (20)), 148-154.
5. Тимошук О. М. Формування механізму реалізації логістичної стратегії річкових портів / О. М. Тимошук, О. В. Мельник // Проблеми економіки. - 2013. - № 3. - С. 149-155.
6. Комарницький І. М. Механізми формування логістичних центрів / І. М. Комарницький, Н. С. Питуляк, І. В. Когут // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2007. – № 582 : Проблеми економіки та управління. – С. 190–196.
7. Ковбатук М. В. (2013). Алгоритм створення транспортно-логістичних центрів на базі морських торговельних портів // Вісник економіки транспорту і промисловості, (42), 303-308.
8. Барышнікова В.В. Современный порт в логистической цепочке доставки грузов / В.В.Барышнікова// Економіка та управління підприємствами машинобудівної галузі: проблеми теорії і практики. - Харків "ХАІ", 2009. - № 4 (8).- С.15-26.
9. Закон України «Про морські порти України» - Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4709-17>
10. Андриевская В. А. Характеристика участия портовых операторов в логистических системах / В. А. Андриевская // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті. - 2018. - Вип. 1. - С. 95-105

R e f e r e n c e s

1. Kirillova O. V. ; King, V. Yu. Forwarding and logistics: terminological contradictions, substitution of concepts and their delineation // Transport systems and transportation technologies, [s.l.], No.. 15, P. 42-51.
2. Kirillova E.V. Logistic-oriented transport terminology: trendy trend or violation of traditions / E.V. Kirillova, V.Yu.Korol // Scientific view to the future: international periodical scientific publication. - 2018 - Issue 9. - Volume 2. - P. 4-16.

3. Patora R. Logistical transformation of water ports: foreign and domestic experience / R. Patora, N. V. Figun // Visn. National University Lviv Polytechnic University. - 2008. - No. 623. - P. 220-225
4. Nikulin S.G., Roshchina N.V. (2015). World trends of sea ports development. Economics: realities of time, (4 (20)), P. 148-154.
5. Tymoshchuk O.M. Formation of the Mechanism for Implementing the Logistics Strategy of River Ports / O. M. Tymoshchuk, O. V. Melnik // Problems of Economics. - 2013. - No. 3. - P. 149-155.
6. Komarnickii I. M. Mechanisms of the formation of logistic centers / I. M. Komarnytsky, N. S. Pytulyak, I. V. Kohut // Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". - 2007. - No. 582: Problems of Economics and Management. - P. 190-196.
7. Kovbatiuk MV (2013). Algorithm for the creation of transport and logistics centers on the basis of sea trading ports // Bulletin of the Economy of Transport and Industry, (42), 303-308.
8. Baryshnikova V.V. Modern port in the logistics chain of cargo delivery / V.V Baryashnikova // Economy and management of enterprises of the machine-building industry: problems of theory and practice. - Kharkiv "KhAI", 2009. - No. 4 (8) .- P.15-26.
9. Law of Ukraine "On Sea Ports of Ukraine" , <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4709-17>
10. Andriyevskaya VA Characteristics of participation of port operators in logistics systems / V.A Andriyevskaya // Development of methods of management and management in transport. - 2018. - Vol. 1. - pp. 95-105

Іванова І.М. Ідентифікація логістичної ролі портових терміналів.

У статті розглянуті логістичні аспекти функціонування портових терміналів. Встановлено ситуації, при яких портовий термінал є або не є частиною логістичних систем. Визначено два рівні узгодження виробничих процесів в порту в рамках внутрішньовиробничої логістики - на рівні порту в цілому і на рівні окремого терміналу. Визначено відповідні суб'єкти, які вирішують завдання узгодження на кожному з рівнів. Визначено межі логістичного обслуговування в порту.

Ключові слова: портовий термінал, логістична система, логістичне обслуговування, порт

Ivanova I.M. Identification of the port terminals' logistic role.

The article discusses the logistic aspects of the functioning of port terminals. Established situations in which the port terminal is or is not part of the logistics systems. Two levels of coordination of production processes in the port within the framework of intra-industrial logistics are defined - at the port level as a whole and at the level of an individual terminal. Corresponding subjects are identified that solve the tasks of coordination at each of the levels. The boundaries of the logistics service in the port are determined.

Keywords: port terminal, logistics system, logistics service, port

Іванова І.М. – аспірант кафедри «Експлуатація портів і технології вантажних робіт» Одеського національного морського університету, e-mail: ivanovain92@gmail.com

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

Стаття подана 09.04.2019

УДК 629.463.001.63

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ
ВАГОНА-ЦИСТЕРНИ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ****Кельріх М.Б., Брайковська Н.С., Фомін О.В., Прокопенко П.М.****THEORETICAL CHARACTERISTICS OF TANK-CARS ATION TESTS
FOR CARRIAGE OF DANGEROUS CARGOES****Kelrich M., Braykovskaya N, Fomin O., Prokopenko P.**

За останні роки відбулося значне старіння експлуатаційного парку вантажних вагонів, т.ч. вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів. На даний час на мережі залізниць України перебувають в експлуатації вагони-цистерни з терміном служби, який перевищує встановлений заводом-виробником та продовжений термін служби. Аналіз технічного стану вагонів-цистерн після проведення планових видів ремонту показує, що значна їх частина знаходиться в задовільному стані. Для вирішення питання про можливість подальшої безпечної експлуатації з вичерпаним терміном служби проводиться їхнє технічне діагностування та контрольні випробування

Ключові слова: вагон-цистерна, ударні випробування, аварійні випробування, пошкодження, герметичність, продовження строку експлуатації.

Вступ. За останні роки відбулося значне старіння експлуатаційного парку вантажних вагонів, т.ч. вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів. На даний час на мережі залізниць України перебувають в експлуатації вагони-цистерни з терміном служби який перевищує встановлений заводом-виробником та продовжений термін служби. Для вирішення питання про можливість подальшої безпечної експлуатації з вичерпаним терміном служби проводиться їхнє технічне діагностування та контрольні випробування.

Аналіз технічного стану вагонів-цистерн після проведення планових видів ремонту показує, що значна їх частина знаходиться в задовільному стані. Через недостатнє фінансування придбання нових вагонів для забезпечення безперебійного виконання вантажних перевезень залізничним транспортом актуальним залишається завдання проведення робіт щодо дослідження з визначення залишкового ресурсу та можливості продовження безпечної експлуатації вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів.

Постановка проблеми. Необхідно сформулювати необхідність проведення даних контрольних випробувань вагонів-платформ

Проаналізувавши парк та технічний стан вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів, встановлено, що основну частину парку складають вагони-цистерни моделі 15-1407 – для перевезення пропану, 15-1408, 15-1408-01, 15-1408-02, 15-1440, 15-1597, 15-1619 – для перевезення аміаку, 15-1409, 15-1556 – для перевезення хлору, 15-1519, 15-1780 – для перевезення пропану-бутану, та вони знаходяться в гарному технічному стані. Вище перелічені вагони-цистерни конструктивно відрізняються один від одного такими ознаками: матеріал з якого виготовляється котел цистерни, діаметр котла, кількість обичайок в котлі, захисним обладнанням днища котла від пошкоджень під час аварій та захистом арматури котла.

Мета статті. Висвітлення теоретичних та практичних особливостей проведення технічного діагностування, контрольних випробувань та випробувань з імітацією аварійних ситуацій вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів.

Аналіз літературних даних. Сучасні дослідження, присвячені питанням зниження вартості вантажних вагонів та 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 вагонів. 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. Так, в роботі [8] описані характерні риси та результати динамічних характеристик вагонів-платформ. А робота [9] присвячена представленням запропонованих методів визначення динамічних характеристик для різних виконань несучих вагонних конструкцій. Ряд сучасних публікацій присвячені конструкціям вантажного ва-

гонобудування нового покоління, які спроектовані з використанням передових матеріалів та технологій. Наприклад, в [6] автори відображають результати комп'ютерного моделювання прототипу вантажного вагона з основними несучими елементами, виконаними без надлишкових зв'язків. В роботі [7] представлені особливості запропонованих авторами інновацій в модулі ходової частини, також відображено їх вплив на модуль кузова але без урахування варіації його виконань. У статті [8] опубліковані результати робіт з генерування перспективних конфігурацій профілів, які можуть бути використані у виробництві різних видів рухомого складу. Але автори не пропонують даних про можливість створення перспективних профілів в стикованих по довжині виконаннях. Робота [10,12] висвітлює запропоновані методи аналізу залізничних конструкцій майбутнього і способи розширення їх функціональності, проте в ній, так само як і в статті [6], відсутні дані про підвищення ділової функціональності немірних спеціальних профілів. Також важливу роль в сучасному вагонобудуванні грають відповідні підходи в проектуванні, наприклад в статті [11] представлений розроблений методологічний апарат для прийняття оптимальних рішень. Але він так само не надає вичерпних можливостей щодо формування оптимальних по довжині і конфігурації зчленованих балок. У роботах [13, 14, 15] представлені особливості та результати проведених досліджень з визначення конструктивних складових вантажних вагонів для створення спрямованого напружено-деформованого стану (на основі принципу попередніх напружень). Роботи [16,17] відображають результати впровадження круглих труб в конструкцію вантажного вагона та дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі. З урахуванням вищесказаного можна зробити висновок, що результати аналізу інформаційних джерел з досліджуваного питання свідчать про відсутність достатніх методичних і практичних матеріалів про випробування та технічне діагносту-

вання вагонів-цистерн для перевезення небезпечних вантажів, особливо в умовах аварійних ситуацій.

Аварійна ситуація (особлива ситуація) – ситуація, що виникає в процесі перевезення внаслідок технічної несправності (відмов) частин залізничної транспортної системи або виникнення екстремальних зовнішніх чинників чи їх поєднань і яка характеризується порушенням дієздатності системи, або створення небезпечних умов експлуатації. Прикладами аварійних ситуацій можуть бути: удар автозчепу в днище котла цистерни, саморозчеп вагонів, підвищення тиску в котлі цистерни вище робочого та інше.

Результати досліджень.

Основну частину парку вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів складають вагони-цистерни моделі 15-1407 – для перевезення пропану, 15-1408, 15-1408-01, 15-1408-02, 15-1440, 15-1597– для перевезення аміаку, 15-1409, 15-1556 – для перевезення хлору, 15-1519, 15-1780 – для перевезення пропану-бутану, їхні технічні характеристики наведені в таблиці 1.

Досвід експлуатації залізничного транспорту показує, що значна частина аварійних ситуацій на залізничних коліях пов'язана з вагонами-цистернами, які перевозять рідкі вантажі широкого асортименту, в тому числі скраплений газ, нафтопродукти, концентровані кислоти, токсичні та вибухонебезпечні продукти хімічного походження. Частіше такі аварії супроводжуються наїздом вагона на вагон та перекиданням цистерн, в результаті чого може відбутися порушення цілісності котла (пробоїна днища, пошкодження горловини для наливу вантажу, розрив обичайки в зоні з'єднання котла з рамою та ін.) і витікання екологічно небезпечного вантажу. Для більшості аварійних ситуацій, які виникають при сходженні вагона з рейок, наїзді вагона на вагон або перешкоди характерним являється саморозчеплення вагонів і удар автозчепом сусіднього вагона або його довгим вантажем в днище котла цистерни (рис.3).

Таблиця 1

Основні технічні характеристики вагонів-цистерн

Модель	15-1407	15-1408	15-1408-01	15-1408-02	15-1440	15-1597	15-1409	15-1556	15-1519	15-1780
Призначення	Для пропану	Для аміаку	Для аміаку	Для аміаку	Для аміаку	Для аміаку	Для хлору	Для хлору	Для пропану	Для бутану
Матеріал кузова	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12
Тара, т min max	34,6 36,7	32,3 36,7	32,5 34,5	32,4 32,4	32,0 33,5	35,7 38,8	28,9 30,7	27,2 30,0	34,8 38,8	34,8 36,8
Вантажо- підємність, т	22,9	30,7	31,2	31,2	30,7	43,0	47,6	57,5	46,0	52,1
Об'єм, м ³	54,0	54,0	55,0	54,8	54,0	76,0	38,7	46,0	75,7	83,8
Діаметр котла внутрішній, мм	2600	2600	2600	2600	2600	3000	2200	2400	3000	3200
Рік постановки на вироб- ництво	1962	1963	1992	1995	1978	1989	1964	1974	1990	2010
Строк служби	40	20	40	40	20	40	24	24	40	40



Рис. 1. Вагон-цистерна моделі 15-1408-02



Рис. 2. Вагон-цистерна моделі 15-1556



Рис. 3. Пошкодження котла цистерни

В даний час в якості засобів захисту днищ вагонів-цистерн в аварійних ситуаціях використовуються додаткові металеві накладки на днища (фальшднище) або торцеві щити. Накладні металеві елементи, посилюючи нижню частину днища та повторюючи його форму, використовуються на цистернах моделей 15-1619, 15-1408 (рис.4). Дані захисні елементи володіють низькою енергоємністю, оскільки щільно прилягають до днища цистерни.

Враховуючи досвід експлуатації та результати обстеження технічного стану дає можливість визначити ймовірність відмов елементів рами вагона-цистерни P_i ($i=1, 2, 3...N$, де N – кількість елементів) за формулою:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^k \frac{R_H}{R}}{k}, \quad (1)$$

де k – кількість обстежених вагонів;

R_H – кількість несправних елементів одного типу в вагоні.



Рис. 4. Вагон-цистерна для пропана

Для вагонів-цистерн, які перевозять аміак, відносяться: зона приварки люка-лаза, фасонні лапи котла, зона обпирання котла на дерев'яні бруски, хребтова та шворнева балки рами.

Випробування проводились 4-х вісному вагону-цистерні моделі 15-1408 (рис.5) для перевезення аміаку, з терміном служби, що минув (20 років) та дослідний зразок цистерна моделі 15-1619 (рисунки 6) з діаметром котла 3200 мм..



Рис. 5. Вагон-цистерна 15-1408 для аміака



Рис. 6. Вагон-цистерна моделі 15-1619

Платформа складається з рами зварної конструкції, яка установлена на двохвісній візці моделі 18-100. Рама являє собою зварну систему балок коробчастого перетину: хребтової та двох шворневих. Котел зварної конструкції, який складається з циліндра та двох еліптичних днищ.

Перед початком випробувань проводилося технічне діагностування дослідного зразка, наклеювання тензорезисторів на раму вагона-цистерни та на котел, заміри товщини листів котла та рами, установка вимірювального обладнання.

Контроль технічного стану включав в себе візуальний огляд вагона-цистерни, заміри товщини металу в контрольних точках котла і рами вагону, проведення магнітопорошкового, ультразвукового та акустикоemisійного контролю несучих металевих конструкцій.

Контрольні випробування включали в себе статичні випробування вертикальним навантаженням, випробування на малоциклічне навантаження тиском котла, типові та ресурсні ударні випробування та випробування на можливі аварійні ситуації.

Випробування вертикальним статичним навантаженням виконувались шляхом заповнення водою котла вагона-цистерни до повного заповнення з подальшим зливом, з реєстрацією дослідних показників.

Випробування на мало циклічне навантаження котла надлишковим тиском виконувалось шляхом заповнення водою котла до повного заповнення, з наступним подаванням води до котла насосною станцією, для створення надлишкового тиску до 2 МПа. Після кожних 75 циклів навантаження робочим тиском, виконувалось навантаження випробувань тиском 3 МПа.

Ударні випробування проводились зі швидкістю накатування вагона бойка (масою 102 т) на дослідний вагон-цистерну від 1 до 12 км/год, вагон-цистерна при цьому знаходилась в загальмованому стані, та знаходилась в підпорі з загальмованих 4-х вагонів сумарною масою близько 300 т. Повздовжні сили які діяли на вагон-цистерну через автозчепний пристрій до 3,0 МН та з декількома ударами до 4,2 МН. При ударних випробуваннях реєструвались деформації в елементах конструкції дослідного вагона-цистерни в найбільш напружених місцях, отриманих при статичних випробуваннях.

Випробування з імітацією аварійних ситуацій. Перед початком та після завершення випробувань виконувалась перевірка герметичності котла шляхом створення надлишкового тиску від 0,5 до 3 МПа. Тиск витримувався на протязі 5 хв.

Котел випробовувався на наступні наднормативні навантаження:

- створення надлишкового тиску до моменту руйнування котла або втрати його герметичності;
- одноразовий удар вагона-бойка масою 90 т у автозчеп вагона-цистерни з швидкістю 22 км/год (рис. 7);

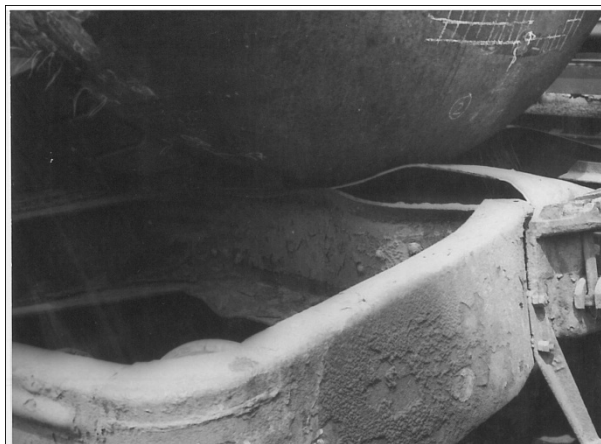


Рис. 7. Вагон-цистерна після удару

- удари головою автозчепу вагона-бойка масою 102 т в днище цистерни зі швидкістю 10,2 км/год (рис. 8, 9, 10, 11).

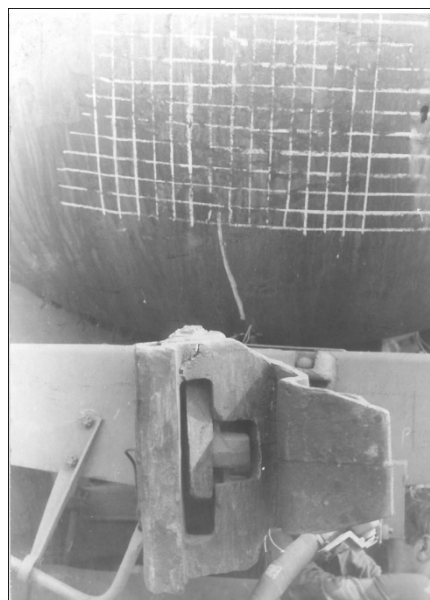


Рис. 8. Дослідний зразок до удару



Рис. 9. Дослідний зразок після удару в котел автозчепом

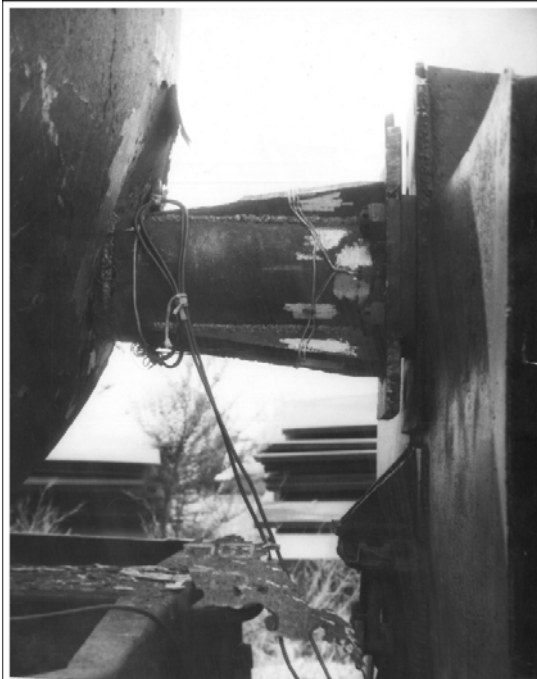


Рис. 10. Дослідний зразок після удару в котел

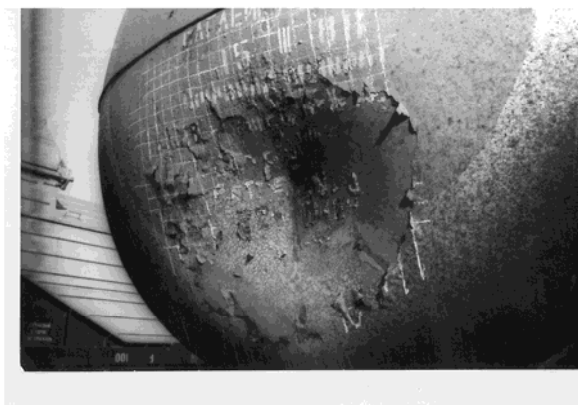


Рис. 11. Дослідний зразок після випробувань на аварійні ситуації

В процесі ресурсних випробувань було проведено аналіз напруженого стану в контрольних точках котла вагона-цистерни. Як видно на рис. 12 напруження в контрольних точках не перевищували допустимого.



Рис. 12. Графік напружень в контрольних точках під час ударних випробувань

Критерієм оцінки міцності цистерни від дії нештатних навантажень являється збереження вантажу та герметичності котла після проведення випробувань, шляхом контрольного створення тиску в котлі.

Висновок. На основі проведення технічного діагностування та контрольних випробувань вагона-цистерни встановлено, що вагон-цистерна за технічним станом є типовим представником експлуатаційного парку залізниць України, які відпрацювали призначений термін служби. Напружений стан котла вагона-цистерни від дії нормативних статичних та ударних навантажень не перевищував допустимі 236 МПа. При випробуваннях на малоциклічне навантаження котла тиском від 0 до 2 МПа, було проведено 225 циклів, що відповідає 5 рокам експлуатації. При випробуваннях з імітацією аварійних ситуацій: удар в днище цистерни, створення граничного тиску в цистерні, до 6 МПа, удару в автозчепний пристрій вагона-цистерни на швидкості 22 км/год, пошкоджень та розгерметизації котла вагона-цистерни не було виявлено.

Література

1. Фомін О.В., Розробка методики впровадження різних профілей в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів // Вісник національного технічного університету «ХП». Харків., 2012 С.29-33.
2. Kelyrkh M., Fomin O. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014. №6, P. 64-67.
3. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system // Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU, Arłamów. 2016. P. 114-126.
4. Фомін, О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І. Сапронова С.Ю. Поліпшення несучої здатності вагона-хопера для перевезення зерна з метою підвищення опору динамічним зусиллям // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Северодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2017. – № 5(235) – С. 88-99.
5. Sapronova S, Tkachenko V., Kramar N., Voron'ko A.. Regularities of shaping of a wheel profile as a result of deterioration of the rolling surface in exploitation. Transport Problems // International Scientific Journal. 2008. №3(4), 47-57.
6. Fomin, O.V., Gostra A.V. Variations describe the structural designs of freight cars // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series Transport systems and technologies. 2015. №26-27. - P.137-147.
7. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., Shvets, A. Spatial vibration of cargo cars in computer modelling with the account of their inertia properties // Mechanika. 2010: Proc. of 15th Internet. Conference. P. 325-328.
8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., Kyril'chuk O. Mathematical modeling of dynamic loading of cassette bearings for freight cars. transport means // Proc. of 21st Intern. Scientific Conference – 2017. P. 973-976.

9. Мороз В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності. // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. Харків., 2009. С. 121 – 131.
10. Кельріх М. Б., Мороз В.І. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганськ. 2014. №. 2. С. 210.
11. Макаренко М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». Київ. 2014. №. 5. С. 107.
12. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. Харків. 2008. С. 72-81.
13. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building // East European journal of advanced technologies. 2012. № 3/7(57). P. 32-35 p.
14. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». Кременчук. 2013. Вип. 6(83). С. 87-91.
15. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності // Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства». Харків. 2015. № 4/1(24). С. 83-89.
16. Ловська А. О. Моделювання навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 2018. Вип. 33. С. 28 – 32.
17. Ловська А. О. Дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі // Зб. наук. праць ДУІТ. Київ. 2018. Вип. 32, Т. 1. С. 71 – 80.
- al'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya [Bulletin Skhidnoukrayins'koho natsional'noho University Vladimir Dal], № 5(235). P. 88-99/
5. Saprionova S, Tkachenko V., Kramar N., Voron'ko A. (2008). Regularities of shaping of a wheel profile as a result of deterioration of the rolling surface in exploitation. Transport Problems. International Scientific Journal, 3(4), 47–57.
6. Fomin, O.V. (2015) Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars]. Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies". 26-27, P. 137-147.
7. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2010). Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties. Mechanika. Proc. of 15th Intern. Conf., 325-328.
8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyril'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
9. Moroz V.I. (2009). Matematychnyy zapys zadachi optymizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noyi materia-loyemnosti [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capac-ity]. Zbirnyk naukovykh prats [Collection of scientific papers]. № 111. P. 121-131.
10. Kelrikh M. B., Moroz V. I. (2010). Struktorno-funktsionalne opysannia konstrukttsii modulja kuzova suchasnykh universalnykh napivvahoniv [The structural and functional design of the module body of modern universal gondola cars]. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia [Bulletin Skhidnoukrayins'koho natsional'noho University Vladimir Dal], 2 (210). P. 94-103.
11. Makarenko M. V. (2014). Kompleksnyi analiz ekonomichnoho efektu vid zhyttievoho tsyклу suchasnoho napivvahonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola], Naukovo-praktychny zhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy». №. 5. – С. 107.
12. Moroz, V.I. (2008). Vyznachennia perspektivnykh napriamkiv udoskonalennia konstrukttsii napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon» [Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE "Ukrspetsvagon"]. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu, 72-81.
13. Fomin, A. V. (2012). The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building. East European journal of advanced technologies. 3/7(57), P. 32-35.
14. Fomin O.V. (2013). Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv [Theoretical foundations of the software complex for the determination and use of mathematical models of freight wagons]. Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremen-chuts'kohonatsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho». 6(83). P. 87-91.
15. Fomin, O. V. (2015). Vprovadzhennya of cruglic pipes in NES systems napowan W zabezpecheny razvaliny pokaznikiv mcnet. The journal "Technology audit and production reserves". № 4/1(24) – P. 83-89.

References

1. Fomin O.V. (2012). Rozrobka metodiki vprovadgennja riznih profiliv v jacosti skladovih elementiv nesuchih system vantazhnykh vagoniv [Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars]. Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI» [Bulletin of Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI»], P.29-33.
2. Kelrykh M., Fomin O. (2014). Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry», 6, 64-67.
3. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. (2016). The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU, Arłamów, 114–126.
4. Fomin O.V., Prokopenko P.M., Horbunov M.I. Saprionova S.YU. (2017). Polipshennya nesuchoyi zdutnosti vahonakhopera dlya perevezennya zerna z metoyu pidvyshchennya oporu dynamichnym zusylyam [Improvement of the carrier capacity of the hopper car to transport the grain in order to increase the resistance by dynamic effort]. Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsion-

16. Lovs'ka A. O. (2018). Modelyuvannya navantazhenosti konteynera-tsysterny pry perevezenni u skladi kombinovanoho poyizda na zaliznychnomu poromi [Simulation of load of tank-container during transportation in the combined train on a railway ferry], Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI» [Bulletin of Nacional'noho tehnicznego universitetu «KHPI»], 33. P. 28 – 32.
17. Lovs'ka A.O. (2018). Doslidzhennya mitsnosti nesuchoyi konstruktsiyi kuzova napivvahona pry perevezenni na zaliznychnomu poromi [Investigation of the durability of the bearing structure of the gondola body during transportation on the railway ferry], Zb. nauk. prats'. DUIT [Collection of scientific works DUIT].32, T. 1. P.71 – 80.

Кельрих М.Б., Брайковська Н.С., Фомин А.В., Прокопенко П.Н. Особенности проведения испытаний вагона-цистерны для перевозки опасных грузов.

За последние годы произошло значительное старение эксплуатации ного парка грузовых вагонов, т.ч. вагонов-цистерн для перевозки особо опасных грузов. В настоящее время на сети железных дорог Украины находятся в эксплуатации вагоны-цистерны со сроком службы превышающий установленный заводом-изготовителем и продлен срок службы. Анализ технического состояния вагонов-цистерн после проведения плановых видов ремонта показывает, что значительная их часть находится в удовлетворительном состоянии. Для решения вопроса о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации с истекшим сроком службы проводится их техническое диагностирование и контрольной испытания

Ключевые слова: вагон-цистерна, ударные испытания, аварийные испытания, повреждения, герметичность, продление срока эксплуатации.

Kelrich M.B., Braykovskaya N.S., Fomin O.V., Prokopenko P.M. Characteristics of tank-cars ation tests for carriage of dangerous cargoes.

In recent years, there has been a significant deterioration in the operation of a freight car fleet, that is, h. wagon-new-tanks for the transport of especially dangerous goods. At present, tank cars with a service life longer than those established by the manufacturer are in operation on the railway network of Ukraine and the service life has been extended. An analysis of the technical condition of tank wagons after carrying out planned types of repair shows that a significant part of them is in a satisfactory condition. To resolve the issue of the possibility of further safe operation with an expired service life, their technical diagnostics and corolary tests are carried out.

Keywords: tank wagon, shock tests, emergency tests, damage, tightness, life extension.

Кельріх М.Б. – д.т.н., професор, кафедра «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій.

Брайковська Н.С. – к.т.н., професор, Директор інституту залізничного транспорту Державний університет інфраструктури та технологій.

Фомін О.В. – д.т.н, доцент, кафедра «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій, E-mail: fomin1985@ukr.net.

Прокопенко П.М. – аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій, E-mail: prokopenko1520mm@gmail.com

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

Стаття подана 04.04.2019

УДК 65.012

МЕТОДИКА ПОПЕРЕДЖЕННЯ, АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТРАХОВИХ ВИПАДКІВ ПІДПРИЄМСТВА-АВТОПЕРЕВІЗНИКА В США

Кічкін О.В., Кічкіна О.І., Водолазський О.О.

METHODS OF WARNING, ANALYZING AND FORECASTING INSURANCE CASES OF A TRUCK CARRIER IN THE USA

Kichkin O.V., Kichkina O.I., Vodolazskiy O.O.

В роботі розроблена методика попередження, аналізу та прогнозування страхових випадків підприємства-автоперевізника. Для цього вирішено задачі попередження виникнення ризиків під час комерційних перевезень, автоматизованого збору інформації про страхові платежі та випадки за рахунок застосування сучасних інформаційних технологій та прогнозування можливих ризиків за допомогою імітаційної моделі динаміки стану підприємства-автоперевізника.

Ключові слова: імітаційна модель, страховий платіж, прогнозування, страховий випадок, підприємство-автоперевізнак.

Вступ. Сучасні комерційні автоперевезення у Сполучених Штатах Америки мають значну ризикову складову. Це обумовлено наявністю реальних ризиків при перевезенні комерційних вантажів автотранспортом. Для вирішення цієї проблеми та реального захисту інтересів автоперевізників, власників вантажу та інших учасників ринку функціонує механізм страхового захисту. Цей механізм включає в себе наступні види ризикового страхування:

- страхування відповідальності власника(орендаря) автотранспорту під час виконання комерційних перевезень;
- страхування відповідальності власника(орендаря) автотранспорту під час некомерційної експлуатації;
- страхування автотранспорту під час виконання комерційних перевезень;
- страхування вантажу під час виконання комерційних автоперевезень;
- страхування нещасного випадку під час експлуатації комерційного автотранспорту.

Аналіз проблеми. Існуючі заходи попередження, аналізу та прогнозування страхових ризиків автоперевізника ґрунтуються на загальних принципах взаємодії страховика та страхувальника, а також

на інформації загального характеру про поточні штрафи та зауваження водіям. Відсутність методичного забезпечення реалізації цих заходів ускладнює, а іноді й унеможлиблює попередження, аналіз та прогнозування страхових ризиків автоперевізника.

Мета роботи. Метою роботи є створення методики попередження, аналізу та прогнозування ризиків автоперевізника.

Основна частина. Для реалізації страхового захисту на підприємстві-автоперевізнику передбачено використання методики попередження, аналізу та прогнозування страхових випадків згідно наведених видів страхування та можливих факторів впливу.

Для реалізації попереджувальних заходів передбачено застосування системи обліку та моніторингу графіка роботи водія на маршруті за допомогою електронної системи KeepTruckin та системи профілактичних занять та випробувальних тестів для водіїв на сайті AVA Safety Department. Обов'язковим при цьому є ведення журналу проходження інструктажу водіями. Використання інформаційної системи Samsara забезпечує в режимі online контроль ситуації на дорозі та температурного режиму вантажів у рефрижераторі. Всі ці заходи підпадають під термін «страхова телематика», яка дозволяє збирати дані про кожного водія, в тому числі про стилі водіння, частоти поїздок та поведінки з авто. На основі цього формується особистий тарифний план страхування. Спеціальне обладнання обробляє показники одометра та спідометра автомобіля, а також вбудованого 3D акселерометра.

Всі аналітичні можливості методики передбачають автоматизований облік страхових платежів, виплат, їх коректний розрахунок та аналіз річного та щомісячного балансу платежів між всіма учасниками страхування.

1	AVA (MUST PAY)	SUM FROM INSURANCE	DRIVERS&PARTNERS	AVA MUST PAY (after)	Premiums for period	Dates
174	391.8110704	391.8110704	13Holland DOWNPAYMENT	0		
175	1172.118887	1172.118887	70Robeliks DOWNPAYMENT	0		
176	1640.190012	1640.190012	122Sergey DOWNPAYMENT	0		
177	875.8134887	875.8134887	7Pavel DOWNPAYMENT	0		
178	6682.171664	6682.171664	Total DOWNPAYMENT(AVA-DRIVERS)	0		
179	14663.08834	14663.08834	VALS DOWNPAYMENT	0		
180	21355.26	21355.26	TOTAL DOWNPAYMENT(AVA&VALS)	0		
181	NEW POLICY 15.09.2018	15.09.2018	15.09.2018	15.09.2018	15.09.2018	15.09.2018
182	1412.258755	1412.258755	5Sidney DOWNPAYMENT	0	Policy#1 Premium - 5233.77	
183	215.5854933	215.5854933	75Holland DOWNPAYMENT	0	Policy#2 Premium - 3716	
184	1416.510556	1416.510556	31Dmar DOWNPAYMENT	0	Policy#3 Premium - 7220.45	
185	1412.258755	1412.258755	70Robeliks DOWNPAYMENT	0		
186	1735.175507	1735.175507	122Sergey DOWNPAYMENT	0		
187	1210.318352	1210.318352	7Pavel DOWNPAYMENT	0		
188	7403.11142	7403.11142	Total DOWNPAYMENT(AVA-DRIVERS)	0		
189	14857.14858	14857.14858	VALS DOWNPAYMENT	0		
190	22260.26	22260.26	TOTAL DOWNPAYMENT(AVA&VALS)	0		
191	NEW POLICY 16.10.2018	16.10.2018	16.10.2018	16.10.2018	16.10.2018	16.10.2018
192	1385.419628	1385.419628	5Sidney DOWNPAYMENT	0	Policy#1 Premium - 4778.50	
193	1385.419628	1385.419628	31Dmar DOWNPAYMENT	0	Policy#2 Premium - 8328	
194	1385.419628	1385.419628	70Robeliks DOWNPAYMENT	0	Policy#3 Premium - 7220.45	
195	1589.47431	1589.47431	122Sergey DOWNPAYMENT	0		
196	5850.052401	5850.052401	Total DOWNPAYMENT(AVA-DRIVERS)	0		
197	14476.9376	14476.9376	VALS DOWNPAYMENT	0		
198	20328.99	20328.99	TOTAL DOWNPAYMENT(AVA&VALS)	0		
199	NEW POLICY 15.11.2018	15.11.2018	15.11.2018	15.11.2018	15.11.2018	15.11.2018
200	1280.841166	1280.841166	5Sidney DOWNPAYMENT	0	Policy#1 Premium - 5233	
201	1285.42635	1285.42635	31Dmar DOWNPAYMENT	0	Policy#2 Premium - 8328	
202	1280.841166	1280.841166	70Robeliks DOWNPAYMENT	0	Policy#3 Premium - 6762.44	

Рис. 1. Результат автоматизованого розрахунку страхових платежів

1	AVA MUST PAY (after)	Premiums for period	Drivers&Partners paid before	Drivers&Partners must pay after	Dates
214	0		0	25358.80359	
215	0		3136.4	38975.59129	
216	15.01.2019	15.01.2019	15.01.2019	15.01.2019	15.01.2019
217	0	Policy#1 Premium - 4801.73	1392	1884.430001	
218	0	Policy#2 Premium - 6940	0	-2608.375715	
219	0	Policy#3 Premium - 8752.44	1392	5019.370586	
220	0		0	17965.64361	
221	0		1392	41048.47106	
222	15.02.2019	15.02.2019	15.02.2019	15.02.2019	15.02.2019
223	0	Policy#1 Premium - 4470.12	1392	1832.963426	
224	0	Policy#2 Premium - 7834	0	-1271.785459	
225	0	Policy#3 Premium - 8752.44	0	1571.90229	
226	0		1392	7876.416539	
227	0		0	32673.16764	
228	0		1392	58513.03106	
229	15.03.2019	15.03.2019	15.03.2019	15.03.2019	15.03.2019
230	0	Policy#1 Premium - 5147.37	0	2857.93107	
231	0	Policy#2 Premium - 8328	8206.66	-5460.688889	
232	0	Policy#3 Premium - 0	603.36	2396.173952	
233	0		5812.02	5436.831435	
234	0		0	42678.09274	
235	0		5812.02	66176.38106	
236	15.04.2019	15.04.2019	15.04.2019	15.04.2019	15.04.2019
237	0	Policy#1 Premium - 4181.19	0	3665.906709	
238	0	Policy#2 Premium - 5552	0	-4858.745136	
239	0	Policy#3 Premium - 0	0	7049.850827	
240	0		8373.370408	42676.09274	
241	0		8373.370408	67789.20046	
242	15.05.2019	15.05.2019	15.05.2019	15.05.2019	15.05.2019

Рис. 2. Результат автоматизованого розрахунку збитковості учасників страхування

Наведений скріншот (рис.1), відображає результат автоматизованого розрахунку платежів між учасниками та баланс платежів за кожний місяць. Важливим є розрахунок збитковості кожного учасника (рис.2).

Логічним завершенням формалізації методики попередження, аналізу та прогнозування страхових випадків підприємств-автоперевізників є імітаційне моделювання динаміки страхового стану підприємства-страхувальника, тобто прогнозування збільшення або зменшення оціночних показників страхової безпеки.

Для цього, спочатку треба визначити методологічні основи побудови такої моделі з урахуванням сучасних досягнень у галузі імітаційного моделювання.

Серед парадигм імітаційного моделювання існує три основні :

- Дискретно-подійне моделювання
- Системна динаміка
- Агентне моделювання

Виходячи з проблем, які перед нами стоять, ми можемо зосередитися на останній парадигмі.

Агентні моделі дозволяють отримати уявлення про загальну поведінку системи, виходячи з припущень про поведінку її елементів, за відсутності знання про глобальні закони – тобто в самому загальному випадку. [1]

Завдання полягає в тому, щоб дізнатися про стан справ на підприємстві в цілому по діям окремих його робітників, які можуть призвести до страхового випадку.

Тому створення агентної імітаційної моделі, де агенти-співробітники взаємодіють з агентом-підприємством, і в той же час є частиною агента-підприємства, виявляється найбільш адекватним втіленням реально існуючої системи безпеки діяльності підприємстві.

Маючи таке завдання, нескладно знайти інструмент його вирішення. AnyLogic™ є єдиним інструментом моделювання, що дозволяє швидко створювати гнучкі моделі з агентами, взаємодіючи-

ми як один з одним, так і з своїм оточенням. AnyLogic™ підтримує всі можливі засоби завдання поведінки агентів – діаграми станів (стейтчарти), синхронне і асинхронне планування подій [2].

В моделі передбачені наступні класи (типи) сутностей:

- Виробничі площі, де розміщено підприємство-автоперевізник.
- Підприємства-автоперевізники, де можуть відбуватися страхові випадки.
- Побутові умови, де існують водії.
- Транспортні комунікації, які використовує підприємство.
- В моделі існує декілька активних об'єктів:
- Person - водій з певним рівнем професійної кваліфікації, віком, рівнем здоров'я та побутового комфорту.
- Transport - транспортні засоби підприємства.

– Enterprise – підприємства, які сплачують страхові внески за працівників, мають певний рівень безпеки для працюючих і зацікавлені в її підвищенні на матеріальному рівні.

Пасивними в моделі є об'єкти:

- Household – побутові умови з певним рівнем комфорту.
- Zone – площі, де розміщені підприємства-автоперевізники, що мають свій особистий рівень безпеки для людей.
- Model – загальне модельне середовище.

Використовуючи конструкції UML можна збудувати основні стейтчати нашої моделі.

Стейтчат Person, представлений на рис. 3 характеризує певні стани водія:

- Waiting – нормальний стан
- Recovery – втрата працездатності
- Extreme – перехідний стані.

В нормальному стані водій може підвищувати свій професійний рівень, працювати з дотриманням техніки безпеки, його задовольняють побутові умови.

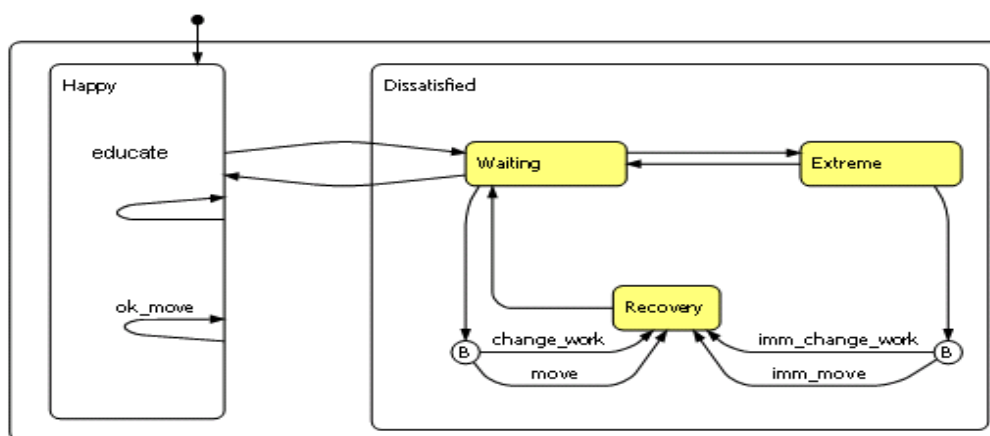


Рис. 3. Стейтчат Person

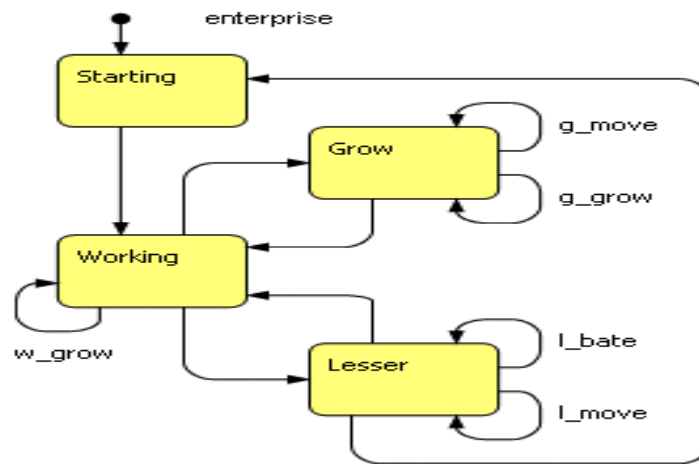


Рис. 4. Стейтчат Enterprise

В перехідному стані не виконується одна з складових нормального стану

Recovery – стан, в якому водій починає втрачати професійні навички, дотримуватися правил техніки безпеки, що призводить до нещасних та страхових випадків на виробництві, якщо відбувається перехід із стану Extreme. Якщо перехід відбувається із стану Waiting, то це призводить лише до втрати роботи, при чому в даному випадку можливе повернення в стан Waiting в разі зміни місця роботи або професії.

Наступний стейтчат Enterprise – характеризує стратегію поведінки підприємства-автоперевізника. (рис. 4)

Цей стейтчат відображає динаміку існування підприємства-автоперевізника, яке після початку роботи знаходиться у стані Working. При у цьому стані воно може вкладати ресурс в підвищення рівня кваліфікації водіїв, а також у засоби безпеки праці, що призводить до переходу у стан Grow. Якщо ж ріст підприємства падає, то ці показники зменшуються і це призводить до стану Lesser.

Збуджувальні фактори моделі мають кількісний вигляд і формуються або в аналітичному блоці інформаційної системи підприємства (доречі AnyLogic TM передбачає можливість підключення MS Access як джерела даних), або формуються експертами. Якщо експерт добре знає підприємство зсередини, то йому не важко виділити саме ті чинники, які найбільше впливають на процеси підвищення небезпеки бізнесу автоперевезень (включаючи помилки менеджменту), зіставити цим чинникам кількісні показники.

Висновки. Важливість попереджувальних та профілактичних заходів в комерційному автострахуванні закріплена нормативно та законодавчо. Розроблена методика дозволяє удосконалити та автоматизувати цю роботу. Успіх аналітичного блоку методики полягає в тому, як глибоко ми розуміємо особливості роботи окремого автоперевізника, а також в тому, як ми співвідносимо підприємство з бізнесом та ризиками, які його супроводжують.

Крім іншого, важливим підсумком є те, що ця методика є досить гнучким засобом аналізу. На практиці це означає, що експерт має можливість, в міру своєї обізнаності про стан справ на підприємстві автоперевізника, зробити дієву оцінку маючи „під рукою” лише аналітичний блок методики. А вже спрогнозувати стан справ на підприємстві автоперевізника в досить великій перспективі буде можливо за допомогою наведеної імітаційної моделі. До того ж, саме агентна парадигма дозволяє зробити імітацію страхового стану підприємства-автоперевізника найбільш адекватною реальним умовам. Наведена методика розроблена на базі компанії AVA Carrier LLC(США).

Література

1. Ю.Г.Карпов Имитационное моделирование систем // С-Петербург-БХВ-Петербург-2006
2. А.В. Борщев Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика// Exponenta Pro,N3-4,2004
3. Р. Шеннон Имитационное моделирование. Теория и технология // СПб.: КОРОНА принт, 2004.-384с.

References

1. Y.G.Karpov Imitatsionnoe modelirovanie sistem // S-Peterburg-BHV-Peterburg-2006
2. A.V. Borschev Prakticheskoe agentnoe modelirovanie i ego mesto v arsenale analitika// Exponenta Pro,N3-4,2004
3. R. Shennon Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i tehnologiya // SPb.: KORONA print, 2004.-384s.

Кичкин А.В., Кичкина Е.И., Водолазский А.А. Методика предупреждения, анализа и прогнозирования страховых случаев предприятия-автоперевозчика в США

В работе разработана методика предупреждения, анализа и прогнозирования страховых случаев предприятия-автоперевозчика. Для этого решены задачи предупреждения возникновения рисков при коммерческих перевозках, автоматизированного сбора и анализа информации о страховых платежах и событиях за счет применения современных информационных технологий и прогно-

зирования возможных рисков с помощью имитационной модели динамики состояния предприятия-автоперевозчика.

Ключевые слова: имитационная модель, страховой платеж, прогнозирование, страховой случай, предприятие-автоперевозчик.

Kichkin O.V., Kichkina O.I., Vodolazskiy O.O.
Methods of warning, analyzing and forecasting insurance cases of a truck carrier in the USA

In work the technique of the prevention, the analysis and forecasting of insurance cases of the enterprise-autocarrier is developed. To this end, the tasks of preventing the occurrence of risks in commercial shipments, automated collection and analysis of information on insurance payments and events through the use of modern information technologies and fore-

casting possible risks using a simulation model of the dynamics of the state of the carrier company have been solved.

Keywords: imitation model, insurance payment, forecasting, insurance case, company-carrier.

Кічкін О.В. – ст. викладач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім.В.Даля, e-mail: kichkin@ukr.net

Кічкіна О.І. – к.т.н., доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім.В.Даля, e-mail: ki4kinaoi@ukr.net

Водолазський О.О. – ст. викладач кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті СНУ ім.В.Даля, e-mail: vodolazskiy@ukr.net

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

Стаття подана 22.03.2019

УДК 65.012

**НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ – ОСНОВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ
ТЕМПЕРАТУРОЮ В РЕФРИЖЕРАТОРНИХ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ****Кічкін О.В., Кічкіна О.І.****FUZZY MODELING - THE BASIS OF INTELLECTUAL TEMPERATURE
CONTROL IN REFRIGERATOR VEHICLES****Kichkin A.V., Kichkina O.I**

В роботі розроблена інтелектуальна система управління температурою в рефрижераторних автотранспортних засобах. Для цього вирішено задачу автоматизованого збору інформації про температурні параметри вантажів за рахунок застосування сучасних інформаційних технологій для подальшої статистичної адаптації ("машиного навчання") нечіткої моделі управління режимами температури в рефрижераторних автотранспортних засобах. Застосування інформаційних технологій і, зокрема, технології RFID спільно з нечітким моделюванням параметрів температури в рефрижераторних автотранспортних засобах забезпечило ефективне управління температурними показниками вантажів, що перевозяться.

Ключові слова: рефрижераторні автотранспортні засоби, нечітке моделювання, обладнання RFID, управління температурою, адаптація моделі.

Вступ. Найбільш активним напрямом удосконалення рефрижераторних автотранспортних засобів є системи управління роботою холодильного та ізотермічного обладнання. При цьому слід відзначити, що подібні системи розвиваються у двох напрямках – автономному та дистанційному. Автономні системи управління рефрижераторних транспортних засобів передбачають наявність в конструкції комп'ютера (мікропроцесора), системи датчиків та сервомеханізмів, які реалізують управління температурою в середині кузова під контролем водія. Дистанційні системи реалізують ті самі функції під контролем менеджера офісу, що передбачає наявність спеціального програмного забезпечення, обладнання та надійних каналів зв'язку.

Слід відзначити перевагу дистанційних систем управління роботою холодильного та ізотермічного обладнання, які знімають з водія непритаманні функції візуального контролю за роботою цього обладнання. Але обидва різновиди систем управління є системами підтримки прийняття рішень, де кінцеве рішення та, як наслідок, і результат залежать

від професійних якостей та фізичного стану людини, яка це рішення приймає.

Актуальність. Актуальним є створення автономної автоматизованої системи управління роботою холодильного та ізотермічного обладнання без участі людини, але з її інтелектуальними можливостями. Що стосується інтелектуальної складової автоматизованої системи управління роботою холодильного та ізотермічного обладнання рефрижераторних автотранспортних засобів, то важливим удосконаленням є створення та практична реалізація на серійному обладнанні алгоритмів та відповідного програмного забезпечення, яке реалізує зворотній зв'язок у напрямку контролю температурного стану вантажу з можливістю самонавчання системи в реальних умовах перевезень різновидів вантажів.

Мета роботи - створення інтелектуальної автоматизованої системи управління температурою перевезення вантажів у рефрижераторних автотранспортних засобах.

Постановка проблеми. Реалізація поставленої мети вимагала вирішення наступних основних задач:

- створення технологічного рішення, яке дозволило здійснювати процес управління температурними режимами рефрижераторних автотранспортних засобів без участі людини, що зменшило ризик помилок людини та, як наслідок, втрат і псування вантажів;

- створення та реалізацію інтелектуальної автоматизованої системи контролю температурних станів вантажу та кузова рефрижераторного автотранспортного засобу з можливістю самонавчання системи в реальних умовах перевезень різновидів вантажів.

Результати дослідження. Можливість реалізації технології автоматизованого контролю температури рефрижераторних автотранспортних за-

собів без участі людини виникає завдяки використанню серійного обладнання RFID та розробці відповідного програмного забезпечення, яке з ним працює. Для цього вантаж оснащується міткою RFID, яка містить дані про температурні режими перевезення цього вантажу. Для отримання цієї інформації рефрижераторний автотранспортний засіб оснащується також рідером RFID, який в автоматичному режимі зчитує дані з RFID-мітки вантажу та передає їх до бортового комп'ютеру транспортного засобу (як правило, це android-прилад).

Формування вантажної RFID-мітки відбувається за допомогою програмного забезпечення для створення вантажних товарно-транспортних документів, які оснащуються такою ж температурною RFID-міткою. Наявність на борту транспортного засобу електронних даних про температурні режими перевезення вантажу дозволяє програмним способом виставити температурний режим рефрижераторного автотранспортного засобу без участі людини та здійснювати постійний моніторинг температури в процесі перевезення даного вантажу в автоматизованому режимі.

Реалізація інтелектуальної автоматизованої системи контролю температурних станів вантажу та кузова рефрижераторного автотранспортного засобу з можливістю самонавчання системи в реальних умовах перевезень різновидів вантажів передбачала використання RFID-міток вантажу та RFID-міток в середині кузова, які оснащені температурними датчиками для постійного моніторингу та фіксації температури (наприклад, DATS-612T) з формуванням відповідного електронного архіву (файла температурних станів конкретного різновиду вантажу в бортовому комп'ютері конкретного автотранспортного засобу-рефрижератора).

Інтелектуальна складова автоматизованої системи контролю температурних станів вантажу та кузова рефрижераторного автотранспортного засобу з можливістю самонавчання системи в реальних умовах перевезень різновидів вантажів передбачала створення математичної нейро-нечіткої моделі в середовищі MathLab Fuzzy Logic ToolBox з її програмною реалізацією на бортовому комп'ютері рефрижераторного автотранспортного засобу.

Нейро-нечіткому моделюванню підлягав критичний час роботи рефрижератора, необхідний для створення або підтримки певної температури різновиду вантажу. Вхідними змінними моделі є початкові температури вантажу, в середині кузова рефрижератора, маса вантажу, об'єм кузова рефрижератора, необхідна температура вантажу. При цьому необхідна температура та маса вантажу мають бути записані в RFID-мітку вантажу, а початкові температури вантажу та в кузові авторефрижератора вимірюються існуючим обладнанням. Об'єм кузова авторефрижератора залежить від конкретної моделі автотранспортного засобу. Важливим є те, що всі конструктивні зміни, пов'язані з встановленням необхідного обладнання відбуваються без стороннь-

ої участі та стосуються всіх існуючих моделей авторефрижераторів.

З метою параметризації розглянемо зв'язок вхідних та вихідних змінних моделі контролю часу корисної роботи рефрижератора. Наведемо перелік вхідних нечітких змінних:

X_1 - температура в кузові рефрижератора (еталонна),

X_2 - температура вантажу (еталонна),

X_3 - об'єм кузова рефрижератора,

X_4 - температура в кузові рефрижератора (поточна),

X_5 - температура вантажу (поточна),

X_6 - маса вантажу,

При цьому вихідна нечітка змінна:

Y_1 - час корисної роботи рефрижератора для досягнення еталонної температури в кузові авторефрижератора,

При цьому вважається, що всі нечіткі змінні є лінгвістичними змінними з такими терм-інтервалами:

$\{Y_j\}$ - множина терм-інтервалів змінної Y ,

$\{X_{ij}\}$ - множина терм-інтервалів змінної X_i

$i = \overline{1,6}, j = \overline{1,8}$, де

i - кількість вхідних змінних моделі,

j - кількість терм-інтервалів відповідної змінної.

З урахуванням наведених змінних та їх зв'язків між собою у моделі контролю температури рефрижератора розглянемо наступну функцію $\varphi(x)$, яка узагальнює процес контролю:

$$Y = \varphi(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6)$$

Використаємо підхід до генерації множини правил, виходячи з можливих поєднань нечітких висловів в передумовах і висновках правил.

Оскільки спочатку сформована база правил напевно є надмірною — з однаковими передумовами та різними висновками, то набір правил необхідно оптимізувати. Зробити це можливо шляхом адаптації до наявних еталонних даних (навчальної вибірки), що призводить до істотного зменшення та до ліквідації суперечності правил, що залишаються в базі. Для створення бази правил нечіткого логічного виводу, які складають основу бази знань системи контролю температури авторефрижератора, необхідно побудувати логічні висловлювання взаємозв'язків вхідних та вихідних лінгвістичних змінних наступного вигляду, маючи на меті лише ті вхідні змінні, що безпосередньо забезпечують процес контролю температури:

$$\begin{aligned} & \text{ЯКЩО}(X_1 = X_{1j}) \text{ТА}(X_2 = X_{2j}) \text{ТА}(X_3 = X_{3j}) \text{ТА}(X_4 = X_{4j}) \\ & \text{ТА}(X_5 = X_{5j}) \text{ТА}(X_6 = X_{6j}) \text{ТО ДІ}(Y = Y_j) \end{aligned}$$

Подальші дії спрямовані на створення логічних висловлювань та матриць знань, що їх об'єднують. За допомогою цих висловлювань стає можливим деталізувати формалізацію за допомогою функції $\varphi(x)$:

- система нечітких логічних рівнянь, що відтворює залежність між відповідними значеннями терм-інтервалів вхідних змінних та вихідної змінної (залежність $Y = \varphi(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$) - має наступний вигляд:

$$\mu_{mfn}^Y = \bigvee_{j=1 \div 8} V \left(\bigwedge_{i=1}^6 \mu_{mfi}^{X_i} \right), \text{ де } n = 1 \div 8,$$

Дефазифікація вихідної нечіткої змінної значень часу роботи рефрижератора $\tilde{Y}$ виконана методом центру тяжіння за формулою:

$$\tilde{Y} = \frac{\int_1^N y_n m f_j^Y(y_n) dy}{\int_1^N m f_j^Y(y_n) dy},$$

де N - діапазон значень відповідного часу роботи рефрижератора в Y , а $j = 1 \div 8$ - кількість терм-інтервалів значень нечіткої змінної.

Дефазифікація вхідних нечітких змінних параметрів температури, вантажу та об'єму кузова рефрижератора $\tilde{X}_i$ виконана методом центру тяжіння за формулою:

$$\tilde{X}_i = \frac{\int_1^N x_n m f_j^{X_i}(x_n) dx}{\int_1^N m f_j^{X_i}(x_n) dx}$$

де N - діапазон значень відповідного параметру вантажу або рефрижератора в X_i , а $j = 1 \div 8$ - кількість терм-інтервалів значень нечіткої змінної та кількість відповідних параметрів вантажу та навантажувача $i = 1 \div 6$.

Деталізуємо далі відповідні нечіткі змінні за допомогою терм-інтервалів та побудуємо для них функції належності.

Для цього визначимо експертно-статистичну таблицю, яка є результатом опитування експертів по шкалі від 1 до 16, що займаються проблемою експлуатації автомобільних рефрижераторів.

Наведене опитування зведене в таблиці, що відповідають одному вихідному та 6-ти вхідним показникам.

Відповідні таблиці [2] зводяться до рядка, визначеного наступним чином:

$$k_j = \sum_{i=1}^8 b_{ij}, j = \overline{1, 16}.$$

Вибравши максимальний елемент:

$$k_{\max} = \max k_j,$$

перетворимо всі b_{ij} у c_{ij} за формулою:

$$c_{ij} = \frac{b_{ij} k_{\max}}{k_j}, \text{ де } i = \overline{1, 8}, j = \overline{1, 16}.$$

Функції належності, які відповідають етапу фазифікації змінних моделі контролю температури авторефрижератора, можливо визначити наступним чином:

$$\mu_{ij} = \frac{c_{ij}}{c_{i \max}},$$

де $c_{i \max} = \max c_{ij}, i = \overline{1, 8}, j = \overline{1, 16}.$

При цьому результати розрахунків функцій належності зведено в таблицях.

Графічний вигляд кусково-лінійних функцій належності нечітких змінних моделі за результатами розрахунків (Додаток Б) наступний (рис. 1).

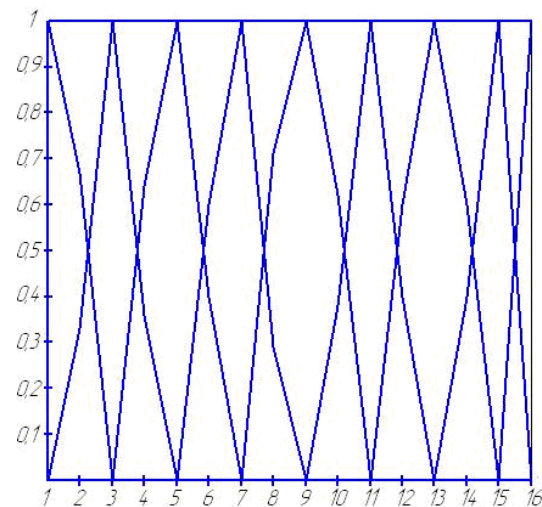


Рис. 1. Графічний вигляд функцій належності нечітких змінних за результатами розрахунків

Їх загальний вигляд свідчить про трикутну форму функцій належності відповідних змінних.

Створення трикутних функцій належності нечітких терм-інтервалів універсальної множини U відбувається за допомогою наступних функціональних виразів [1]:

$$\mu_j(U) = 1 - \frac{1}{K_i - 1} U, U \in [0, K_i - 1], j = 1$$

$$\mu_j(U) = \frac{1}{j - 1} U, U \in [0, j - 1], j = \overline{2, K_i - 1}$$

$$\mu_j(U) = \frac{K_i - 1}{K_i - j} - \frac{1}{K_i - j} U, U \in [j - 1, K_i - 1], j = \overline{2, K_i - 1}$$

$$\mu_j(U) = \frac{1}{K_i - 1} U, U \in [0, K_i - 1], j = K_i$$

Аналітичні вирази функцій належності апроксимованих з кусково-лінійних функцій належності, наведених розрахунково у таблицях (Додаток Б) та графічно на рис.1 мають наступний вигляд при наявності у нашій задачі моделі контролю температури авторефрижератора вісьмох термів у вхідних та вихідних нечітких змінних :

$$\mu_1(U) = 1 - \frac{1}{7} U, U \in [0, 7]$$

$$\mu_2(U) = U, U \in [0, 1]$$

$$\mu_2(U) = \frac{7}{6} - \frac{1}{6} U, U \in [1, 7]$$

$$\mu_3(U) = \frac{1}{2} U, U \in [0, 2]$$

$$\mu_3(U) = \frac{7}{5} - \frac{1}{5} U, U \in [2, 7]$$

$$\mu_4(U) = \frac{1}{3} U, U \in [0, 3]$$

$$\mu_4(U) = \frac{7}{4} - \frac{1}{4} U, U \in [3, 7]$$

$$\mu_5(U) = \frac{1}{4} U, U \in [0, 4]$$

$$\mu_5(U) = \frac{7}{3} - \frac{1}{3} U, U \in [4, 7]$$

$$\mu_6(U) = \frac{1}{5} U, U \in [0, 5]$$

$$\mu_6(U) = \frac{7}{2} - \frac{1}{2} U, U \in [5, 7]$$

$$\mu_7(U) = \frac{1}{6} U, U \in [0, 6]$$

$$\mu_7(U) = 7 - U, U \in [6, 7]$$

$$\mu_8(U) = \frac{1}{7} U, U \in [0, 7]$$

Побудова нечіткої моделі контролю температури авторефрижератора на мінімум вісьмох терм-інтервалах нечітких змінних обумовлена необхідністю найточнішого моделювання температурних режимів роботи авторефрижератора.

Треба відзначити, що в процесі реалізації цієї задачі було висунуто декілька попередніх умов:

- модель логічного виведення – це модель Мамдані [3], що відповідає вимогам нашої задачі;
- вхідні та вихідні нечіткі логічні змінні мають трикутну форму функцій належності, що

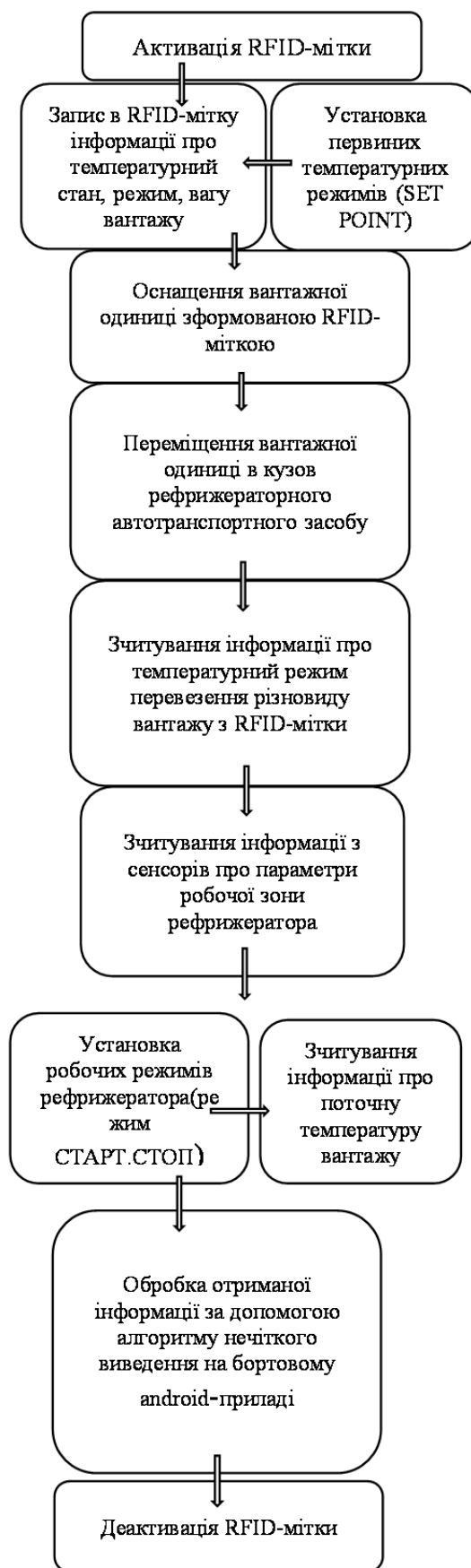


Рис. 2. Блок-схема інтелектуальної автоматизованої системи управління температурою в рефрижераторних автотранспортних засобах

відповідає наведеним вище розрахункам цих функцій на основі експертних даних;

– кількість терм-інтервалів відповідних змінних дорівнює мінімум вісьмом;

– відповідні терм-інтервали нечітких логічних змінних є елементом моделювання і можуть змінюватися в залежності від моделі рефрижератора та визначеної кількості терм-інтервалів.

Загальна функціональна блок-схема інтелектуальної автоматизованої системи управління температурою в рефрижераторних автотранспортних засобах має наступний вигляд.

Висновки. Результатом побудови системи нечітких рівнянь, які складають математичний сенс досліджуваної задачі, було створення на їх основі продукційної моделі контролю температури в рефрижераторних автотранспортних засобах. Адаптація продукційної моделі контролю температури зроблена для моделі рефрижератора Thermo King SLXe 300 з метою удосконалення створеної моделі до реальних умов експлуатації використанням адаптивного нейромережевого виведення (ANFIS). Створена модель складає основу реалізації інтелектуальної автоматизованої системи управління температурою в рефрижераторних автотранспортних засобах.

Л і т е р а т у р а

1. Сявавко М. С. Інтелектуалізована інформаційна система «Нечіткий експерт» / М. С. Сявавко // - Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2007. – 320с.
2. Saaty T. L. Measurement the fuzziness of sets // J. of cybernetics. -1974.-No4.- P. 53-61.
3. Mamdani E. H. Applications of Fuzzy algorithms for control of Simple Dynamic Plant, Proceedings of IEE / E. H. Mamdani // w. 121, pp. 1585-1588, 1974. – 256 p.
4. Алиев Р. А. Интеллектуальные роботы с нечеткими базами знаний / Р. А. Алиев // -М: Радио и связь. 1994. – 178 с.
5. Horikawa S. A study on fuzzy modeling using fuzzy neural networks / S. Horikawa, T. Furuhashi, Y. Uchikawa, T. Tagawa // IFES 1991, 562-573.
6. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании. Полное руководство пользователя / В. П. Дьяконов // -М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 576 с
7. <http://www.holod-avto.ru/service/instruktiontermoking.html>

R e f e r e n c e s

1. Syavavko M. S. Intelktualizovan iinformatsiyna system "Nechitsky expert" / M. S. Syavavko // - Vidavnychy center LNU im. Ivan Franka, 2007. - 320 p.
2. Saaty T.L. Measurement the fuzziness of sets // J. of cybernetics. -1974.-No4.- p. 53-61.
3. Mamdani E. H. Applications of the IEE / E. H. Mamdani // w. 121, pp. 1585-1588, 1974. - 256 p.
4. Aliyev R. A. Intelligent robots with fuzzy knowledge bases / R. A. Aliyev // -M: Radio and communication. 1994. - 178 s.

5. Horikawa S. A study on fuzzy modeling using fuzzy neural networks / S. Horikawa, T. Furuhashi, Y. Uchikawa, T. Tagawa // IFES 1991, 562-573.
6. Dyakonov V.P. MATLAB 6 / 6.1 / 6.5 + Simulink 4/5 in mathematics and modeling. The complete user manual / V. P. Dyakonov // -M.: SOLON-Press, 2003. - 576 p.
7. <http://www.holod-avto.ru/service/instruktiontermoking.html>

Кичкин А.В., Кичкина Е.И. Нечеткое моделирование - основа интеллектуального управления температурой в рефрижераторных автотранспортных средствах

В работе разработана интеллектуальная система управления температурой в рефрижераторных автомобилях. Для этого решена задача автоматизированного сбора информации про температурные параметры грузов за счет применения современных информационных технологий для дальнейшей статистической адаптации ("машинного обучения") нечеткой модели управления режимами температуры в рефрижераторных автомобилях. Применение информационных технологий и, в частности, технологии RFID совместно с нечетким моделированием параметров температуры в рефрижераторных автомобилях обеспечило эффективное управление температурными показателями перевозимых грузов.

Ключевые слова: рефрижераторные автотранспортные средства, нечеткое моделирование, оборудование RFID, управление температурой, адаптация модели

Kichkin A.V., Kichkina O.I. Fuzzy modeling – the basis of intellectual temperature control in refrigerator vehicles

An intellectual temperature control system for refrigerated vehicles is developed in the article. To do this, the task of automated collection of information on temperature parameters of cargoes was solved by the use of modern information technologies for further statistical adaptation ("machine learning") of a fuzzy model of temperature control regimes in refrigerated vehicles. The use of information technology and, in particular, RFID technology combined with fuzzy simulation of temperature parameters in refrigerated vehicles provided efficient control of the temperature indices of transported cargoes.

Keywords: refrigerated vehicles, fuzzy modeling, RFID equipment, temperature control, adaptation of the model.

Кічкін О.В. – ст. викладач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім.В.Даля, e-mail: kichkin@ukr.net

Кічкіна О.І. – к.т.н., доц. кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім.В.Даля, e-mail: ki4kinaoi@ukr.net

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

Стаття подана 10.04.2019

УДК 656.612:629.563.82

ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ СУДЕН ПОСТАЧАННЯ МОРСЬКИХ БУРОВИХ ПЛАТФОРМ І ОРГАНІЗАЦІЯ ЇХ РОБОТИ

Кравченко О.А.

JUSTIFICATION OF THE OPTIMAL STRUCTURE OF VESSELS SUPPLYING MARINE DRILLING PLATFORMS AND THE ORGANIZATION OF THEIR WORK

Kravchenko O.A.

У статті запропоновано модель та супутні їй методичні положення щодо обґрунтування структури суден постачання і організації їх роботи. Розроблена математична модель враховує вантажопідйомність суден, варіанти обходу платформ і попит на транспортне забезпечення платформ. А також враховує специфіку впливу погодних умов на роботу спеціалізованих суден, що забезпечує відповідність отриманих результатів реальним умовам їх роботи. Дозволяє забезпечити мінімізацію транспортних витрат на обслуговування платформ спеціалізованими суднами.

Ключові слова: спеціалізовані судна постачання, транспортне забезпечення платформ, варіанти маршрутів, бюджет часу, несприятливі погодні умови.

Вступ. У процесі організації обслуговування видобувних платформ одним із важливих завдань є визначення кількісного і якісного складу спеціалізованих суден постачання, а також планування графіка обслуговування. Під графіком обслуговування розуміється чітка ідентифікація того, яке судно, в який проміжок часу, який вид робіт виконує.

При цьому під зазначеним обслуговуванням розуміється постачання платформ необхідним обладнанням, будматеріалами, продуктами і та ін., а також прийом і доставка на берег несправного обладнання, порожньої тари і тому подібне. Зазначена задача може бути формалізована за використанням методів дослідження операцій і, зокрема, лінійного програмування.

Слід зазначити, що до цієї проблеми зверталися окремі дослідники, наприклад, [1-5], які пропонували моделі різного типу для планування роботи спеціалізованих суден, при обслуговуванні платформ. Пропоновані підходи, зокрема, в [1, 2, 5] враховували специфіку роботи окремих компаній і два варіанти тривалості рейсів - 1 і 2 робочих дня. Таким чином, зазначені розробки є вузькоспеціалізовані, орієнтовані на конкретну виробничу ситуацію.

Проте, існуючі розробки можуть бути вдосконалені, шляхом врахування чинників, які не розглядалися в існуючих роботах. Це дозволить отримати результати, які в більшій мірі відповідають реальній ситуації і умовам роботи спеціалізованих суден. А, отже, це надасть особам, котрі приймають рішення щодо організації роботи спеціалізованих суден, враховувати більше факторів, для отримання достовірних результатів.

Мета статті. Таким чином, метою даного дослідження є розробка математичної моделі та методичних положень, що дозволяють обґрунтовувати структуру суден постачання і планувати роботу спеціалізованих суден.

Виклад основного матеріалу дослідження. У даній роботі в якості теоретичної бази використовувалися розробки [1], розвиток яких орієнтовано на досягнення поставленої мети дослідження.

З безлічі доступних і придатних за характеристиками спеціалізованих суден повинен бути сформований флот, обслуговуючий видобувні платформи, тобто бере участь в якості транспортної підсистеми в системі постачання платформ.

В роботах [6, 7, 8] було проаналізовано структуру і визначено специфіку параметрів різних варіантів маршрутів обходу спеціалізованими суднами видобувних платформ (на прикладі трьох платформ). Кожен варіант принципово відрізняється:

- кількістю платформ, які «відвідуються» спеціалізованими суднами (тільки одна або більше);
- «напрямок» обслуговування - прийом (збір), постачання (розвезення) і змішаний варіант.

Розглядається період планування T , який розбивається на тимчасові періоди (наприклад, місяці). Таким чином, вводимо в розгляд індекс часу $t = 1, \overline{T}$.

Кількість варіантів залежить, перш за все, від кількості платформ для обслуговування. Нехай роз-

глядається P платформ. Введемо в розгляд індекс платформ $p = \overline{1, P}$.

Кожній платформі відповідає певний попит на завезення / вивезення вантажів від бази / до бази. Позначимо дані види попиту в кожний виділений проміжок часу $t = \overline{1, T}$ відповідно Q_t^P , $Q_t'^P$.

При цьому будемо вважати, що дані величини вже враховують різномірність вантажу з точки зору транспортної характеристики - питомо-навантажувального обсягу.

Таким чином Q_t^P , $Q_t'^P$ є порівнянними з точки зору завантаження суден.

Нехай в результаті попереднього аналізу були визначені n можливих варіантів роботи суден по обслуговуванню платформ.

І нехай відібрані m варіантів спеціалізованих суден постачання. Під варіантом розуміється судно з конкретними техніко-експлуатаційними та економічними характеристиками. Кожне судно $j = \overline{1, m}$ характеризується:

- бюджетом часу, котрий приймається $T_j = T$,
- експлуатаційною швидкістю V_j ,
- вантажопідйомністю D_j ,
- добовими експлуатаційними витратами на ходу R_j^X і на стоянці R_j^{cm} ,
- а також добовою ставкою R_j^{mc} тайм-чартера.

Відзначимо, що бюджет часу суден, введений в розгляд вище, не враховує «реальний» можливий час роботи суден, а лише відображає час, протягом якого судно знаходиться в розпорядженні судновласника або організації, яка обслуговує платформи (наприклад, добувної компанії). На практиці, спеціалізовані судна можуть працювати тільки певну частину даного часу. При цьому важливим при плануванні є наявність змін і інших специфік роботи суден, що повинно знайти відображення в відкоректованому значенні бюджету часу суден, використовуюваного, безпосередньо, для роботи.

Таким чином, з урахуванням всього вищесказаного можуть бути оцінені значення бюджету часу суден $T_t'^j$ для кожного проміжку часу t і кожного судна j .

Характеристики кожного варіанта роботи спеціалізованих суден залежать від параметрів судна, яке за цим варіантом буде працювати, і, власне, самих характеристик варіанту (відстаней між платформами і базою, відстанню між платформами).

Відповідно, кожен варіант $i = \overline{1, n}$ для конкретного судна характеризується певним часом рейсу t_j^i , яке визначається як сума складових елементів часу роботи спеціалізованих суден (див. вище):

$$t_j^i = t_{xj}^i + t_{cmj}^i. \quad (1)$$

При цьому витрати на виконання роботи по кожному варіанту $i = \overline{1, n}$ для кожного судна $j = \overline{1, m}$:

$$r_j^i = r_{xj}^i + r_{cmj}^i \quad (2)$$

визначаються нормативами витрат по суднах на ходу і стоянці. При цьому вважаємо, що час стоянки t_{cmj}^i , який визначається, перш за все, обсягом вантажів, що пред'являються до завантаження / розвантаження, розраховується виходячи з повного завантаження суден в напрямку від бази D_j і сумарною кількістю вантажу в зворотному напрямку (від платформ до бази) $k_3 \cdot D_j$, де $0 \leq k_3 \leq 1$ - коефіцієнт, який визначається на базі статистичної інформації, виходячи зі співвідношення:

$$k_3 = \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P Q_t'^P}{\sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P Q_t^P}, \quad (3)$$

де $\sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P Q_t'^P$, $\sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P Q_t^P$, відповідно, обсяг попиту (сумарний) на перевезення вантажів від бази до платформ за період T , і від платформ (сумарно) до бази за цей же період.

Як правило,

$$\sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P Q_t'^P < \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P Q_t^P, \quad (4)$$

тобто обсяг попиту на перевезення від бази до платформ більше, ніж у зворотному напрямку. Це пояснюється специфікою роботи видобувних платформ.

Таким чином, k_3 дозволяє врахувати нерівномірність завантаження суден в напрямках від бази - до бази при плануванні тимчасових і витратних параметрів.

З урахуванням того, що на даному етапі планування практично неможливо володіти інформацією про конкретний обсяг вантажів, які потребують розвезення / збору з кожної платформи на рівні конкретного рейсу спеціалізованого судна, то в подальшому будемо оперувати усередненими значеннями попиту на перевезення до / від платформи, які були введені в розгляд раніше.

Таким чином, в результаті попередніх досліджень отримана необхідна інформація для формування моделі за визначенням структури флоту і фо-

рмування плану-графіка роботи спеціалізованих суден по обслуговуванню платформ.

Введемо в розгляд бінарний параметр:

$$A_i^p = \begin{cases} 1, p \in \Omega_i \\ 0, p \notin \Omega_i \end{cases}, \quad (5)$$

$$i = \overline{1, n}, p = \overline{1, P}$$

де Ω_i - безліч платформ, що входять в i -ий варіант роботи суден.

Таким чином A_i^p приймає значення 1, якщо платформа p входить в варіант роботи суден i . В іншому випадку A_i^p приймає значення 0. Введення даного бінарного параметра необхідний для обліку в моделі участі тієї чи іншої платформи в варіанті роботи суден для дотримання, перш за все, обмеження щодо попиту для кожної платформи в кожен проміжок часу t .

Введемо в розгляд параметри управління моделі:

- $v_j \in Z^+ \cup 0, j = \overline{1, m}$ - змінна, яка відповідає за вибір того чи іншого типу судна для тайм-чартерної оренди для подальшої роботи з обслуговування платформ;

- $v_{jt}^i \in Z^+ \cup 0, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, t = \overline{1, T}$ - змінна, яка відповідає за закріплення судна типу j за варіантом роботи i в проміжок часу t і відображає кількість таких рейсів.

Перша група параметрів управління визначає структуру спеціалізованих суден постачання, друга - план роботи суден.

Цільова функція оптимізаційної моделі відображає природне прагнення осіб, котрі приймають рішення, забезпечити мінімізацію витрат на обслуговування платформ спеціалізованими судами. Дані витрати складаються з двох категорій: перша категорія - це витрати на тайм-чартерну оренду суден, друга - витрати експлуатаційні на їх роботу.

Витрати на тайм-чартерну оренду складають:

$$\sum_{j=1}^m R_j^{mch} \cdot T \cdot v_j. \quad (6)$$

При цьому вважається, що судно орендується в тайм-чартер на період T - тобто плановий період. Такий варіант є класичним для фрахтового ринку (оренда суден на плановий період).

Проте, згідно з ситуації на сучасному фрахтовому ринку, в останні роки набули поширення варіанти «короткої» тайм-чартерної оренди. Тому в даному випадку параметр управління $v_j \in Z^+ \cup 0, j = \overline{1, m}$ трансформується в

$v_{jt}^i \in Z^+ \cup 0, j = \overline{1, m}, t = \overline{1, T}$, а (6) приймає вигляд:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m R_j^{mch} \cdot \tau \cdot v_{jt}^i, \quad (7)$$

де τ - тривалість періодів $t = \overline{1, T}$.

Такий підхід є виправданим при значній нерівномірності протягом планового періоду T обсягу транспортної роботи для спеціалізованих суден. Наприклад, більш високий попит на перевезення може спостерігатися на початку і в кінці планованого проміжку часу (інтенсивне завезення обладнання і матеріалів - інтенсивний вивіз устаткування та матеріалів). Тому в подальшому дослідження орієнтоване саме на такий підхід до тайм-чартерної оренди і відповідним параметрам управління.

Витрати експлуатаційні визначаються варіантами і інтенсивністю роботи суден (тобто тим, чи працює конкретне судно по конкретному варіанту в кожен проміжок часу):

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n r_{jt}^i \cdot x_{jt}^i. \quad (8)$$

Таким чином, цільова функція має вигляд:

$$\sum_{j=1}^m R_j^{mch} \cdot T \cdot v_j + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n r_{jt}^i \cdot x_{jt}^i \rightarrow \min \quad (9)$$

або

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m R_j^{mch} \cdot \tau \cdot v_{jt}^i + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n r_{jt}^i \cdot x_{jt}^i \rightarrow \min \quad (10)$$

в залежності від прийнятого підходу до оренди суден.

Визначимо обмеження моделі. Перш за все, має бути виконано обмеження щодо попиту на перевезення для кожної платформи p , яке може бути представлено у вигляді:

$$\sum_{j=1}^m D_j \cdot \sum_{i=1}^n A_j^p \cdot x_{jt}^i \geq Q_t^p, t = \overline{1, T}, p = \overline{1, P} \quad (11)$$

Відзначимо, що даним обмеженням встановлюється, що кількість вантажу Q_t^p , яке повинно бути доставлено на конкретну платформу p в конкретний проміжок часу t менше, ніж «потенційна» провізна здатність судна в цей проміжок часу з точки зору постачання даної платформи $\sum_{j=1}^m D_j \cdot \sum_{i=1}^n A_j^p \cdot x_{jt}^i$.

Знак «рівність» не може бути поставлений в даному обмеженні (11) з урахуванням цілочисельності параметрів управління і практичної неможливості забезпечення чіткої відповідності між двома частинами нерівності (11). Знак «менше або дорівнює» не може бути використаний, щоб не створювався в результаті рішення «дефіцит» в забезпеченні платформ.

Кращим варіантом є на етапі попередніх досліджень встановити межі обсягу поставок для кожної платформи і отримати проміжок з максимально і міні-

німально можливими значеннями $[Q_t^{p\min}, Q_t^{p\max}]$, або отримати даний проміжок штучно, прийнявши $Q_t^{p\min} = Q_t^p$, а $Q_t^{p\max} = Q_t^p + \Delta Q_t^p$, при цьому в якості ΔQ_t^p використовувати, наприклад, 5% від значення Q_t^p .

З урахуванням викладеного, (11) набуде вигляду (12):

$$Q_t^{p\min} \leq \sum_{j=1}^m D_j \cdot \sum_{i=1}^n A_j^p \cdot x_{jt}^i \leq Q_t^{p\max}, \quad (12)$$

$$t = \overline{1, T}, p = \overline{1, P}$$

Завдяки використанню бінарного параметра A_j^p робота суден за варіантами стає порівнянна з обслуговуванням конкретної платформи, яка входить або передбачається чи ні тим чи іншим варіантом роботи.

Наступним важливим обмеженням є обмеження по бюджету часу суден, мається на увазі бюджет фактичного часу T_t^j , протягом якого судна можуть працювати в кожен проміжок часу t :

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n t_j^i \cdot x_{jt}^i \leq \left(\sum_{t=1}^T T_t^j \right) \cdot v_j, j = \overline{1, m}, \quad (13)$$

для варіанту оренди суден на весь планований термін, або

$$\sum_{i=1}^n t_j^i \cdot x_{jt}^i \leq T_t^j \cdot v_j, j = \overline{1, m}, t = \overline{1, T}, \quad (14)$$

при розгляді оренди суден на кожен період $t = \overline{1, T}$.

В (13) $\sum_{t=1}^T T_t^j \cdot v_j$ приймає значення $\sum_{t=1}^T T_t^j$ в ситуації, коли $v_j = 1$, тобто коли судно j береться в тайм-чартерну оренду;

$\sum_{i=1}^n t_j^i \cdot x_{jt}^i$ відображає сумарний час, що витрачається судном j на всі варіанти роботи, актуальні для даного проміжку часу, тобто ті варіанти, для яких $x_{jt}^i = 1$, відповідно $\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n t_j^i \cdot x_{jt}^i$ відображає весь час, що витрачається судном j на роботу з урахуванням специфіки організації робочого часу спеціалізованих суден.

Відмітимо, що $\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n t_j^i \cdot x_{jt}^i < T, j = \overline{1, m}$, тобто фактичний час роботи суден, менше, ніж період планування.

Аналогічно в (14), розподіляється бюджет тих суден, які взяті в оренду в конкретний проміжок ча-

су, тобто, якщо $v_j^t = 1$, то бюджет часу цього судна має значення T_t^j в даний проміжок часу, і саме це значення і підлягає розподілу за варіантами роботи при обході платформ. Також аналогічно $\sum_{i=1}^n t_j^i \cdot x_{jt}^i < \tau, j = \overline{1, m}, t = \overline{1, T}$.

Ще один важливий аспект часових параметрів в даній системі. Робота суден здійснюється в різних погодних умовах, і значна кількість чинників впливають на фактичну тривалість рейсів і виникнення відхилень в їх графіку роботи (наприклад, див. [9, 10]).

При цьому для спеціалізованих суден погодні умови є найбільш значущими і мають найбільший вплив (наприклад, погодні умови вкрай важливі з точки зору підходу до платформи, наприклад, в період сильних хвиль). Зокрема, в деяких джерелах ([11, 12]) вказується, що при певних погодних умовах час рейсу суден постачання збільшується до 25%, а при висоті хвилі 4,5 м і більше спеціалізовані судна знаходяться в режимі очікування швартових операцій біля платформ.

Тому виникає основний фактор ризику при обслуговуванні платформ - погодні умови, які не дозволяють працювати спеціалізованим суднам. Врахувати даний фактор досить складно, так як, не дивлячись на повторювані погодні цикли в певному районі, неможливо з великою вірогідністю прогнозувати ті чи інші погодні умови. Тому в будь-якому випадку, отримані в результаті рішення, в процесі роботи суден повинні бути відкориговані з урахуванням актуальної інформації про погодні умови.

Як варіант урахування погодних умов при вирішенні даного завдання пропонується штучно зменшити бюджет часу суден в періоди, які, відповідно до прийнятої розбивкою на тимчасові періоди, потрапляють на сезон несприятливих погодних умов (наприклад, відповідно до календаря приймаються наступні часові відрізки $t = t_1, t_2, t = t_3, t_4$, в рамках яких з значною вірогідністю очікується несприятлива для роботи офшорних суден погода). Відповідно до цього прикладом, $[t_1, t_2] \cup [t_3, t_4]$ є проміжками часу з планового періоду T з поганими (сезонними) погодними умовами.

Для таких тимчасових періодів значення фактичного бюджету роботи суден T_t^j повинно бути штучно зменшено з урахуванням статистики тривалості несприятливих погодних умов для даного регіону роботи офшорних суден. Такий підхід дозволить врахувати вплив погодних умов на етапі планування.

Крім того, для обліку збільшення тривалості рейсів через несприятливі погодні умови і його впливу на експлуатаційні витрати, слід задати умову, згідно з якою для всіх рейсів в такі проміжки ча-

су час рейсу t_j^i приймається з поправочним коефіцієнтом $I_n \cdot t_j^i$, значення якого може встановлюватися варіюваним від 10% до 25%.

Наприклад,

$$t_j^i = \begin{cases} t_j^i, t = \overline{1, t_1 - 1, t_2 + 1, t_3 - 1, t_4 + 1, T}; \\ 1,1 \cdot t_j^i, t = \overline{t_1, t_2}; \\ 1,25 \cdot t_j^i, t = \overline{t_3, t_4}. \end{cases} \quad (15)$$

Згідно (15) в проміжок часу $[t_1, t_2]$ поправочний коефіцієнт часу рейсу становить 1,1 (тобто 10%), в проміжок часу $[t_3, t_4]$ даний коефіцієнт становить 1,25 (тобто 25%).

Таким чином, для обліку несприятливого впливу погодних умов при плануванні роботи спеціалізованих суден пропонується (рис.):

- 1) виділяти періоди (сезони) стійких несприятливих погодних умов;
- 2) для виділених періодів встановлювати поправочні коефіцієнти часу рейсів суден, ґрунтуючись на статистиці роботи аналогічних суден в заданому регіоні;
- 3) бюджет часу суден відкоригувати в бік зменшення по виділенім періодам для обліку вимушеного простою суден.

Відзначимо, що на рис. 1 виділені ситуації, при яких збільшується час стоянки за рахунок більш тривалих швартових операцій у платформи, а також зменшується швидкість суден на 2 або 3 вузли

(миль/год.). При цьому при висоті хвиль понад 4,5 м спеціалізовані судна можуть здійснювати перехід, але не можуть пришвартовуватися до платформ до тих пір, поки висота хвилі не стане менше. У цих ситуаціях час стоянки збільшується на невизначену величину.

Збільшення часу рейсів суден призводить до збільшення експлуатаційних витрат, тому для виділених проміжків часу з стійко несприятливими (сезонними) погодними умовами, слід в обох варіантах цільової функції (9), (10) внести відповідні коригування у вигляді поправочних коефіцієнтів до нормативів експлуатаційних витрат.

Зазначене в комплексі дозволяє врахувати ризики, пов'язані з погодними умовами, при плануванні роботи суден.

Кількість суден кожного типу обмежується можливостями ринку N_j , що також враховується у вигляді відповідних обмежень:

$$v_j \leq N_j, j = \overline{1, m}. \quad (16)$$

Обмеження на можливі значення параметрів управління:

$$v_j \in Z^+ \cup 0, j = \overline{1, m}, \quad (17)$$

або

$$v_j^t \in Z^+ \cup 0, j = \overline{1, m}, t = \overline{1, T}, \quad (18)$$

$$x_{jt}^i \in Z^+ \cup 0, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, t = \overline{1, T}. \quad (19)$$

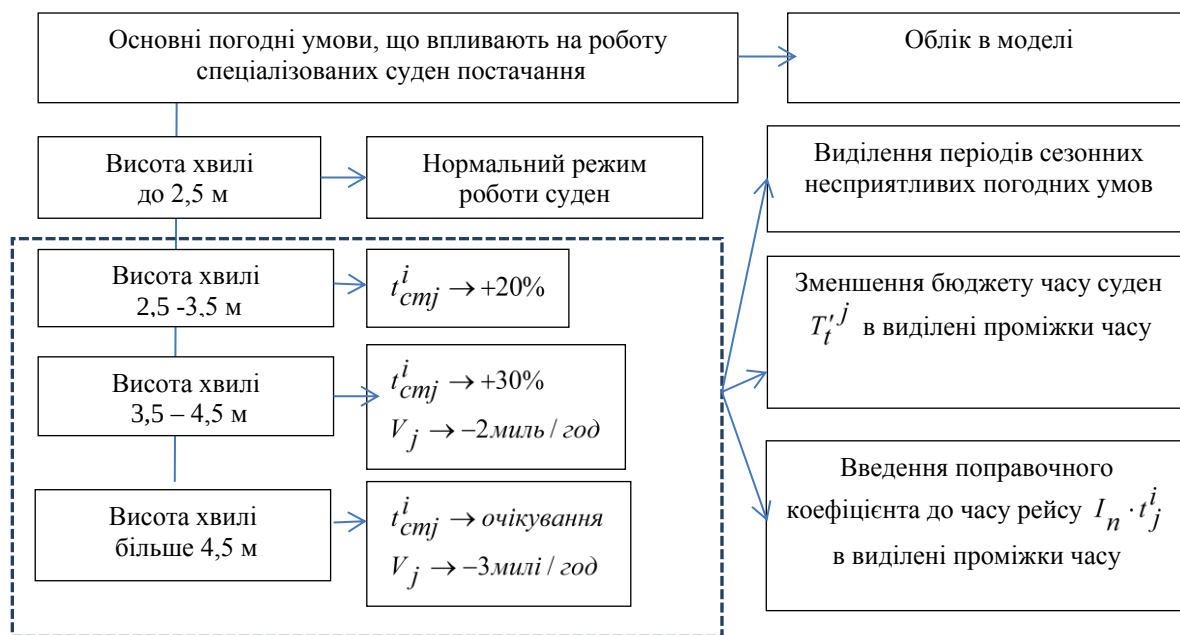


Рис. Пропонований підхід до врахування можливого негативного впливу погодних умов на роботу спеціалізованих суден постачання при обслуговуванні платформ

Таким чином, пропонуються два варіанти моделі за визначенням структури спеціалізованих суден і формування плану їх роботи:

1) модель формується з (9), (12), (13), (16), (17), (19) - для варіанта довгострокової тайм-чартерної оренди суден (на весь плановий період T);

2) модель формується з (10), (12), (14), (16), (18), (19) - для варіанту тайм-чартерної оренди суден в рамках кожного виділеного проміжку часу $t = \overline{1, T}$ планового періоду.

Висновки. Таким чином, у статті розроблена математична модель та методичні положення, що дозволяють обґрунтувати структуру суден постачання як універсальний інструмент для удосконалення організації роботи спеціалізованих суден. Відповідно до викладеного, під ефективністю роботи суден постачання при обслуговуванні морських бурових платформ будемо розуміти забезпечення мінімізації транспортних витрат на обслуговування платформ спеціалізованими суднами. Підсумком оптимізації на базі запропонованої моделі (в двох варіантах) є: склад флоту і варіанти роботи суден (обходу платформ) в кожен проміжок часу. Модель враховує вантажопідйомність суден, варіанти обходу платформ і попит на транспортне забезпечення платформ при організації роботи суден постачання. Модель, на відміну від існуючих, дозволяє отримати план роботи суден постачання з врахуванням впливу погодних умов при виконанні рейсу.

Література

- Halvorsen-Weare, E.E. & Fagerholt, K. Optimization in offshore supply vessel planning (2017) 18: 317. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s11081-016-9315-4>
- Azi N, Gendreau M, Potvin JY (2010) An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles. *Eur J Oper Res* 202(3):756–763
- Fagerholt K (1999) Optimal fleet design in a ship routing problem. *Int Trans Oper Res* 6(5):453–464
- Halvorsen-Weare EE, Fagerholt K, Nonås LM, Asbjørnslett BE (2012) Optimal fleet composition and periodic routing of offshore supply vessels. *Eur J Oper Res* 223(2):508–517
- Tan CCR, Beasley JE (1984) A heuristic algorithm for the period vehicle routing problem. *Omega* 12(5):497–504
- Шибасев О. Г., Акімова О. В., Кравченко О. А. Класифікація технічних засобів, що забезпечують процес видобутку і транспортування вуглеводнів в шельфах Чорного та Азовського морів // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2017. № 4 (234). С. 119–125.
- Макеев Г. А. Определение необходимого и достаточного количества судов обслуживающего морские буровые установки флота // Морской вестник. 2008. № 1 (25). С. 39–42.
- О Акімова, А Кравченко Development of the methodology of the choice of the route of work of platform supply vessels in the shelf of the seas // International Journal "Technology audit and production reserves", 2018. – Vol. 5, № 2 (43). pp. 30–35. - ISSN (print) 2226-3780, ISSN (on-line) 2312-8372. – DOI: 10.15587/2312-8372.2018.143558
- Onyshchenko S. P. Obespechenye éffektyvnosti vypolneniya sudnom reysa s uchetom vozmozhnoho vozdeystviya faktorov ryska / S. P. Onyshchenko, O. D. Vyshnevskaya // Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti : zb. nauk.-prakt. st. – Kharkiv : UkrDUZTu, 2016. – № 56. – S. 104–113.
- Онищенко С. П. Обеспечение эффективности выполнения судном рейса с учетом возможного воздействия факторов риска / С. П. Онищенко, О. Д. Вишневская // Вісник економіки транспорту і промисловості : зб. наук.-практ. ст. – Харків : УкрДУЗТу, 2016. – № 56. – С. 104–113.
- Вишневська О. Д. Риски при морской доставке грузов / О. Д. Вишневская // SWorld : сб. науч. тр. – Вып. 3 (36). – Т. 2. – Иваново : МАРКОВА АД, 2014. – С. 19–21.
- Стецюк Т. Г. К вопросу о расчетном определении падения скорости судна в штормовых условиях плавания / Т. Г. Стецюк, В. Г. Сизов // Судовождение. — 2010. — С. 22–27.
- Сотникова М.В. Алгоритмы формирования маршрутов движения судов с учетом прогноза погодных условий // Вестник СПбГУ. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2009. №2. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritmy-formirovaniya-marshrutov-dvizheniya-sudov-s-uchetom-prognoza-pogodnyh-usloviy>.

References

- Halvorsen-Weare, E.E. & Fagerholt, K. Optimization in offshore supply vessel planning (2017) 18: 317. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s11081-016-9315-4>
- Azi N, Gendreau M, Potvin JY (2010) An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles. *Eur J Oper Res* 202(3):756–763
- Fagerholt K (1999) Optimal fleet design in a ship routing problem. *Int Trans Oper Res* 6(5):453–464
- Halvorsen-Weare EE, Fagerholt K, Nonås LM, Asbjørnslett BE (2012) Optimal fleet composition and periodic routing of offshore supply vessels. *Eur J Oper Res* 223(2):508–517
- Tan CCR, Beasley JE (1984) A heuristic algorithm for the period vehicle routing problem. *Omega* 12(5):497–504
- Shibayev, O. H., Akimova, O. V., Kravchenko, O. A. (2017). Klyasyfikatsiya tekhnichnykh zasobiv, chto zabezpechuyut protses vidobutku y transportuvannya vuhlevodniv v shel'fakh Chornoho ta Azovskoho moriv. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya*, 4 (234), 119–125.
- Makeyev, G. A. (2008). Opredeleniye neobkhdimogo i dostatochnogo kolichestva sudov obsluzhivayushchego morskoye burovyye ustanovki flota. *Morskoy vestnik*, 1 (25), 39–42.
- O Akimova, A Kravchenko Development of the methodology of the choice of the route of work of platform supply vessels in the shelf of the seas // International Journal "Technology audit and production reserves", 2018. – Vol. 5, № 2 (43). pp. 30–35. - ISSN (print) 2226-3780, ISSN (on-line) 2312-8372. – DOI: 10.15587/2312-8372.2018.143558
- Onyshchenko S. P. Obespechenye éffektyvnosti vypolneniya sudnom reysa s uchetom vozmozhnoho vozdeystviya faktorov ryska / S. P. Onyshchenko, O. D. Vyshnevskaya // Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti : zb. nauk.-prakt. st. – Kharkiv : UkrDUZTu, 2016. – № 56. – S. 104–113.

10. Vishnevs'ka O. D. Riski pri morskoy dostavke грузov / O. D. Vishnevskaya // SWorld : sb. nauch. tr. – Vyp. 3 (36). – Т. 2. – Ivanovo : MARKOVA AD, 2014. – S. 19-21.
11. Stetsyuk T. G. K voprosu o raschetnom opredelenii padeniya skorosti sudna v shtormovykh usloviyakh plavaniya / T. G. Stetsyuk, V. G. Sizov // Sudovozhdeniye. — 2010. — S. 22-27.
12. Sotnikova M.V. Algoritmy formirovaniya marshrutov dvizheniya sudov s uchetoм prognoza pogodnykh usloviy // Vestnik SPbGU. Seriya 10. Prikladnaya matematika. Informatika. Protssesy upravleniya. 2009. №2. [Yelektronniy resurs]. Rezhim dostupu: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritmy-formirovaniya-marshrutov-dvizheniya-sudov-s-uchetom-prognoza-pogodnyh-usloviy>.

Кравченко А.А. Обоснование оптимальной структуры судов снабжения морских буровых платформ и организация их работы.

В статье предложена модель и сопутствующие ей методические положения по обоснованию структуры специализированных судов и организации их работы. Разработанная модель учитывает грузоподъемность судна, варианты обхода платформ и спрос на транспортное обеспечение платформ. А также учитывает специфику влияния погодных условий на работу специализированных судов, обеспечивает соответствие полученных результатов реальным условиям их работы. Позволяет обеспечить минимизацию транспортных расходов на обслуживание платформ специализированными судами.

Ключевые слова: специализированные суда снабжения, транспортное обеспечение платформ, варианты маршрутов, бюджет времени, неблагоприятные погодные условия.

Kravchenko A.A. Justification of the optimal structure of vessels supplying marine drilling platforms and the organization of their work

The article proposed a model and its accompanying methodological provisions for substantiating the structure of specialized courts and the organization of their work. The developed model takes into account the capacity of the vessel, options for bypassing the platforms and the demand for transport support for the platforms. It also takes into account the specifics of the influence of weather conditions on the work of specialized courts, ensures that the results obtained correspond to the real conditions of their work. Allows you to minimize the transport costs of servicing platforms by specialized vessels.

Keywords: specialized supply vessels, platform transport, route options, time budget, adverse weather conditions.

Кравченко О.А. – старший викладач кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету, e-mail: al-liyya@i.ua.

Рецензент: д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

Стаття подана 17.04.2019

УДК 629.341

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ САЛОНУ АВТОБУСУ У ТЕПЛІЙ ПЕРІОД РОКУ

Кравченко О.П., Чуйко С.П.

STUDY OF THE HEAT BALANCE OF THE PASSENGER COMPARTMENT IN THE WARM SEASON

Kravchenko O., Chuiko S.

У статті наводяться результати досліджень перевірки відповідності системи вентиляції повітря автобусу вимогам комфорту для надання якості транспортних послуг. Експериментальне дослідження проведено на регулярному міському автобусному маршруті м. Житомира при залученні автобусу МАЗ-206, обладнаного кондиціонером. Вимірювали значення внутрішньої і зовнішньої температури та відносної вологості. Миттєве теплове навантаження отримано за експериментальними даними і результати порівнювались з розрахунковими значеннями та вимогами комфорту для літнього сезону згідно ASHRAE. Дослідженнями підтверджено, що при зовнішній температурі повітря $+24^{\circ}\text{C}$ у салоні автобусу, при відповідних перевізних умовах, не забезпечується бажаний нормативний температурний мікроклімат і система вентиляції салону потребує кондиціонування повітря.

Ключові слова: міський автобус, мікроклімат, коефіцієнт пасажирського навантаження, сприйняття комфорту.

Вступ. В даний час приділяється велика увага розвитку технічних засобів щодо забезпечення комфортного мікроклімату у транспортних засобах. Експлуатація міського автобусу, так як і більшості автомобілів, пов'язана з необхідністю їх тривалого знаходження на відкритому просторі при температурі навколишнього повітря від $-34,9^{\circ}\text{C}$ до $+38,1^{\circ}\text{C}$ (по м. Житомиру) [1]. Така особливість експлуатації ставить автомобілі в умови активного, і, як правило, досить несприятливого впливу зовнішніх факторів навколишнього середовища, до яких додаються фактори низької швидкості руху при циклічних режимах руху у місті, затори, стоянка на технологічних зупинках та нестійкий пасажиропотік.

Комфорт пасажирів в салоні міського автобусу є важливим показником якості надання транспортних послуг і вирішальним фактором у виборі режиму перевезення пасажирів. Відчуття теплового комфорту забезпечується факторами, які залежать від теплообміну між тілом людини і навколишнім середовищем [2, 3, 4].

Поліпшення комфорту на міських автобусних перевезеннях сприяє додатковому залученню пасажирів, відповідно зменшенню собівартості наданих послуг.

Постановка задачі. В даний час для роботи на міських маршрутах надходять сучасні автобуси, які мають підвищені комфортні умови для перевезення пасажирів і обладнані додатковими опціями, серед яких є кондиціонер. Проблематичними залишаються питання нормалізації мікроклімату в салоні автобусу в умовах динамічної зміни мікроклімату від впливу різних чинників, що негативно позначаються на самопочутті пасажирів під час здійснення поїздки. Складність полягає в тому, що параметри мікроклімату залежать від великої кількості зовнішніх і внутрішніх збурюючих чинників, які досить не стабільні за часом і складно піддаються врахуванню. Все це стримує розробку єдиного підходу до нормалізації мікроклімату при міських пасажирських перевезеннях і в разі використання кондиціонера до правильного нормування витрати палива.

Зниження впливу факторів несприятливого мікроклімату в салоні автобусу і поліпшення параметрів мікроклімату дозволяють вирішити одну з найважливіших задач щодо поліпшення умов перевезення та нормування витрати палива при застосуванні системи кондиціонування повітря в теплий період року.

Аналіз публікацій. Дослідженню вимог до систем мікроклімату автомобілів присвячені достатньо наукових праць [5-10] та інших.

Наприклад, в роботі [6] приведений аналіз вимог до систем вентиляції і опалення. Визначені залежності коефіцієнтів опору вентиляційних припливних отворів різних геометричних параметрів з урахуванням їх місця розташування на поверхні кузова автобусу.

У роботі [9] оцінюється тепловий комфорт людини в двох повітряних зонах: пасажирів і водія лег-

кового автомобіля. Доведено, що клімат у салоні автомобіля дуже неоднорідний. Різні випромінювання, вплив змінної температури і швидкості повітря від системи вентиляції або кондиціонування створюють клімат, який значно відрізняється у просторі і часі.

Науковці [10] стверджують, що тривалість поїздки в автомобілі і фактор пасажирського навантаження суттєво впливають на сприйняття водієм і пасажиром рівня комфорту.

Авторами [11] доведено, що ефективний контроль мікроклімату в транспортному засобі хоча традиційно вважається важливим для комфорту, але при негативних ефектах температурного режиму має суттєвий вплив на продуктивність водія і розглядається як чинник безпеки дорожнього руху. Встановлено великий вплив на пильність водія при температурі $+27^{\circ}\text{C}$ у порівнянні з температурою $+21^{\circ}\text{C}$ у рухомому транспортному засобі: водії пропустили на 50% більше сигналів представлених в першу годину, а час реакції - на 22% повільніший при підвищеному рівні температури.

Проте всі ці аналізи були актуальні в минулому часі. Вимоги до мікроклімату салонів автобусів змінюються з особливістю введення в експлуатацію міських автобусів обладнаних кондиціонерами, які раніше були ознакою комфортності лише у автобусів міжміського сполучення. Іншого підходу до якості мікроклімату потребують умови експлуатації автобусу в умовах міських заторів та нормування при цьому витрат палива.

На продовження визначення питання комфорту міського автобусу МА3-206 [12] задача є актуальною, так як конструктивно вихідні жалюзі кондиціонера розташовано в пасажирському салоні автобусу, що не мають ефективною дії в кабіні водія.

Мета статті. Визначення відповідності теплового комфорту системи вентиляції і факторів зміни теплового балансу салону міського автобусу.

Виклад основного матеріалу досліджень. Основним визначальним фактором мікроклімату в салоні автобусу при його вентиляції в літній період є повітрообмін, який забезпечує нормований перепад температури в салоні і зовнішнього середовища, а також рухомість і вологість внутрішнього повітря. При цьому необхідний повітрообмін салону визначається з умов асиміляції теплонадходжень від сонячної радіації і пасажирів [6].

Основна вимога до мікроклімату - підтримання метеорологічних та санітарно-гігієнічних параметрів у приміщенні. До метеорологічних параметрів зараховують температуру ($t_{\text{в}}$, $^{\circ}\text{C}$), відносну вологість ($\phi_{\text{в}}$, %) та рухомість ($v_{\text{в}}$, м/с) внутрішнього повітря у приміщенні; до санітарно-гігієнічних - радіаційну температуру поверхонь ($t_{\text{р}}$, $^{\circ}\text{C}$), інтенсивність теплового (інфрачервоного) випромінювання, рівень шуму, освітленість, граничнодопустиму концентрацію пилу та газів [13]. Дане твердження в повній мірі може відповідати вимогам мікроклімату до автобусу.

На основі проведеного аналізу визначено шість основних факторів, які необхідно враховувати при оцінці умов теплового комфорту салону автобусу. Ці фактори можна класифікувати за двома класами: вимірні фактори і особисті фактори. До вимірних факторів можна віднести: температуру повітря і поверхонь, швидкість руху повітря, інтенсивність теплового випромінювання і відносну вологість повітря. Особисті фактори пасажирів, які знаходяться в салоні під час поїздки, включають: рівень пасажироприсутності та ізоляцію одягу (рис. 1).

Зону комфорту у автобусі для літнього сезону можна визначити по ASHRAE [14] в залежності температури від вологості в салоні (рис. 2).

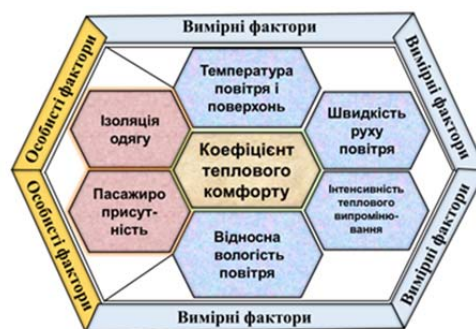


Рис. 1. Вимірні і особисті фактори для визначення теплового комфорту в міському автобусі

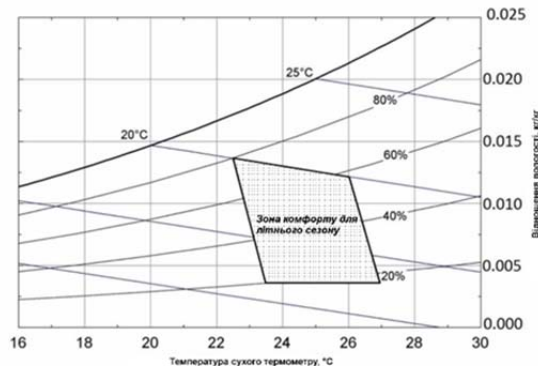


Рис. 2. Залежність температури і вологості повітря в салоні автобусу

В основу проектування вентиляційних систем і організації внутрішніх повітряних потоків в автомобілях повинні бути закладені відомості про фізіологічний зв'язок пасажирів з навколишнім повітряним середовищем.

Для створення теплового комфорту всередині автобусу необхідно врахувати всі розглянуті чинники, оскільки вони можуть змінюватись в часі і при цьому враховувати, що кожна людина по різному сприймає умови знаходження в закритому просторі усередині автобусу. Оскільки люди бувають різними, тепловий комфорт зазвичай відноситься до набору оптимальних параметрів, для яких найбільший відсоток присутніх пасажирів відчувають себе комфортними в навколишньому середовищі.

Теплова рівновага в салоні автобусу настає тоді, коли вхідні теплові потоки відповідають тепловим потокам, які виходять з салону. Відповідно, рівняння теплового балансу в загальному виді салону автобусу буде мати вигляд:

$$\sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{j=1}^m Q_j, \quad (1)$$

де Q_i – теплонадходження в салон, Вт;

Q_j – тепловідвод з салону, Вт;

n – кількість складових, які задіяні в теплонадходженні;

m – кількість складових, які задіяні в тепловідводі.

Балансове рівняння надлишкових тепло- надходжень у салон автобусу можна записати у вигляді:

$$Q_{\text{надл}} = Q_{\text{вік}} + Q_{\text{пов}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{дв}} + Q_{\text{агр}}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{вік}}$, $Q_{\text{пов}}$ – теплонадходження з сонячним випромінюванням, відповідно через вікна та непрозорі поверхні, Вт;

$Q_{\text{л}}$ – теплонадходження від людей, які перебувають в салоні, Вт,

$Q_{\text{дв}}$ – теплонадходження через дверні пройми під час посадки-висадки пасажирів, Вт;

$Q_{\text{агр}}$ – тепловиділення від агрегатів та вузлів, Вт.

Визначальними факторами на кількість теплоти, що надходить в салон автобусу є його об'єм, площа прозорих та непрозорих елементів кузову і колір його облицювальних металевих панелей.

Прозорі елементи конструкції кузову наділені високою пропускну здатністю довгохвильового та короткохвильового випромінювання і у меншій мірі, конвективного теплообміну. При цьому відбувається переважно нагрів внутрішніх поверхонь, які випускаючи променисте тепло, збільшують конвективний теплообмін, що сприяє максимальному прогріванню салону.

Коли сонячне випромінювання величиною I падає на прозорий елемент кузову, то деяка його частка $I_{\text{е}} = \mathcal{E} \cdot I$ проникає в приміщення ($\mathcal{E}$ - коефіцієнт проникнення), частина відбивається від шибки $I_r = r \cdot I$ (r - коефіцієнт відбиття), а частина вбирається (адсорбується) шибкою, а потім, з причини конвекційного теплообміну, частково передається до внутрішнього, а частково до зовнішнього повітря, як вторинна теплота [6]:

$$I_a = a \cdot I = a_1 \cdot I + a_2 \cdot I, \quad (3)$$

де a - коефіцієнт адсорбування (вбирання) шибки.
Загалом

$$I_a = \mathcal{E} \cdot I + r \cdot I + a \cdot I, \quad (4)$$

а в салон автобусу входить

$$\mathcal{E} \cdot I + a_2 \cdot I = g_{\text{пр}} \cdot I, \quad (4)$$

де $g_{\text{пр}} = \mathcal{E} + a_2$ - коефіцієнт пропускання шибкою (шибками) сонячного випромінювання.

Величина пропущеної через вікно теплоти сонячного випромінювання залежить від довжини хвилі, кута падіння (дії) променів, а також хімічного складу скла.

При зовнішній тепловій взаємодії на кузов автобусу надходження теплоти через боковини та облицювальні панелі будуть різні. Кількість теплоти визначається схемою і тривалістю взаємодії джерела теплового випромінювання на автобус.

Для розгляду ролі панелей обшивки, і теплоізоляційних матеріалів у сумарному теплообміні салону з навколишнім середовищем, доцільно розглядати як фактор теплообміну геометрично закритої системи, при якій параметри теплообміну окремих елементів взаємопов'язані.

Вираз для розрахунку кількості теплоти, яка надходить через панель даху автобусу, має вигляд [8]

$$Q = \frac{(t_{\text{НС}} - t_{\text{ПС}}) F}{\sum \delta_i \lambda_i + \sum a_i}, \quad (5)$$

де $t_{\text{НС}}$ - ефективна температур навколишнього повітря, °С;

$t_{\text{ПС}}$ - температура повітря в салоні автомобіля, °С;

F - площа непрозорих елементів кузову, м²;

λ_i - коефіцієнт теплопровідності шару, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$;

δ_i - товщина шару, м;

a_i - коефіцієнт тепловіддачі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$.

Непрозорі елементи кузову мають багатшарову стінку, яка буде частково поглинати і передавати тепловий потік в салон автомобіля. Верхній шар непрозорих конструктивних елементів має різкий колір пофарбування, який характеризується коефіцієнтом світловідбиття і впливає на кількість відбитої і поглинутої енергії.

В результаті аналізу робіт [5, 6, 8, 15] було встановлено, що найбільша кількість теплоти надходить в салон через панель даху автомобіля внаслідок її перпендикулярного розташування відносно потоків сонячного випромінювання в саму теплу пору доби (з 10 до 16 год.) і особливості внутрішньої будови її конструкції, яка полягає в тому, що відсутні додаткові шари пінополістиролу і повітряного прошарку. Облицювання кузову виконано з застосуванням оцинкованого сталюого листа, алюмінієвих та склопластикових панелей, передня і задня частина автобусу склопластикові, кришки люків алюмінієві [12].

Для розрахунку річної кількості автомобільних робіт (АДр) маршрутних автобусів м. Житомира з денною температурою навколишнього повітря більше +20°С використані дані з [1]. Прийнято 129 днів як середнє значення за рік: АДр = 21027 авт-дн.

Експериментально досліджувались фактори, які визначають відповідність система вентиляції і кондиціонування повітря міського автобусу вимогам транспортного дизайну та комфорту.

В період дослідження на маршруті працювали усі автобуси у відповідності договору із замовником перевезень. Перед випробуванням були проведені необхідні технічні діагностування на витік холодоагенту в системі кондиціонування та щільність закриття дверей, верхніх люків та кватирок.

Внутрішню температуру вимірювали сухими термометрами в місцях розташування у салоні, що наведено на рис. 3.

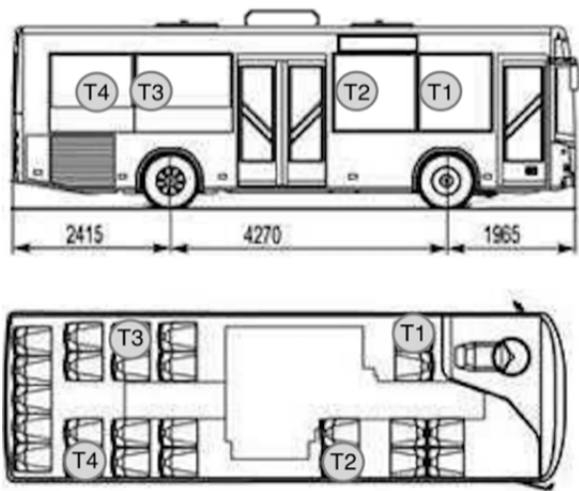


Рис. 3. Точки вимірювання внутрішньої температури

Автобус працює на протязі 16 годин на добу і може стояти під сонцем до 10 хв. на кінцевій зупинці перед поїздкою. Внутрішня температура в салоні автобуса досягає 35°. Після початку руху внутрішня температура і вологість автобуса може досягнути бажаних умов комфорту за короткий проміжок часу при увімкненні кондиціонеру.

Значення температури і відносної вологості реєструвались періодично за допомогою реєстратора.

Температурні режими вимірювались на протязі одного рейсу тривалістю 85 хвилин. Початкова температура зовнішнього повітря становила 24,1°C. Контроль вологості та швидкості повітря проводилась у вимірювальній зоні між точками 3 і 4 (див. рис. 3).

Найбільші температурні значення у салоні визначені у контрольних точках №3 і №4, які становлять відповідно +33,6°C і +33,8°C.

Зовнішня температура на протязі експерименту коливалась в межах $\pm 4^\circ\text{C}$, що є підставою вважати її незмінною.

Досвід показує, що найбільш приємно сприймається повітря, вологість якого в залежності від температури знаходиться в межах 30-70%. Відносно високий (але в перерахунку на абсолютні значення досить низький) вміст води в повітрі, при низькій температурі приводить до того, що в міру прогріву холодного повітря відносна вологість зменшується

до 20-25%. Таке явище носить позитивний характер оскільки запобігає запотіванню вікон автомобіля.

Сприйняття пасажирів якості комфорту у автомобілі аналізуємо методом шкали Лікерта, при поділені сприйняття у схемі обстеження на п'ять класів з відповідно присвоюванням балів. Більш висока оцінка означає більш високий рівень комфорту. Відповідно до різних пасажирських навантажень фактори навантаження салону пасажирів діляться на п'ять класів (табл. 1) [10].

Таблиця 1

Класифікація рівня завантаженості салону міського автобуса

Рівень навантаження салону	Пасажирський коефіцієнт навантаження	Умови визначення коефіцієнту
1	0,35	Кожний пасажир в автобусі має місце (по критерію сидячих місць)
2	0,50	Не вимушені умови проїзду (відстань між двома пасажиром, що стоять, щонайменше дорівнює ширині однієї людини)
3	0,60	Трохи переповнений (між пасажиром, що стоять, немає контакту але при русі ймовірний)
4	0,75	Переповнений, є легкий контакт між стоячими пасажиром, раптовий поворот чи гальмування призведе до контакту
5	1,0	Дуже переповнений, зі значними контактами між стоячими пасажиром

Надзвичайно високі коливання внутрішньої температури є відображенням таких місць, які визначені найбільшим коефіцієнтом навантаження пасажирів: на 20, 55 та 60 хв. з початку руху по маршруту (рис. 4).

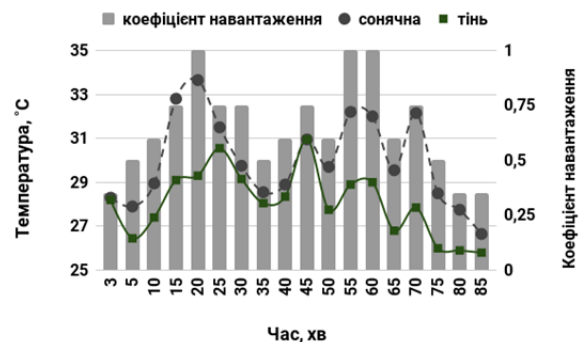


Рис. 4. Залежності за часом температури в салоні автобуса з коефіцієнтом навантаження

Внутрішня температура салону знижувалась при меншому навантаженні пасажиром та у місцях руху автобуса з короткочасними зупинками для висадки пасажирів, що характерно при завершенні проїзду по маршруту. Найбільш тепле місце в салоні автобуса було поблизу вікон сонячної сторони. Внаслідок впливу сонця на автобус, до початку руху, також була температура досить високою у порівнянні з зовнішньою через стоянку на кінцевій зупинці. Максимальні значення теплових відчуттів отримані в задній частині салону автобуса. Причина такої ситуації полягає у тому, що не завжди водій відкриває середні двері на технологічних зупинках та можливий

вплив дії двигуна розташованого в задній частині автобусу.

Дослідження визначення комфорту в салоні автобусу показали, що система вентиляції салону, при зовнішній температурі повітря більше $+20^{\circ}\text{C}$ не забезпечує нормованого теплового комфорту і потребує введення в дію системи кондиціонування внутрішнього повітря.

Висновок. Проведено дослідження температурного комфорту в салоні міського автобусу на маршруті при зовнішній температурі навколишнього повітря $+24^{\circ}\text{C}$. З метою створення комфортної температури в салоні потрібно додаткове охолодження повітря. Баланс між кількістю теплоти, яка надходить ззовні і зсередини і теплообміном через поверхню кузову за рахунок виносу теплоти вентиляційним повітрям особливо утруднений літом в умовах навантаження пасажирів та прямої дії сонячних променів. Продовження досліджень повинно бути спрямованим на отримання результатів з ввімкненням кондиціонером та прогнозуванням нормованої витрати палива.

Л і т е р а т у р а

1. <https://meteo.ua/archive>
2. Dell'Olio L, Angel I, Patricia C (2011) The quality of service desired by public transport users. *Transp Policy* 18:217–227.
3. Eboli L, Mazzula G (2011) A methodology for evaluating transit service quality based on subjective and objective measures from the passenger's point of view. *Transp Policy* 18: 172–181.
4. Ivanescu M., Neacsu C., Tabacu S., The human thermal comfort evaluation inside the passenger compartment, in: *World Automotive Congress, Budapest, Hungary, 2010*.
5. Хохряков В.П., Вентиляция, отопление и обеспечение воздуха в кабинах автомобилей: Монография. – М.: Машиностроение, 1987. – 149 с.
6. Жуковский С.С. Организованная естественная вентиляция салонов автобусов: Дис. канд. техн. наук 05.23.03. Львовский политехнический институт. – Львов, 1984. – 240 с.
7. Палутин Ю.И. Определение величины требуемого подпора давления воздуха в салонах автомобилей. *Научный журнал «Наземные транспортные системы», НГТУ, №3(82) 2010.* – С. 133-137.
8. Матюхин Л.М. Теплотехнические устройства автомобилей / Л.М. Матюхин. – М.: МАДИ, 2010. – 89 с.
9. Ivanescu M., Neacsu C. The human thermal comfort evaluation inside the passenger compartment, in: *World Automotive Congress, Budapest, Hungary, 2010*.
10. Xianghao Shen, Shumin Feng, Zhenning Li. Analysis of bus passenger based on passenger load factor and in-vehicle time. *Peoples Republic of China, 2016*.
11. Norin F., Wyon D. Driver Vigilance . The Effects of Compartment Temperature. *SAE 920168, 1992*.
12. Автобусы МАЗ 206 и МАЗ 226. Руководство по эксплуатации. 206060-0000020 РЭ. ОАО Минский автомобильный завод. – 134 с.
13. Возняк О.Т. Теплогазопостачання та вентиляція /О.Т. Возняк, О.О. Савченко, Х.В. Миронюк, С.П. Шаповал, Н.А. Сподинюк, Б.І. Гуляй. - Львів: Вид-цтво Львівська політехніка, 2013. – 276 с.
14. ASHRAE Standard 55, Thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, GA, USA, (2004).
15. Ананьев В.А., Балужева Л.Н., Гальперин А.Д., Городов А.К., Еремін М.Ю., Звягинцева С.М., Мурашко В.П., Седых И.В. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В.А. Ананьев, Л.Н. Балужева, А.Д. Гальперин, А.К. Городов, М.Ю. Еремін, С.М. Звягинцева, В.П. Мурашко, И.В. Седых. Четвертое издание. – М: Изд-во ЗАО «Интердиалект», ЕВРОКЛИМАТ», 2003. – 416 с.

References

1. <https://meteo.ua/archive>
2. Dell'Olio L, Angel I, Patricia C (2011) The quality of service desired by public transport users. *Transp Policy* 18: 217–227.
3. Eboli L, Mazzula G (2011) A methodology for evaluating transit service quality based on subjective and objective measures from the passenger's point of view. *Transp Policy* 18:172–181.
4. Ivanescu M., Neacsu C., Tabacu S., The human thermal comfort evaluation inside the passenger compartment, in: *World Automotive Congress, Budapest, Hungary, 2010*.
5. Hohljakov V.P., Ventilacija, otoplenie i obespechenie vozduha v kabinah avtomobilej: Monografija. -M. Mashinostroenie, 1987. – 149 s.
6. Zhukovskij S.S. Organizovannaja ekststvennaja ventilacija salonov avtobusov: Dis.kand. tehn. nauk 05.23.03 L'vovskij politehnicheskij institut. L'vov, 1984. – 240 s.
7. Palutin Ju.I. Opredelenie velichiny trebuemogo podpora davlenija vozduha v salonah avtomobilej. *Nauchnyj zhurnal «Nazemnye transportnye sistemy», NGTU, №3(82) 2010.* – S.133-137.
8. Matjuhin, L.M. Teplotehnicheskie ustrojstva avtomobilej / L.M. Matjuhin. – М.: МАДИ, 2010. – 89 s.
9. Ivanescu M., Neacsu C. The human thermal comfort evaluation inside the passenger compartment, in: *World Automotive Congress, Budapest, Hungary, 2010*.
10. Xianghao Shen, Shumin Feng, Zhenning Li. Analysis of bus passenger based on passenger load factor and in-vehicle time. *Peoples Republic of China, 2016*.
11. Norin F., Wyon D. Driver Vigilance . The Effects of Compartment Temperature. *SAE 920168, 1992*.
12. Avtobusy MAZ 206 i MAZ 226. Rukovodstvo po jekspluatácii. 206060-0000020 RJe. ОАО Минскij avtomobil'nyj zavod. – 134 s.
13. Voznjak O.T. Teplogazopostachannja ta ventilacija / O.T. Voznjak, O.O.Savchenko, H.V. Mironjuk, S.P. Shapoval, N.A. Spodinjuk, B.I., Guljaj. – L'viv: Vid-ctvo L'viv'ska politehnika, 2013. – 276 s.
14. ASHRAE Standard 55, Thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, GA, USA, (2004).
15. Anan'ev V.A., Balueva L.N., Gal'perin A.D., Gorodov A.K., Eremin M.Ju., Zvjaginceva S.M., Murashko V.P., Sedyh I.V. Sistemy ventiljacii i kondicionirovanija. Teorija i praktika. Chetvertoe izdanie. – М: Izd-vo ЗАО «Interdialekt», EVROKLIMAT», 2003. – 416 s.

Кравченко А.П., Чуйко С.П. Исследование теплового баланса салона автобуса в теплый период года.

В статье приводятся результаты исследований проверки соответствия системы вентиляции воздуха автобуса требованиям комфорта для предоставления качества транспортных услуг. Экспериментальное исследование проведено на регулярном городском автобусном маршруте г. Житомира, при привлечении автобуса MAZ-206, оборудованного кондиционером. Измеряли значение внутренней, внешней температуры и относительной влажности. Мгновенная тепловая нагрузка получена по экспериментальным данным и результаты сравнивались с расчетными значениями и требованиями комфорта для летнего сезона, согласно ASHRAE. Исследованием подтверждено, что при внешней температуре воздуха +24°C в салоне автобуса, при соответствующих перевозочных условиях, не обеспечивается желаемый нормативный температурный микроклимат и система вентиляции салона требует кондиционирования воздуха.

Ключевые слова: городской автобус, микроклимат, коэффициент пассажирской нагрузки, восприятие комфорта.

Kravchenko O., Chuiko S. Study of the heat balance of the passenger compartment in the warm season.

The results of the verification of the compliance of the bus air ventilation system with the comfort requirements regarding the quality of the transport services are shown in this article. An experimental study was carried out on the regular city bus route in the Zhytomyr city on the basis of the MAZ-206 bus equipped with air conditioning. The internal and external temperature and relative humidity were measured. Sudden heat duty was obtained on the basis of the experimental data, and the results were compared with the calculated values and comfort requirements for the warm season in accordance with ASHRAE. The study proved that under appropriate conditions of the passenger transportation, the desired regulatory temperature small-scale climate is not provided in the passenger compartment, and the ventilation system requires air conditioning when outside air temperature is +24°C.

Key words: public transport bus, small-scale climate, coefficient of passenger load, comfort perception

Кравченко О.П. – д.т.н., проф., завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій, Житомирський державний технологічний університет, avtoap@ukr.net

Чуйко С.П. – аспірант кафедри автомобілів і транспортних технологій, Житомирський державний технологічний університет, expertauto@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 26.03.2019

УДК 629.454:621.5

**ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ТЕПЛОТЕХНІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНУ****Кузьменко С.В., Заверкін А.В., Сергієнко О.В.****DETERMINATION OF RATIONAL GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE HEAT
ENGINEERING EQUIPMENT OF PASSENGER CARS****Kuzmenko S., Zaverkin A., Serhiienko O.**

В статті отримані аналітичні залежності, які визначають раціональні геометричні параметри теплотехнічного устаткування пасажирського вагону, а саме: співвідношення між висотою ребра теплообмінника та відстанню між ними і загальною площею поверхні теплотехнічного устаткування, за умови їх мінімізації при відповідній максимізації тепловіддачі.

Ключові слова: пасажирський вагон, система кондиціювання, теплотехнічне устаткування, теплообмін, тепловіддача, комфорт

Вступ. Залізничний транспорт України є провідною галуззю в дорожньо-транспортному комплексі країни, який забезпечує 82% вантажних і майже 50% пасажирських перевезень, здійснюваних всіма видами транспорту [1]. Однією з основних вимог, що пред'являються до пасажирського рухомого складу, окрім безпеки функціонування, є його комфортабельність [2].

Постановка проблеми. Забезпечення норм тепло- або холодопродуктивності системи кондиціювання, кількості свіжого повітря, його температури тощо, не є достатньою умовою створення комфортних параметрів мікроклімату. Рухливість повітря, розподіл температури в робочій зоні людини істотно впливає на її суб'єктивне відчуття комфорту. У зв'язку з цим, важливим завданням при проектуванні даних систем є забезпечення теплового режиму в кабіні або салоні транспортного засобу. При її рішенні необхідно, з одного боку, забезпечити якнайкраще сприйняття навколишнього середовища організмом людини. З іншого боку, істотним чином не збільшувати масо-габаритні і енергетичні показники системи [3]. Однак, як показує досвід експлуатації, при проектуванні вагонів недостатньо уваги приділяється розробці ефективних систем комфортного життєзабезпечення пасажирів, яке б враховувало вимоги щодо масо-габаритних і енергетичних показників теплотехнічного устаткування.

Таким чином, удосконалення систем забезпечення мікроклімату, що входять у загальну систему життєзабезпечення пасажирських вагонів є одним з перспективних напрямків сучасних досліджень під час модернізації пасажирського рухомого складу залізниць і підвищені рівня його комфортабельності та енергоефективності.

Мета статті. Отримати аналітичні залежності, які дозволять визначити раціональні геометричні параметри теплотехнічного устаткування пасажирського вагону за умови їх мінімізації при відповідній максимізації тепловіддачі.

Результати досліджень. Оскільки переважна конструкція системи кондиціювання пасажирського рухомого складу залізниць передбачає використання двох стадій передавання теплової енергії, а саме до теплоакumuлюючого матеріала (ТАМ) і далі до рідкого теплоносія, то слід розглянути процеси тепло-масообміну у теплотехнічному устаткуванні пасажирського вагону. Основним завданням при проектуванні даних пристроїв є мінімізація їх геометричних розмірів при відповідній максимізації тепловіддачі.

Теплота, що віддається від поверхонь нагрівачів [4, 5], узгоджується із наступною залежністю:

$$Q = \alpha F \Delta t.$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі;

F – площа поверхні теплообміну;

Δt – перепад температури між поверхнею теплообміну та повітрям навколишнього середовища.

Виходячи із концепції мінімізації геометричних розмірів теплообмінного устаткування, це стає можливим при збільшенні середнього коефіцієнта тепловіддачі при необхідній площині теплообмінних поверхонь, оскільки різниця температури між повітрям салону та поверхнею теплообмінників є нормованим показником.

Розглянемо течію повітря між вертикально розташованими нагрітими поверхнями теплообмінного устаткування (рис. 1).

Враховуючи припущення щодо квадратичного розподілу температури повітря [4,5], аналітичне представлення розподілу температури представлено наступною залежністю:

$$\vartheta = \vartheta_c \left(1 - \frac{h-y}{\delta} \right)^2 = \vartheta_c \left(1 - 2 \frac{h-y}{\delta} + \frac{(h-y)^2}{\delta^2} \right),$$

де $\vartheta = (t_c - t)$ - різниця між температурою стінки t_c і робочим середовищем t в пограничному шарі при поточній координаті y ;

$h = H/2$ - половина відстані між пластинами;

δ - товщина прикордонного шару.

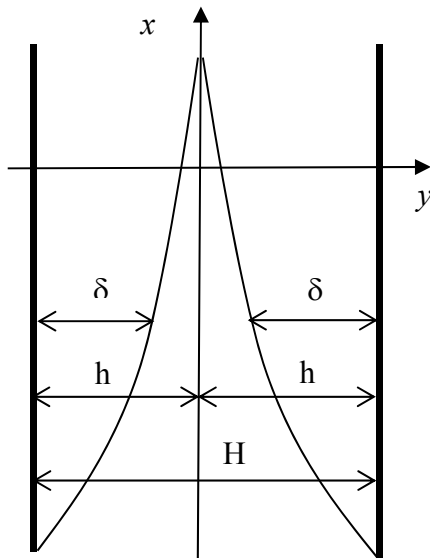


Рис. 1. Схема течії повітря між двома вертикальними нагрітими поверхнями

Оскільки локальний коефіцієнт тепловіддачі визначається як [4]:

$$\alpha = -\frac{\lambda}{\vartheta_c} \left(\frac{d\vartheta}{dy} \right)_{y=0},$$

то похідна від зміни температури в прикордонному шарі:

$$\frac{d\vartheta}{dy} = -\vartheta_c \left(\frac{2}{\delta} - \frac{2h}{\delta^2} + \frac{2y}{\delta^2} \right).$$

Для умов поставленої задачі:

$$\left. \frac{d\vartheta}{dy} \right|_{y=h} = -\vartheta_c \left(\frac{2}{\delta} - \frac{2h}{\delta^2} + \frac{2h}{\delta^2} \right) = -\frac{2\vartheta_c}{\delta},$$

$$\alpha = \frac{2\lambda}{\delta}.$$

Таким чином, локальний коефіцієнт тепловіддачі зменшується при збільшенні товщини прикордонного шару. Звідси виходить, що при конвективній течії робочого середовища між двома вертикальними пластинами, при зіткненні двох теплових шарів коефіцієнт тепловіддачі більш не змінюється, та саме в такому місці слід забезпечити розрив прикордонного шару. Це стає можливим при закінченні вертикальної пластини саме в цьому місці та зміщення наступного ряду пластин на відстань, яка дорівнює половині відстані між пластинами (рис. 2).

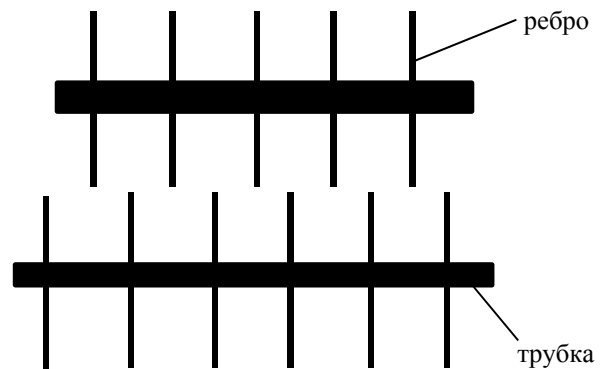


Рис. 2. Взаємне розташування пластин в теплообміннику

У зв'язку з цим, максимізація мінімального коефіцієнта тепловіддачі стає можливим при мінімально допустимій відстані між пластинами, що робить товщину прикордонного шару теж мінімальною.

Внаслідок технологічних або конструктивних обмежень при виробництві теплообмінних пристроїв слід визначити співвідношення між відстанню між пластинами та їх висотою, яка обмежується зіткненням прикордонних шарів.

Для цього, в першу чергу, розглянемо течію в'язкого нестискуваного середовища уздовж нагрітої вертикальної пластини на основі [5], яку можна описати рівнянням:

$$\mu \frac{d^2 w_x}{dy^2} = -g(\rho - \rho_0),$$

де μ - динамічна в'язкість;

w_x - швидкість течії;

ρ_0 - щільність повітря за межами пограничного шару;

ρ - щільність повітря в пограничному шарі при поточній координаті y ;

g - прискорення вільного падіння.

Оскільки $\rho = \rho_0(1 - \rho\vartheta)$, то $\rho - \rho_0 = \rho_0\beta\vartheta$.

На підставі викладеного

$$\mu \frac{d^2 w_x}{dy^2} = -g\rho_0\beta\vartheta.$$

Таким чином, рівняння течії робочого середовища прийме наступний вигляд:

$$\frac{d^2 w_x}{dy^2} = -\frac{g}{\mu} \rho_0 \beta g_c \left(1 - \frac{h-y}{\delta}\right)^2.$$

Приймаючи, що

$$k = \frac{g}{\mu} \rho_0 \beta g_c,$$

отримуємо:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 w_x}{dy^2} &= -k \left(1 - \frac{h-y}{\delta}\right)^2 = \\ &= -k \left(1 - 2\frac{h-y}{\delta} + \frac{h^2 - 2hy + y^2}{\delta^2}\right) \end{aligned}$$

Інтегрування рівняння течії дозволяє визначити розподіл швидкості в пограничному шарі:

$$\begin{aligned} \frac{dw_x}{dy} &= -k \left[y \left(1 - \frac{2h}{\delta} + \frac{h^2}{\delta^2}\right) + \frac{y^2}{\delta} \left(1 - \frac{h}{\delta}\right) + \frac{y^3}{3\delta^2} \right] + C_1 = \\ &= -k \left[y \left(1 - \frac{h}{\delta}\right)^2 + \frac{y^2}{\delta} \left(1 - \frac{h}{\delta}\right) + \frac{y^3}{3\delta^2} \right] + C_1. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_x &= -k \left[\frac{y^2}{2} \left(1 - \frac{h}{\delta}\right)^2 + \frac{y^3}{3\delta} \left(1 - \frac{h}{\delta}\right) + \frac{y^4}{12\delta^2} \right] + C_1 y + C_2 = \\ &= -k y^2 \left[\frac{1}{2} \left(1 - \frac{h}{\delta}\right)^2 + \frac{y}{3\delta} \left(1 - \frac{h}{\delta}\right) + \frac{y^2}{12\delta^2} \right] + C_1 y + C_2. \end{aligned}$$

Проводячи перетворення, отримуємо в остаточному вигляді:

$$\begin{aligned} w_x &= -k y^2 \left[\frac{1}{2\delta^2} (\delta - h)^2 + \frac{y}{3\delta^2} (\delta - h) + \frac{y^2}{12\delta^2} \right] + \\ &+ C_1 y + C_2 = -k \frac{y^2}{\delta^2} \left[\frac{1}{2} (\delta - h)^2 + \frac{y}{3} (\delta - h) + \frac{y^2}{12} \right] + \\ &+ C_1 y + C_2. \end{aligned}$$

Визначення констант інтегрування можливе за умов, що швидкість течії робочого середовища як на поверхні пластини, так і за межами пограничного шару дорівнює нулю, тобто при $y = h$ і $y = \delta \Rightarrow w_x = 0$.

Таким чином:

$$\begin{aligned} w_x \Big|_{y=h} &= -k \frac{h^2}{\delta^2} \left(\frac{1}{2} \delta - \delta h + \frac{1}{2} h^2 + \frac{\delta h}{3} - \frac{h^2}{3} + \frac{h^2}{12} \right) + C_1 h + \\ &+ C_2 = -k \frac{h^2}{12\delta^2} (6\delta - 8\delta h + 3h^2) + C_1 h + C_2 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_x \Big|_{y=\delta} &= -k \frac{\delta^2}{\delta^2} \left[\frac{1}{2} \delta^2 - \delta h + h^2 + \frac{\delta^3}{3} - \frac{\delta h}{3} + \frac{\delta^2}{12} \right] + C_1 \delta + \\ &+ C_2 = -k \left(\frac{11\delta^2}{12} - \frac{4\delta h}{3} + h^2 \right) + C_1 \delta + C_2 = 0. \end{aligned}$$

Рішенням системи

$$\begin{cases} -k \frac{h^2}{12\delta^2} (6\delta - 8\delta h + 3h^2) + C_1 h + C_2 = 0; \\ -k \frac{\delta^2}{12} (11\delta^2 - 16\delta h + 12h^2) + C_1 \delta + C_2 = 0, \end{cases}$$

будуть наступні залежності щодо констант інтегрування:

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{k}{12(h-\delta)} \left[\frac{h^2}{\delta^2} (6\delta - 8\delta h + 3h^2) - \right. \\ &\quad \left. - (11\delta^2 - 16\delta h + 12h^2) \right]; \\ C_2 &= \frac{k}{12} \left[\left(1 + \frac{\delta}{h-\delta}\right) (11\delta^2 - 16\delta h + 12h^2) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{h^2}{\delta(h-\delta)} (6\delta - 8\delta h + 3h^2) \right]. \end{aligned}$$

Визначаємо середньоінтегральну швидкість течії робочого середовища в прикордонному шарі як:

$$\overline{w_x} = \frac{1}{\delta} \int_{h-\delta}^{\delta} w_x dy.$$

Оскільки:

$$w_x = -\frac{k}{\delta^2} \left[\frac{y^2}{2} (\delta - h)^2 + \frac{y^3}{3} (\delta - h) + \frac{y^4}{12} \right] + C_1 y + C_2,$$

то:

$$\begin{aligned} \int_{h-\delta}^h w_x dy &= \int_{h-\delta}^h \left\{ -\frac{k}{\delta^2} \left[\frac{y^2}{2} (\delta - h)^2 + \frac{y^3}{3} (\delta - h) + \frac{y^4}{12} \right] + \right. \\ &\quad \left. + C_1 y + C_2 \right\} dy = \\ &= -\frac{k}{\delta^2} \left[\frac{(\delta - h)^2}{6} (h^3 - (h - \delta)^3) + \frac{\delta - h}{12} (h^4 - (h - \delta)^4) \right] + \\ &\quad + \frac{C_1}{2} (h^2 - (h - \delta)^2) + C_2 \delta. \end{aligned}$$

Таким чином, середньоінтегральна швидкість течії:

$$\begin{aligned} \overline{w_x} &= -\frac{k}{\delta^3} \left[\frac{(\delta - h)^2}{6} (h^3 - (h - \delta)^3) + \frac{\delta - h}{12} \times \right. \\ &\quad \times (h^4 - (h - \delta)^4) + \frac{1}{60} (h^5 - (h - \delta)^5) \Big] + \\ &\quad + \frac{C_1}{2\delta} (h^2 - (h - \delta)^2) + C_2. \end{aligned}$$

Виходячи з визначення $\overline{w_x}$, витрата повітря в прикордонному шарі:

$$dG = d(\rho_0 \overline{w_x} d\delta) = \rho_0 l d(\overline{w_x} \delta),$$

де l – довжина пластини.

$$d(\overline{w_x} \cdot \delta) = d \left\{ -\frac{k}{\delta^2} \left[\frac{(\delta-h)^2}{6} (h^3 - (h-\delta)^3) + \frac{\delta-h}{12} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times (h^4 - (h-\delta)^4) + \frac{1}{60} (h^5 - (h-\delta)^5) \right] + \frac{C_1}{2} (h^2 - (h-\delta)^2) + C_2 \delta \right\}$$

Припустимо, що:

$$F = \frac{(\delta-h)^2}{6} (h^3 - (h-\delta)^3) + \frac{\delta-h}{12} \times \\ \times (h^4 - (h-\delta)^4) + \frac{1}{60} (h^5 - (h-\delta)^5),$$

тоді

$$d(\overline{w_x} \cdot \delta) = d \cdot \left[-\frac{k}{\delta^2} \cdot F + \frac{C_1}{2} (h^2 - (h-\delta)^2) + C_2 \delta \right] = \\ = \left[\frac{k}{2\delta^3} \cdot F - \frac{k}{\delta^2} \cdot F' + \frac{1}{2} (h^2 - (h-\delta)^2) C_1' + \right. \\ \left. + \frac{C_1}{2} (4h\delta - 3\delta)^2 + C_2' \delta + C_2 \right] d\delta,$$

де похідні від функцій F , C_1 та C_2 визначаються наступним чином:

$$F' = \frac{\delta-h}{3} [h^3 - (h-\delta)^3] + \frac{(\delta-h)^3}{2} + \frac{1}{12} \times \\ \times [h^4 - (h-\delta)^4] + \frac{(h-\delta)^4}{3}.$$

$$C_1' = \frac{k}{12(h-\delta)^2} \cdot \left[\frac{h^2}{\delta^2} (6\delta - 8\delta h + 3h^2) - (11\delta^2 - 16\delta h + 12h^2) \right] + \\ + \frac{k}{12(h-\delta)} \cdot \left[-\frac{2h^2}{\delta^3} (6\delta - 8\delta h + 3h^2) + \frac{h}{\delta^2} (6\delta - 8h) - \right. \\ \left. - (22\delta - 16h) \right]; \\ C_2' = \frac{k}{12} \cdot \left[\frac{1}{h-\delta} \cdot (33\delta^2 - 32\delta h + 12h^2) - \right. \\ \left. - \frac{\delta}{(h-\delta)^2} \cdot (11\delta^2 - 16\delta h + 12h^2) + \right. \\ \left. + \frac{3h^4}{\delta^2(h-\delta)} + \frac{h^2}{(h-\delta)^2} \cdot (6-8h + \frac{3h^2}{\delta}) \right].$$

На підставі того, що кількість теплоти, яка прийнята робочим середовищем в прикордонному шарі

$$dQ_1 = C_p \cdot \overline{\vartheta} \cdot dG,$$

та кількість теплоти, що віддана від нагрітої стінки

$$dQ_2 = \alpha \cdot \vartheta_c l \cdot dx$$

повинні бути рівними один одному, то

$$dQ_1 = dQ_2 \text{ або } C_p \cdot \overline{\vartheta} \cdot dG = \alpha \cdot \vartheta_c l dx,$$

де $\overline{\vartheta} = \frac{1}{\delta} \int_{h-\delta}^h \vartheta dy$ – середня температура робочого середовища в прикордонному шарі.

Оскільки

$$\vartheta = \vartheta_c \left[1 - \frac{2h-y}{\delta} + \frac{(h-y)^2}{\delta^2} \right] = \\ = \vartheta_c \left[1 + \frac{h}{\delta} \left(\frac{h}{\delta} - 2 \right) + \frac{2h}{\delta} \left(1 - \frac{1}{\delta^2} \right) y + \frac{y^2}{\delta^2} \right].$$

То

$$\int_{h-\delta}^h \vartheta dy = \vartheta_c \int_{h-\delta}^h \left[1 + \frac{h}{\delta} \left(\frac{h}{\delta} - 2 \right) + \frac{2h}{\delta} \left(1 - \frac{1}{\delta^2} \right) y + \frac{y^2}{\delta^2} \right] dy = \\ = \vartheta_c \left[\left(1 - \frac{h}{\delta} \right)^2 \cdot \delta + h(2h-\delta)^2 \left(1 - \frac{1}{\delta^2} \right) + \frac{h^3 - (h-\delta)^3}{3\delta^2} \right].$$

Таким чином, середня температура

$$\overline{\vartheta} = \frac{1}{\delta} \int_{h-\delta}^h \vartheta dy = \vartheta_c \times \\ \times \left[\left(1 - \frac{h}{\delta} \right)^2 + \frac{h}{\delta} (2h-\delta)^2 \left(1 - \frac{1}{\delta^2} \right) + \frac{h^3 - (h-\delta)^3}{3\delta^2} \right]$$

Прийнявши, що

$$N = \left(1 - \frac{h}{\delta} \right)^2 + \frac{h}{\delta} (2h-\delta)^2 \left(1 - \frac{1}{\delta^2} \right) + \frac{h^3 - (h-\delta)^3}{3\delta^2},$$

отримуємо

$$\overline{\vartheta} = N \vartheta_c.$$

На підставі того, що

$$dG = \rho_0 l \left[\frac{k}{2\delta^3} \cdot F - \frac{k}{\delta^2} \cdot F' + \frac{1}{2} (h^2 - (h-\delta)^2) \times \right. \\ \left. \times C_1' + \frac{C_1}{2} (4h\delta - 3\delta)^2 + C_2' \delta + C_2 \right] \cdot d\delta$$

та прийнявши

$$M = \frac{k}{2\delta^3} \cdot F - \frac{k}{\delta^2} \cdot F' + \frac{1}{2} \left(h^2 - (h - \delta)^2 \right) C_1' + \frac{C_1}{2} (4h\delta - 3\delta^2)^2 + C_2'\delta + C_2,$$

витрата робочого середовища визначиться як:

$$dG = \rho_0 l M d\delta$$

Таким чином

$$C_p \bar{g} \rho_0 l M d\delta = \frac{2\lambda}{\delta} g_c l dx,$$

або

$$M \cdot N \cdot \delta \cdot d\delta = \frac{2\lambda}{C_p \cdot \rho_0} dx.$$

Інтегрування приводить до наступної залежності:

$$\int M \cdot N \cdot \delta \cdot d\delta = \frac{2\lambda}{C_p \cdot \rho_0} x + C.$$

Так як при $x = 0$ товщина прикордонного шару $\delta = 0$, то $C = 0$.

Таким чином, висота вертикальної стінки:

$$x = \frac{C_p \cdot \rho_0}{2\lambda} \int M \cdot N \cdot \delta \cdot d\delta.$$

Чисельне вирішення представленого інтегрального рівняння дозволяє отримати наступну залежність:

$$X_{max} = 16 \frac{C_p \beta \rho_0^2 g \vartheta_c}{\mu \lambda} H^4,$$

де $H = 2h$ - загальна ширина міжреберного простору.

На підставі того, що $\alpha = \frac{2\lambda}{\delta}$, а при $X_{max} \rightarrow \delta = h$, то

$$\alpha_{X_{max}} = \frac{2\lambda}{h}.$$

Із урахуванням того, що на підставі [4] середнє значення коефіцієнта тепловіддачі:

$$\bar{\alpha} = \frac{4}{3} \alpha_{X_{max}},$$

отримаємо:

$$\bar{\alpha} = \frac{16 \lambda}{3 H}.$$

Зважаючи на те, що

$$Q = \bar{\alpha} F \vartheta_c,$$

при тому, що загальна потужність Q системи опалення є визначеною, потрібна площа поверхні теплотехнічного устаткування визначиться наступним чином:

$$F = \frac{3 Q H}{16 \lambda \vartheta_c}.$$

Висновки. В результаті проведених теоретичних досліджень отримані аналітичні залежності, які визначають раціональні геометричні параметри теплотехнічного устаткування пасажирського вагону, а саме: співвідношення між висотою ребра теплообмінника та відстанню між ними і загальну площу поверхні теплотехнічного устаткування.

Література

1. Залізничний транспорт // Міністерство інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/timeline/Zaliznichnyi-transport.html> (дата звернення: 12.04.2019).
2. Білошицький Е.В. Удосконалення функціонування систем опалення та вентиляції пасажирських вагонів: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Дніпро, 2019. 20 с.
3. Кузьменко С.В. Визначення режимів узгодженої роботи системи опалення з тепловим акумулятором / С.В. Кузьменко, А.В. Заверкін // Вісник СХУ ім. В. Даля, 2018. - № 2(243). - С. 140 – 143.
4. Теплопередача: Учебник для вузов / Исаченко В.П. и др. - М.: Энергоиздат. - 1981. - 416 с.
5. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. - М.: Мир. - 1983. - 512 с.

References

1. Zaliznychnyy transport // Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. URL: <https://mtu.gov.ua/timeline/Zaliznichnyi-transport.html> (data zvernennya: 12.04.2019).
2. Biloshyts'kyi E.V. Udoshkonalennya funktsionuvannya system opalennya ta ventilyatsiyi pasazhyr's'kykh vahoniv: avtoref. dys. ... kand. tekh. nauk. Dnipro, 2019. 20 s.
3. Kuz'menko S.V. Vyznachennya rezhymiv uzgodzhenoyi roboty systemy opalennya z teplovym akumulyatorom / S.V. Kuz'menko, A.V. Zaverkin // VISNYK SNU im. V. Dalia, 2018. - № 2(243). - S. 140 – 143.
4. Teploperedacha: Uchebnyk dlya vuzov / Isachenko V.P. i dr. - M.: Enerhoizdat. - 1981. - 416 s.
5. Kreyt F., Blék U. Osnovy teploperedachy. - M.: Myr. - 1983. - 512 s.

Кузьменко С.В., Заверкин А.В., Сергиенко О.В.
Определение рациональных геометрических параметров теплотехнического оборудования пассажирских вагонов.

В статье получены аналитические зависимости, определяющие рациональные геометрические параметры теплотехнического оборудования пассажирского вагона, а именно: соотношение между высотой ребра теплообменника и расстоянием между ними, и общую площадь поверхности теплотехнического оборудования, при условии их минимизации при соответствующей максимизации теплоотдачи.

Ключевые слова: пассажирский вагон, система кондиционирования, теплотехническое оборудование, теплообмен, теплоотдача, комфорт.

Kuzmenko S., Zaverkin A., Serhiienko O. Determination of rational geometrical parameters of the heat engineering equipment of passenger cars.

In the article analytical dependences that determine the rational geometrical parameters of the heat engineering equipment of the passenger car are obtained, namely: the ratio between the height of the edge of the heat exchanger and the distance between them, and the total surface area of the heat engineering equipment, provided that they are minimized with the appropriate maximization of heat transfer.

Keywords: passenger car, air conditioning system, heat engineering equipment, heat exchange, heat transfer, comfort.

Кузьменко С.В. – к.т.н, доцент, директор навчально-наукового інституту транспорту і логістики СХУ ім. В. Даля, kuzmenkosv@ukr.net.

Заверкін А.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СХУ ім. В. Даля, zaverkin@ukr.net.

Сергієнко О.В. - к.т.н., доцент, доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СХУ ім. В. Даля, sergienko.o.v@gmail.com.

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

Стаття подана: 19.04.2019

УДК 656.13

3D-MODEЛЬ ВЗАЄМОДІЇ РІЗНИХ ВИДІВ ТРАНСПОРТУ**Кунда Н.Т., Бабина Д.А.****3D MODELLING OF INTEROPERABLE MULTIMODAL TRANSPORTATION****Kunda N.T., Babyna D.A.**

У статті досліджено економічний аспект пошуку раціонального методу організації та гармонізації взаємодії різних видів транспорту при виконанні міжнародних перевезень вантажів. З метою забезпечення ефективної взаємодії різних видів транспорту та формування змішаного сполучення перевезення вантажів, з урахуванням, в першу чергу, потреб споживача транспортної послуги, запропоновано виконувати 3D-моделювання взаємодії сукупності доступних видів транспорту. За основу для моделювання було взято основні принципи теорії споживання. Побудована 3D-модель сприяє впровадженню принципів концепції синхромодальності як засобу збільшення конкурентоспроможності транспортної системи України.

Ключові слова: 3D-модель, взаємодія видів транспорту, синхромодальність, інтероперабельність, теорія споживання, бюджетне обмеження споживача транспортної послуги.

Вступ. Проблема гармонізації взаємодії різних видів транспорту набула особливого значення в рамках інтеграції інфраструктури країн-учасниць ЄС в єдину транспортну систему, а також в результаті поширення глобалізаційних процесів усіх галузей суспільного виробництва. З точки зору транспортного процесу, перевезення різними видами транспорту є доволі вигідним сполученням переваг окремо взятих видів транспорту та нівелюванням їх недоліків.

Постановка проблеми. Пошук найбільш раціонального методу організації взаємодії різних видів транспорту – з технічної, технологічної, економічної та екологічної точки зору – є актуальною проблемою сьогодення для організаторів транспортного процесу. Авторами пропонується до розгляду принципово новий метод організації взаємодії різних видів транспорту, економічно вигідний для споживача транспортної послуги, який полягає у пошуку оптимального синергетичного ефекту при взаємодії сукупності різних видів транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологічний аспект гармонізації взаємодії різних видів транспорту досліджувалася такими вітчизня-

ними науковцями, як Нагорний Є.В., Біловодська О.А. та Заболотній С.В. Економічну ефективність при мультимодальних перевезеннях досліджували Загурський О.М. та Волинець Л.М. Використання інструментарію економічної теорії споживання для моделювання транспортних процесів вперше було запропоновано Смаховим А.О.

Мета статті. Для досягнення максимальної ефективності взаємодії різних видів транспорту при перевезенні вантажів у міжнародному сполученні пропонується розглянути економічні показники транспортного процесу сукупності різних видів транспорту, не відокремлюючи кожен із них окремо. Такий підхід дозволить врахувати питомий вплив особливостей кожного виду транспорту та сумарний синергетичний ефект забезпечення максимального задоволення кінцевого споживача транспортної послуги.

Результати досліджень. В ході попереднього дослідження авторів щодо використання такого інструменту теорії споживання, як графоаналітична крива [1], було використано інтегральні технічні показники кожного виду транспорту, який використовувався на міжнародному маршруті м. Одеса (Україна) – м. Гамбург (Німеччина). Аналіз результатів дослідження показав, що такий підхід не враховує сукупного синергетичного ефекту при взаємодії різних видів транспорту. Тому пропонується використання індіферентної кривої для одночасної оцінки трьох видів транспорту – водного, залізничного та автомобільного. Для цього досліджувану індіферентну криву пропонується зобразити у 3D-площині.

Такий підхід дозволить чітко окреслити області інтероперабельності (експлуатаційної сумісності) різних видів транспорту, враховуючи сукупний економічний ефект для кінцевого споживача. Забезпечення інтероперабельності дозволить сформулювати передумови до інтеграції транспортної системи України у єдину гармонізовану транспортну систему ЄС, таким чином забезпечивши конкурентоспроможність та ефективність функціонування транс-

портної галузі, а разом і всіх інших (оскільки транспорт є потенційно важливою зв'язною ланкою) галузей суспільного виробництва [2].

Крім того, системний аналіз технологічних показників різних видів транспорту сприятиме розвитку та забезпеченню функціонуванню в Україні принципу синхромодальності. Концепція синхромодальності була сформована як нова віха у розвитку змішаних перевезень після унімодальності, мультимодальності та інтермодальності з метою максимально можливого використання вантажомісткості рухомого складу (рис. 1).

Концептуальні засади синхромодальності передбачають використання залізничного та внутрішнього водного (та/або морського) видів транспорту як переважаючих видів транспорту та гармонізовану перевалку з них на автомобільний транспорт для доставки «від дверей до дверей» [3]. За Холлером (Haller) синхромодальність «повинна сприяти міжгалузевій, міжнародній та транснаціональній співпраці усіх учасників логістичного ланцюга в межах гармонізованої системи інформаційних та транспортних комунікацій для забезпечення максимальної гнучкості та можливості зміни будь-якого виду транспорту в режимі реального часу за умови виникнення збоїв».

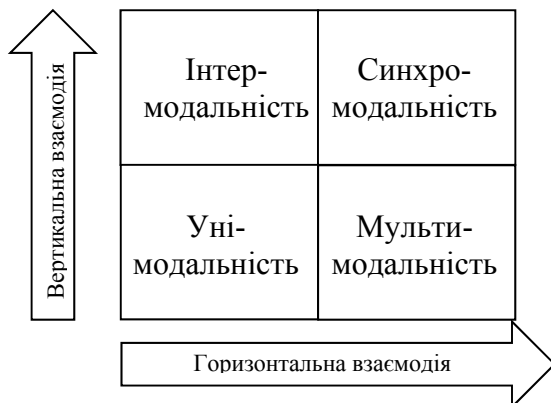


Рис. 1. Види взаємодії різних видів транспорту

При використанні принципу синхромодальності перевезник завчасно отримує інформацію лише щодо базових умов поставки (транспортні витрати, тривалість рейсу та підтвердження надійності інших учасників зовнішньоекономічної операції). Такі особливості синхромодальності забезпечуватимуть оптимізацію наявних ресурсів (транспортних одиниць, рухомого складу, складських приміщень тощо) [4]. Принцип синхромодальності неможливий без: забезпечення прозорості логістичного ланцюга (інтегровані процеси обміну інформацією), використання сучасних інноваційних телекомунікаційних технологій, ефективної взаємодії усіх учасників процесу перевезення, використання системного підходу до координації усіх процесів логістичного ланцюга, наявності гнучкої та безперебійної технології перевалки вантажів з одного виду транспорту на ін-

ший, безкоштовного бронювання усього або частини рухомого складу та консолідації вантажопотоків (рис. 2).

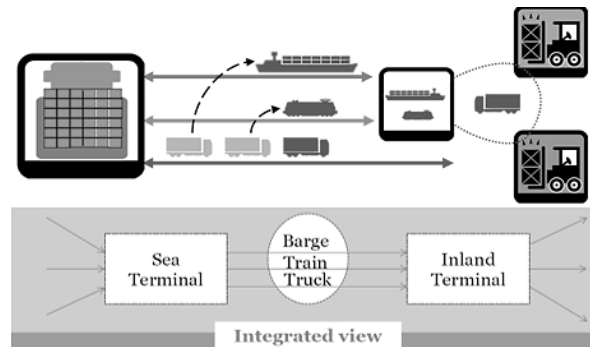


Рис. 2. Принцип синхромодальності

У ЄС принцип синхромодальності активно використовується в Бельгії, Нідерландах та Люксембургу. Де синхромодальність в першу чергу являє собою перепланування маршрутів руху в режимі реального часу в межах наявної транспортної мережі з метою уникнення затримок та збоїв у процесі перевезення; та засіб максимально швидкого реагування на зміни у потребах споживача транспортних послуг [5].

На території ЄС також діє нормативно-правовий акт, прийнятий урядом з метою підтримки та сприяння впровадженню принципу синхромодальності – Європейська Технологічна Платформа Інноваційного логістичного об'єднання шляхом взаємозв'язків у ЄС (European Technology Platform "Alliance for Logistics Innovation through collaboration in Europe" (ETP-ALICE)) [6]. Відповідно до даної платформи синхромодальність є першим та визначним кроком до розвитку транспортної системи ЄС у 2040 році.

З метою забезпечення виконання положень Національної транспортної стратегії України до 2030 року та ETP-ALICE пропонується авторами пропонується виконати 3D-моделювання сукупності різних видів транспорту з метою ефективної організації їх взаємодії.

Для вхідних даних приймаємо, що мультимодальне перевезення може виконуватися автомобільним, залізничним та морським видами транспорту; вантаж – обладнання для дому, яке перевозиться у повністю завантаженому (FCL) 40-футовому контейнері за маршрутом м. Одеса (Україна) – с. Гамбург (Німеччина). Ставка фрахту станом на 19.04.2019 [7-8] за один завантажений контейнер для автомобільного транспорту коливається від 1 082 до 1 837 дол. США; для залізничного виду транспорту – від 2 938 до 4 125 дол. США; для морського виду транспорту – від 450 до 555 дол. США. Зазначимо, що принципове рівняння індиферентної кривої кожного одиничного виду транспорту приймаємо рівним рівнянню параболи:

$$x_2 = x_2^2 - ax_2 + q, \quad (1)$$

де a, q – параметри параболи.

Запропонована 3D-модель поєднання сукупності різних видів транспорту передбачає побудову парабол як площин на трьохвісній координатній площині. Оскільки пряма бюджетного обмеження не належить до кривих другого порядку, вона не може бути відображена на 3D-моделі [9]. Тому запропонована модель може бути використана лише для порівняльного аналізу тарифної політики різних видів транспорту, які можливі до використання. Для визначення найбільш доцільного мультимодального сполучення із відображенням бюджетного обмеження на кривій індивідуальності, потрібно використовувати карту індивідуальних кривих [10].

Із використанням програмного забезпечення Graficus.ru [11] було збудовано 3D-модель поєднання сукупності різних видів транспорту (рис. 3). На рис. 3 нижня площина є представленням автомобільно-морського сполучення (із заміщенням морського виду транспорту автомобільним), а верхня – автомобільно-залізничного сполучення (із заміщенням залізничного виду транспорту автомобільним). За даних вхідних умов, враховуючи різницю у ставках фрахту, споживачу транспортної послуги доступно два види сполучення. $P_{\text{мор}}$, дол. США

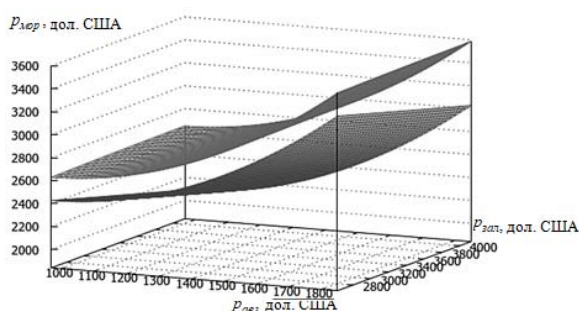


Рис. 3. 3D-модель поєднання автомобільного, залізничного та морського видів транспорту

Для визначення найбільш вигідного для споживача, скористаємося бюджетним обмеженням:

$$C_0 = p_1 x_1 + p_2 x_2, \quad (2)$$

де p_1, p_2 – тарифи на перевезення відповідно для першого та другого видів транспорту;

x_1, x_2 – цінність транспортної послуги відповідного виду транспорту для споживача (визначаємо за допомогою МНК).

За результатами розрахунків бюджетне обмеження для автомобільно-морського сполучення на 98% менше, ніж бюджетне обмеження для автомобільно-залізничного сполучення. Тому, з урахуванням бюджетного обмеження споживачу транспортної послуги, автомобільно-морське сполучення є економічнішим.

Висновок. З метою сприяння розвитку, забезпечення конкурентоспроможності та ефективності транспортної системи України пропонується використовувати принципи концепції синхромодальності та інтераперабельності. Авторами пропонується здійснення 3D-моделювання взаємодії сукупності різних видів транспорту для забезпечення даних принципів. В статті було побудовано 3D-модель поєднання автомобільного, залізничного та морського видів транспорту та визначено, що за заданих умов, споживач транспортної послуги матиме вибір між автомобільно-морським та автомобільно-залізничним сполученням. Згідно із бюджетним обмеженням, за умови перевезення вантажів у автомобільно-морському сполученні, споживачу транспортної послуги вдасться зекономити на 98% більше коштів, ніж у автомобільно-залізничному сполученні.

Література

1. Кунда Н.Т. Графоаналітична модель комбінації двох видів перевезень / Н.Т. Кунда, Д.А. Бабина // Вісник НТУ, серія «Технічні науки» – К.: НТУ, 2018. – Вип.1(40), с.170-177.
2. Офіційний сайт ВРУ. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: станом на 19.04.2019 р. / Кабінет Міністрів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80>.
3. Reza Karimpour, Fabio Ballini Synchromodality as a tool for decarbonization and optimization of logistics / On-TheMoSWay // Shipping, ports and transports, 2018. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://plus.google.com/share?url=https://www.onthemosway.eu/synchromodality-as-a-tool-for-decarbonization-and-optimization-of-logistics/>.
4. Haller, A., Pfoser, S., Putz, L.-M., Schauer, O. 2015. Historical Evolution of Synchromodality: A First Step Towards the Vision of Physical Internet. Proceedings of the Second Physical Internet Conference, 6-8 July, Paris, France.
5. Tomas Ambra, An Caris, Cathy Macharis Toward freight transport system unification: reviewing and combining the advancements in the physical internet and synchromodal transport research / ResearchGate // International Journal of Production Research, 2018. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/326224192>.
6. Alliance for logistics innovation through collaboration in Europe. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.etp-logistics.eu/>.
7. Офіційний сайт SeaRates LTD: Pricing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.searates.com/services/distances-time/>.
8. Офіційний сайт World Freight Rates: Freight Calculator & Current Market Rate [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.worldfreightrates.com/en/freight>.
9. Гавриленко В.В., Величко К.С., Алексєнко К.М. Mathcad в інженерних розрахунках. Частина 1. Посібник для студентів інженерних спеціальностей НТУ / Укл. В.В. Гавриленко, К.С. Величко, К.М. Алексєнко. – К.: НТУ, 2004. – 127 с.
10. МИКРОЕКОНОМІКА 8-е изд., пер. и доп. ... и практикум для академического бакалавриата / Е. Б. Яковлева [и др.] ; под общ. ред. Е. Б. Яковлевой. – 8-е изд., пер. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2018. – 355 с.

11. Офіційний сайт Graficus.ru [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://grafikus.ru>.

References

1. Kunda N.T., Babyna D.A. The combination of two modes of transport by semigraphical model. Visnyk of NTU. Technical sciences. Kyiv. National Transport University. 2018. Vol. 1(40), p.170-177.
2. Official site of the Verkhovna Rada of Ukraine. The National strategy for the development of transportation till 2030 year / The Chamber of Ministers. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80>.
3. Reza Karimpour, Fabio Ballini Synchromodality as a tool for decarbonization and optimization of logistics / On-TheMoSWay // Shipping, ports and transports, 2018 Retrieved from <https://plus.google.com/share?url=https://www.onthemosway.eu/synchromodality-as-a-tool-for-decarbonization-and-optimization-of-logistics/>.
4. Haller, A., Pfoser, S., Putz, L.-M., Schauer, O. 2015. Historical Evolution of Synchromodality: A First Step Towards the Vision of Physical Internet. Proceedings of the Second Physical Internet Conference, 6-8 July, Paris, France.
5. Tomas Ambra, An Caris, Cathy Macharis Toward freight transport system unification: reviewing and combining the advancements in the physical internet and synchromodal transport research / ResearchGate // International Journal of Production Research, 2018. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/326224192>.
6. Alliance for logistics innovation through collaboration in Europe. Retrieved from <http://www.etp-logistics.eu/>.
7. Official site of SeaRates LTD: Pricing Retrieved from <https://www.searates.com/services/distances-time/>.
8. Official site of World Freight Rates: Freight Calculator & Current Market Rate. Retrieved from <https://www.worldfreightrates.com/en/freight>.
9. Havrylenko V.V., Velychko K.S., Aleksieienko K.M. Using the Mathcad for the engineering. Part 1. The training manual for students of NTU specializing in Engineering / V.V. Havrylenko, K.S. Velychko, K.M. Aleksieienko – Kyiv: NTU, 2004. – 127 p.
10. Microeconomy the 8 volume, and training manual for those who is obtaining Bachelor's degree / E. B. Yakovleva etc. – Moscow : Yurait Publishing house, 2018. – 355 p.
11. Official site of Graficus.ru. Retrieved from <http://grafikus.ru>.

Кунда Н.Т., Бабина Д.А. 3D-модель взаимодействия различных видов транспорта.

В статье было исследовано экономический аспект поиска рационального метода организации и гармонизации взаимодействия разных видов транспорта при международных грузовых перевозках. С целью обеспечения эффективности взаимодействия разных видов транспорта и формирования смешанного сообщения перевозки грузов, с учетом, в первую очередь, потребностей потребителя транспортной услуги, предложено выполнить 3D-моделирование взаимодействия совокупности доступных видов транспорта. За основу для моделирования были взяты основные принципы теории потребления. Составленная 3D-модель способствует внедрению принципов концепции синхромодальности как средства увеличения конкурентоспособности транспортной системы Украины.

Ключевые слова: 3D-модель, взаимодействие видов транспорта, синхромодальность, интероперабельность, теория потребления, бюджетное ограничение потребителя транспортной услуги.

Kunda N.T., Babyna D.A. 3D modelling of interoperable multimodal transportation.

The main objectives of this paper are to examine and find out the most efficient way of managing smooth multimodal transportation within the economic dimension. In order to manage the interoperability of different modes of transport and design the effective multimodal transportation of goods we offer to use the 3D simulation of multimodal transportation of goods. It also can help the logistics manager to meet the customers' requests in much more easy way and be flexible enough to re-route the whole transportation, if necessary. The consumption theory methodology was used to make the mentioned 3D model. Which therefore provides proper conditions for implementation of synchromodal transportation in Ukraine. The main advantages of the synchromodality for our country can be the following: increasing the profitability, enabling the competition roll-out and improving the quality of the customers' service.

Keywords: 3D simulation, the collaboration of different modes of transport, synchromodality, interoperability, the budget constraint of mobility consumer

Кунда Н. Т. – к.т.н, Національний транспортний університет, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: ntkunda@gmail.com.

Бабина Д.А. – магістр кафедри міжнародних перевезень і митного контролю, Національний транспортний університет, e-mail: lalka_motalka@ukr.net.

Рецензент: д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

Стаття подана 12.04.2019

УДК 629.463.3:656.211.7

ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНИ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПОРОМІ

Ловська А. О., Рибін А. В.

FEATURES OF DYNAMIC LOADING OF TANK-CONTAINER FOR TRANSPORTATION ON RAILWAY FERRY

Lovska A. O., Rybin A. V.

В статті наведені результати досліджень динамічної навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі у складі комбінованого поїзда. Визначено прискорення, як складову динамічного навантаження, яке діє на контейнер-цистерну при кутових переміщеннях залізничного порому навколо поєздовжньої осі (крен). Розраховано допустимий кут крену залізничного порому при якому забезпечується стійкість контейнера-цистерни відносно рами вагона-платформи. Проведені дослідження сприятимуть забезпеченню безпеки перевезень контейнерів-цистерн на залізничних поромах морем.

Ключові слова: контейнер-цистерна; несуча конструкція; динаміка; моделювання; прискорення; навантаженість конструкції; залізнично-поромна перевезення.

Вступ. Розвиток зовнішньоекономічних зв'язків між євразійськими державами сприяє створенню комбінованих транспортних систем. Відомо, що одним з найбільш поширених транспортних засобів при комбінованих перевезеннях є контейнери та контейнери-цистерни.

Впровадження в експлуатацію міжнародного транспортного коридору з України у Китай зумовлює необхідність дослідження динамічної навантаженості контейнерів (контейнерів-цистерн) при перевезенні на залізничних поромах у складі поїздів комбінованого транспорту.

Питання перевезення контейнерів-цистерн морем потребує особливої уваги, оскільки наявність вільної поверхні викликає додаткову навантаженість несучої конструкції контейнера-цистерни, а відповідно, впливає на його стійкість відносно рами вагона-платформи.

Для забезпечення безпеки перевезень контейнерів-цистерн важливим є визначення допустимих кутів крену залізничного порому при яких забезпечується їх стійкість з урахуванням типової схеми взаємодії з фітінговими упорами. Проведені дослідження дозволять створити

рекомендації щодо безпечного перевезення контейнерів-цистерн на залізничних поромах у міжнародному сполученні. Це сприятиме виготовленню контейнерів-цистерн нового покоління з покращеними техніко-економічними та екологічними характеристиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати дослідження напруженого стану контейнера-цистерни ISO за методом скінчених елементів, реалізованого в програмному комплексі ABAQUS наведені у [1]. Розрахунок проведений при статичному навантаженні у відповідності до ISO 1496–3. Метою розрахунку було визначення відхилень кутів рами та вертикальних відхилень резервуара.

При проведенні розрахунків у даній роботі до уваги не приймалася динамічна навантаженість несучої конструкції контейнера-цистерни при найбільш несприятливих експлуатаційних режимах.

Особливості експериментальної оцінки спектру ударного відгуку рухомого складу проводиться у [2]. В роботі наведені результати обробки випробувань контейнера-цистерни моделі CTL–26/0,4 типа UN T14 при різних режимах ударного навантаження.

Однак в роботі не приділяється уваги питанню дослідження динамічної навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі.

Результати визначення міцності удосконаленої конструкції контейнера-цистерни для перевезення та збереження зрідженого природного газу наведені у [3]. Розрахунок проведений у програмному комплексі SolidWorks Simulation. Визначено витоки тепла та часу зберігання вантажу у контейнері-цистерні.

Дослідження динамічної навантаженості контейнера-цистерни та заходи щодо удосконалення несучої конструкції в роботі не приведені.

Моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи з контейнерами, розміщеними на ньому проводиться у [4]. Визначено величини динамічних навантажень, які діють на вагон-платформу та контейнери при найбільш несприятливих режимах.

Однак в роботі не висвітлюються питання щодо визначення динамічної навантаженості контейнер-цистерни при перевезенні на залізничному поромі.

Особливості розрахунку напружено-деформованого стану контейнера-цистерни моделі T11 при найбільш несприятливих режимах проводиться у [5]. Розрахунок проведений за методом скінчених елементів, реалізованого в програмному пакеті DSMFem. Результати, отримані теоретичним шляхом, підтверджені експериментальним, що проведений за методом електричного тензометрування.

При здійсненні розрахунків на міцність враховані нормативні величини динамічних навантажень, які діють на контейнер-цистерну.

Шляхи покращення техніко-економічних показників та динамічних властивостей одиниць рухомого складу в експлуатації розглянуті у [6]. Питанню визначення динамічної навантаженості контейнерів-цистерн в даній роботі уваги не приділяється.

Дослідження динамічної навантаженості контейнерів-цистерн при маневровому співударянні з урахуванням недоливу котла наливним вантажем проводиться у [7]. Запропоновано заходи щодо зменшення динамічної навантаженості контейнера-цистерни. Однак дослідження динамічної навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі в роботі не проводиться.

Мета статті. Висвітлення особливостей дослідження динамічної навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі.

Для досягнення поставленої мети визначені такі задачі:

1. Математичне моделювання динамічної навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі;

2. Визначення коефіцієнту стійкості контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для дослідження динамічної навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі складено математичну модель (1). Модель враховує наявність переміщень складових системи “залізничний пором – вагон-платформа – контейнер-цистерна – наливний вантаж”.

Розрахунки проведені для контейнера-цистерни типорозміру 1СС, розміщеного на вагоні-платформі моделі 13-4012М. Враховано, що переміщення вагона-платформи з контейнерами-цистернами здійсню-

ється через акваторію Чорного моря на залізничному поромі “Герои Шипки”. Фрагмент залізничного порому, завантажений контейнерним поїздом наведений на рис. 1.

Схема закріплення вагона-платформи з контейнерами-цистернами відносно палуби наведена на рис. 2. При цьому використовуються ланцюгові стяжки 1 (вісім одиниць на вагон) та механічні упордомкрати 2 (чотири одиниці на вагон), які призначені для виключення роботи ресорного підвішування під час перевезення морем. Під колеса крайніх в зчехах вагонів встановлюються гальмові башмаки для попередження переміщень у повздовжньому напрямку при диференті [8, 9].

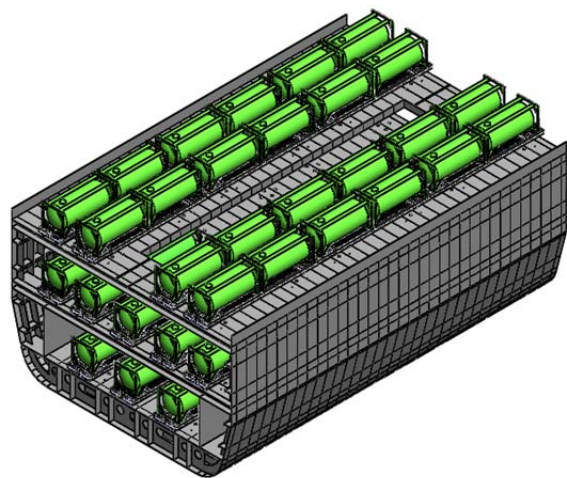


Рис. 1. Фрагмент залізничного порому, завантажений контейнерним поїздом

До уваги прийняті кутові переміщення залізничного порому відносно повздовжньої осі, як випадок найбільшої навантаженості несучої конструкції (еквівалент коливань бічна хитамиця в “Динаміці вагонів”), а також впливу на стійкість контейнерів відносно рами вагона-платформи (рис. 3).

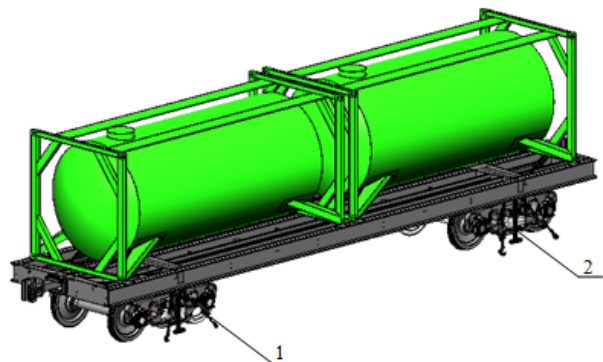


Рис. 2. Схема закріплення вагона-платформи з контейнерами-цистернами відносно палуби

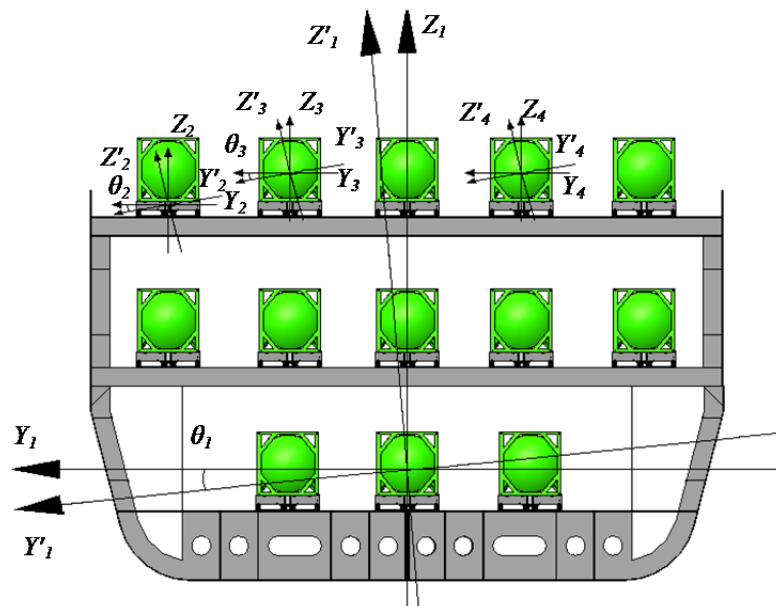


Рис. 3. Розрахункова схема для дослідження динамічної навантаженості контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при коливаннях залізничного порому

$$\begin{cases} \left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{\theta}_1 + \left(\Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{\theta}_1 = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \cdot F(t), \\ I_{\text{ВПФ}} \cdot \ddot{\theta}_2 = p'_{\text{ВПФ}} \cdot \frac{h_{\text{ВПФ}}}{2} + M_{\text{ВПФ}}^{\text{П}} + M_{\text{ВПФ}}^{\text{К}}, \\ \left(I_{\text{в}} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}^2 \right) \ddot{\theta}_3 + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\theta}_4 - g \cdot \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \right) \cdot \theta_3 = M_{\text{К}}^{\text{ВПФ}}, \\ I_{ij} \cdot \ddot{\theta}_4 - m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\theta}_3 + g \cdot m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \theta_4 = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де $q_1 = \theta_1$, $q_2 = \theta_2$, $q_3 = \theta_3$, $q_4 = \theta_4$ – узагальнені координати, що відповідають кутовому переміщенню відносно поздовжньої осі залізничного порому, вагона-платформи, контейнера-цистерни й наливного вантажу, відповідно.

Початок системи координат розміщений у центрі мас залізничного порому.

для залізничного порому: D – вагове водовитіснення; B – ширина залізничного порому; h – висота борта залізничного порому; Λ_0 – коефіцієнт опору коливанням; z_g – координата центру ваги залізничного порому; p' – вітрове навантаження; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збудує рух залізничного порому з вагонами, розміщеними на його палубах.

для вагона-платформи: $I_{\text{ВПФ}}$ – момент інерції вагона-платформи відносно поздовжньої осі; $p'_{\text{ВПФ}}$ – вітрове навантаження на бокову проекцію вагона-платформи; $h_{\text{ВПФ}}$ – висота бокової проекції вагона-платформи; $M_{\text{ВПФ}}^{\text{П}}$ – момент сил, який виникає між вагоном-платформою та палубою залізничного порому; $M_{\text{ВПФ}}^{\text{К}}$ – момент сил, який виникає між вагоном-платформою та контейнером-цистерною.

для контейнера-цистерни та наливного вантажу:

I_{ij} – момент інерції маятника; m_{ij} – маса j -го маятника у i -му контейнері-цистерні; c_{ij} – відстань від площини $z_i = 0$ до точки закріплення j -го маятника у i -му контейнері-цистерні; l_{ij} – довжина j -го маятника; I_0 – приведений момент інерції i -го контейнера-цистерни та наливного вантажу, що не бере участі в русі відносно котла; z_{ci} – висота центру ваги контейнера-цистерни; m_i – маса тіла, яке еквівалентне i -му контейнеру-цистерні з частиною наливного вантажу, що не бере участі в переміщенні відносно котла; $M_{\text{К}}^{\text{ВПФ}}$ – момент сил, що виникає між контейнером-цистерною та вагоном-платформою.

Закон дії зусилля, яке збудує рух залізничного порому описується рівнянням [10]:

$$\begin{cases} x = a + R e^{kb} \sin(ka + \omega t), \\ z = b - R e^{kb} \cos(ka + \omega t) \end{cases} \quad (2)$$

де a та b – горизонтальна та вертикальна координати центра траєкторії, за якою обертається частинка, що має на даний час координати x та z ; R – радіус траєкторії, за якою здійснюється оберт частинки; ω – частота морської хвилі; k – частота траєкторії збудуючого зусилля.

Визначення коефіцієнту опору коливанням залізничного порому здійснено за методикою, наведеною у [11].

В якості наливного вантажу прийнятий бензин. Гідродинамічні характеристики наливного вантажу розраховувалися з урахуванням максимально допустимої завантаженості котла контейнера-цистерни. Рух наливного вантажу описано сукупністю математичних маятників [12].

Розв'язання математичної моделі здійснено в середовищі програмного забезпечення MathCad [13, 14]. При цьому вона зведена до нормальної форми Коші $\dot{y}(t) = Q(t, y)$.

Вирішення системи диференціальних рівнянь (1) у нормальній формі проведено інтегруванням за методом Рунге-Кутта.

При цьому: $y_1 = \theta_1$, $y_2 = \dot{\theta}_1$,

$$y_3 = \theta_2, \quad y_4 = \dot{\theta}_2,$$

$$y_5 = \theta_3, \quad y_6 = \dot{\theta}_3,$$

$$y_7 = \theta_4, \quad y_8 = \dot{\theta}_4.$$

Перехід від системи диференціальних рівнянь другого порядку (1) до системи диференціальних рівнянь першого порядку (3) проведений для застосування стандартних алгоритмів вирішення системи в Mathcad [15]:

$$Z(t, y) = \begin{bmatrix} y_2 \\ y_4 \\ y_6 \\ y_8 \\ \frac{p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \ddot{F}(t) - \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) y_2}{\left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right)} \\ \frac{p'_{шпо} \cdot \frac{h_{шпо}}{2} + M_{шпо}'' + M_{шпо}^K}{I_{шпо}} \\ \frac{M_{шк}'' - \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \dot{y}_8 + g \cdot \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \right) \cdot y_5}{\left(I_{ш} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}^2 \right)} \\ \frac{m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \dot{y}_8 - g \cdot m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot y_7}{I_{ij}} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$Z = rkfixed(Y0, tn, tk, n, Q)$$

де $Y0$ – вектор, який містить початкові умови, tn , tk – величини, які визначають початкову й кінцеву зміну інтегрування, n – фіксоване число кроків, Q – символічний вектор.

Початкові умови взяті рівними нулю.

На підставі проведеного розрахунку встановлено, що максимальна величина прискорення, яка діє на контейнер-цистерну складає близько 0,9 g. Дана величина прискорення приведена з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння, обумовленої кутом крену залізничного порому θ .

Отримана величина прискорення врахована при розрахунку допустимого кута крену, при якому забезпечується стійкість контейнера-цистерни відносно рами вагона-платформи [16].

Умова стійкості має вигляд:

$$k_c = \frac{M_{відн}}{M_{пер}} \geq 1, \quad (4)$$

де $M_{відн}$ – величина відновного моменту; $M_{пер}$ – величина перекидного моменту.

$$M_{пер} = p'_k \cdot \frac{h_k}{2} + M_{бр} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{\theta}_4) \cdot \frac{h_k}{2}, \quad (5)$$

$$M_{відн} = P_{бр} \cdot \cos \theta \cdot \frac{B_k}{2} + n_\phi \cdot (M_{бр} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{\theta}_4)) \cdot \frac{h_\phi}{2}, \quad (6)$$

де p'_k – вітрове навантаження на бокову проекцію контейнера-цистерни; h_k – висота контейнера-цистерни; $M_{бр}$ – маса брутто контейнера-цистерни; $P_{бр}$ – вага брутто контейнера-цистерни; B_k – ширина контейнера-цистерни; n_ϕ – кількість фітингових упорів, на які опирається контейнер-цистерна за кутових переміщень відносно поздовжньої осі; h_ϕ – висота фітингового упору.

Результати розрахунку наведені на рис. 4. З рис. 4 видно, що стійкість контейнера-цистерни для випадку наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнера-цистерни відносно рами забезпечується при куті крену до 10° .

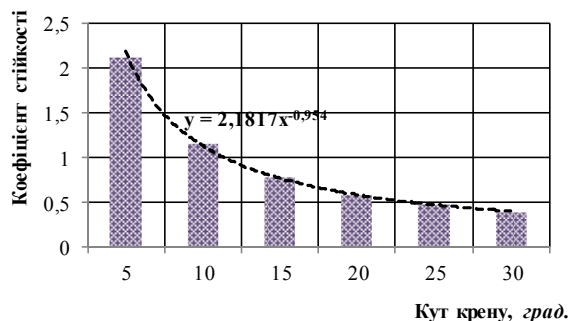


Рис. 4. Залежність коефіцієнта стійкості контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі від кута крену залізничного порому

Висновки. На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Складено математичну модель для визначення динамічної навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі. Встановлено, що загальна величина прискорення, яка діє на контейнер-цистерну при перевезенні на залізничному поромі складає близько 0,9 g;

2. Визначено коефіцієнт стійкості контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі. Стійкість контейнера-цистерни відносно рами вагона-платформи забезпечується при куті крену до 10° ;

3. Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо забезпечення безпеки пе-

ревежень контейнерів-цистерн на залізничних поромках морем, удосконаленню схеми взаємодії контейнера-цистерни з вагоном-платформом, а також підвищенню ефективності експлуатації комбінованих перевезень.

Література

1. Bhattacharyya, Rudraprasad. A study on stress analysis of ISO tank container / Rudraprasad Bhattacharyya, Abhishek Hazra. // 58th Congress of The Indian Society of Theoretical and Applied Mechanics. – 2013. P. 1–5.
2. Третьяков, А. В. Экспериментальная оценка спектров ударного отклика подвижного состава / А. В. Третьяков, О. А. Третьяков, М. В. Зимакова, А. А. Петров // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2017. – № 3 (69). – С. 147–159.
3. Lisowski, E. Transport and storage of LNG in container. / E. Lisowski, W. Czyzycki // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2011. Vol. 18, Issue 3. – P. 193–201.
4. Lovska, A. Simulation of loads on the carrying structure of an articulated flat car in combined transportation / A. Lovska // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, Issue 4.3. – P. 140–146. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19724>
5. Макеев, С. В. Особенности расчета напряженно-деформированного состояния танка-контейнера с учетом реального нагружения в эксплуатации / С. В. Макеев, П. М. Буйленков // НАУКА–ОБРАЗОВАНИЕ–ПРОИЗВОДСТВО: Опыт и перспективы развития: сборник материалов XIV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Е. Г. Зудова (8–9 февраля 2018 г.): в 2-х т. – Т. 1: Горно-металлургическое производство. Машиностроение и металлообработка. – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ. – 2018. – С. 174–184.
6. 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. – 3. P. 68–76.
7. Fomin, Olexsij. Analysis of dynamic loading of improved construction of a tank container under operational load modes / Olexsij Fomin, Alyona Lovska, Olexsandr Gorobchenko, Serhii Turpak, Iryna Kyrychenko, Olexsij Burlutski // EUREKA: Physics and Engineering. – 2019. – №2. – P. 61 – 70.
8. Землезин, И. Н. Методика расчета и исследования сил, действующих на вагон при транспортировке на морских паромках / И. Н. Землезин. – Москва: Транспорт, 1970. – 104 с.
9. Шмаков, М. Г. Специальные судовые устройства : справ. пособие / М. Г. Шмаков. – Ленинград : Судостроение, 1975. – 344 с.
10. Луговский В. В. Динамика моря: Избр. вопросы связ. с учением мореходности корабля: [Учебник для втузов по специальности “Гидроаэродинамика”] / В. В. Луговский. – Л.: Судостроение, 1976. – 199 с.
11. Благовещенский С. Н. Справочник по статике и динамике корабля. В двух томах. Изд. 2 – е. перераб. и доп. Том 2. Динамика (качка) корабля / С. Н. Благовещенский, А. Н. Холодилин. – Л., “Судостроение”, 1975. – 176 с.
12. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автоцепку / Г. И. Богомаз, Д. Д. Мехов, О. П. Пилипенко, Ю. Г. Черномашенцева // Динамика та керування рухом механічних систем: зб. наук. пр. / АНУ, ін-т техн. механіки. – Київ, 1992. – С. 87–95.
13. Кирьянов, Д. В. Mathcad 13. СПб.: БХВ. Петербург, 2006. – 608 с.
14. Дьяконов, В. MATHCAD 8/2000: специальный справочник. СПб.: Питер, 2000. – 592 с.
15. Дьомін, Ю. В. Основи динаміки вагонів: навч. посіб. / Дьомін Ю. В., Черняк Г. Ю. – Київ: КУЕТТ, 2003. – 269 с.
16. Ловська, А. О. Визначення навантаженості контейнерів у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом / А. О. Ловська // Наука та прогрес транспорту. – 2017. – № 6 (72). – С. 49–60. doi: [10.15802/stp2017/118993](https://doi.org/10.15802/stp2017/118993)

References

1. Bhattacharyya, Rudraprasad. A study on stress analysis of ISO tank container / Rudraprasad Bhattacharyya, Abhishek Hazra. // 58th Congress of The Indian Society of Theoretical and Applied Mechanics. – 2013. P. 1–5.
2. Tretyakov, A. V. Eksperimentalnaya otsenka spektrov udarnogo otklika podvizhnogo sostava / A. V. Tretyakov, O. A. Tretyakov, M. V. Zimakova, A. A. Petrov // Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu. – 2017. – № 3 (69). – S. 147–159.
3. Lisowski, E. Transport and storage of LNG in container. / E. Lisowski, W. Czyzycki // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2011. Vol. 18, Issue 3. – P. 193–201.
4. Lovska, A. Simulation of loads on the carrying structure of an articulated flat car in combined transportation / A. Lovska // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, Issue 4.3. – P. 140–146. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19724>
5. Makeev, S. V. Osobennosti rascheta napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya tanka-konteynera s uchetom realnogo nagruzheniya v ekspluatatsii / S. V. Makeev, P. M. Buylenkov // NAUKA–OBRAZOVANIE–PROIZVODSTVO: Opyit i perspektivy razvitiya: sbornik materialov HIV Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii, posvyaschennoy pamyati doktora tehnikeskikh nauk, professora E. G. Zudova (8–9 fevralya 2018 g.): v 2–h t. – T. 1: Gorno-metallurgicheskoe proizvodstvo. Mashinostroenie i metalloobrabotka. – Nizhniy Tagil: NTI (filial) UrFU. – 2018. – S. 174–184.
6. 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. – 3. P. 68–76.
7. Fomin, Olexsij. Analysis of dynamic loading of improved construction of a tank container under operational load modes / Olexsij Fomin, Alyona Lovska, Olexsandr Gorobchenko, Serhii Turpak, Iryna Kyrychenko, Olexsij Burlutski // EUREKA: Physics and Engineering. – 2019. – №2. – P. 61 – 70.
8. Zemlezin, I. N. Metodika rascheta i issledovaniya sil, deystviyuschih na vagon pri transportirovke na morskikh paromah / I. N. Zemlezin. – Moskva: Transport, 1970. – 104 s
9. Shmakov, M. G. Spetsialnyie sudovye ustroystva : sprav. posobie / M. G. Shmakov. – Leningrad : Sudostroenie, 1975. – 344 s.

10. Lugovskiy V. V. Dinamika morya: Izbr. voprosy svyaz. s ucheniem morehodnosti korablya: [Uchebnik dlya vtuzov po spetsialnosti "Gidroaerodinamika"] / V. V. Lugovskiy. – L.: Sudostroenie, 1976. – 199 s.
11. Blagoveschenskiy S. N. Spravochnik po statike i dinamike korablya. V dvuh tomah. Izd. 2 – e. pererab. i dop. Tom 2. Dinamika (kachka) korablya / S. N. Blagoveschenskiy, A. N. Holodilin. – L., "Sudostroenie", 1975. – 176 s.
12. Nagruzhennost konteynerov-tsistern, raspolzhenyih na zheleznodorozhnoy platforme, pri udarah v avtostsepu / G. I. Bogomaz, D. D. Mehov, O. P. Pilipchenko, Yu. G. Chernomashentseva // Dinamika ta keruvannya ruhom mehanichnih sistem: zb. nauk. pr. / ANU, In-t tehn. mehaniki. – Kyiv, 1992. – S. 87–95.
13. Kiryanov, D. V. Mathcad 13. SPb.: BHV. Peterburg, 2006. – 608 c.
14. Dyakonov, V. MATHCAD 8/2000: spetsialniy spravochnik. SPb.: Piter, 2000. – 592 c.
15. Domin, Yu. V. Osnovi dinamiki vagoniv: navch. posib. / Domin Yu. V., Chernyak G. Yu. – Kyiv: KUETT, 2003. – 269 s.
16. Lovska, A. O. Viznachennya navantazhenosti konteyneriv u skladi kombinovanih poyizdiv pri perevezenni zaliznichnim poromom / A. O. Lovska // Nauka ta progres transportu. – 2017. – № 6 (72). – S. 49–60. doi: 10.15802/stp2017/118993

Ловская А. А., Рыбин А. В. Особенности исследования динамической нагруженности контейнера-цистерны при перевозке на железнодорожном пароме

В статье приведены результаты исследований динамической нагруженности контейнера-цистерны при перевозке на железнодорожном пароме в составе комбинированного поезда. Определены ускорения, как составляющие динамической нагрузки, действующие на контейнер-цистерну при угловых перемещениях железнодорожного парома относительно продольной оси (крен). Рассчитан допустимый угол крена железнодорожного паро-

ма при котором обеспечивается устойчивость контейнера-цистерны относительно рамы вагона-платформы. Проведенные исследования будут способствовать обеспечению безопасности перевозок контейнеров-цистерн на железнодорожных паромах морем.

Ключевые слова: контейнер-цистерна; несущая конструкция; динамика; моделирование; ускорение; нагруженность конструкции; железнодорожно-паромные перевозки.

Lovska A. O., Rybin A. V. Features of dynamic loading of tank-container for transportation on railway ferry

The article presents the results of studies of the dynamic loading of the tank container during transportation on the railway ferry as part of a combined train. The accelerations are determined as components of the dynamic load acting on the tank container during the angular displacements of the railway ferry relative to the longitudinal axis (roll). The permissible angle of roll of the railway ferry is calculated at which the stability of the tank container relative to the frame of the platform car is ensured. The research will contribute to ensuring the safety of container tankers on rail ferries by sea.

Keywords: tank container; basic structure; dynamics; modeling; acceleration; structural load; rail ferry transportation.

Ловська А. О. – к.т.н., доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: alyonalovskaya.vagons@gmail.com.

Рибін А. В. – старший викладач кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: rubynandrey2006@gmail.com.

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

Стаття подана 08.04.2019

УДК 621.753.1: 338.658

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВАРТОСТІ РЕМОНТУ ВАГОННОГО ВУЗЛА ВІД РОЗПОДІЛЕННЯ ДОПУСКІВ ОБРОБКИ ОКРЕМИХ ЙОГО ДЕТАЛЕЙ

Міляннич А.Р.

THE DEPENDENCE OF THE COST OF REPAIR OF WAGON NODE ON THE DISTRIBUTION OF ADMISSION FOR THE PROCESSING OF CERTAIN DETAILS

Milyanich A.

У статті автором розглянуто питання витрат на виготовлення вагонного вузла, тому, що витрати на ремонт вузла із певними допусками, який складається із зібраних впритул деталей вантажних вагонів, можуть доволі суттєво відрізнятися для його складових. Допуски, які розраховані способом максимум – мінімум, отримуються доволі жорсткими, що сприяє різкому підвищенню вартості виробництва. Виконано розрахунок мінімізації витрат при обмеженні допусків за допомогою методу множників Лагранжа, який показує, що зменшення загальних витрат буде тоді, коли допуски більш дорогих деталей будуть зростати, а допуски дешевших деталей зменшуватись.

Ключові слова: вантажні вагони, надійність, допуск обробки, вартість ремонту.

Вступ. Експлуатаційні показники вузлів і механізмів вантажних залізничних вагонів (довговічність, надійність, точність тощо) у значній степені залежать від правильності вибору посадок, допусків форми та розташування, шорсткості поверхні. У складеному вузлі деталі пов'язані одна з іншою, і відхилення розмірів, форми та розташування осей або поверхонь однієї будь-якої із деталей викликає відхилення в інших деталях. Ці відхилення, додаючись, впливають на експлуатаційні показники вузлів і механізмів вагонів.

Постановка проблеми. Рішення проблеми витрат на виготовлення вагонного вузла із певними допусками є пов'язана із оптимізацією, яка повинна забезпечувати надійність та продовження терміну експлуатації вантажних вагонів.

Загальновідомо, що допуск – різниця між найбільшими та найменшими граничними значеннями параметрів, задається на геометричні розміри деталей, механічні, фізичні та хімічні властивості [1]. Вони призначаються (вибираються) виходячи із технологічної точності або вимог до даного вагонного

вузла. Будь-яке значення параметру, що перебуває у заданому інтервалі, є допустимим.

Для встановлення допусків форми та розташування був вибраний спосіб розрахунку на максимум – мінімум, як найбільш універсальний та наочний. Він базується на припущенні про можливість виникнення несприятливого збігу відхилень у окремих деталях вагонного вузла. Допуски, які розраховані способом максимум – мінімум, отримуються доволі жорсткими, що сприяє різкому підвищенню вартості виробництва [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Останнім часом значна увага надається питанням присвячених підвищенню ефективності роботи вагонного депо [3]. В той же час досліджень, що спрямовані на зменшення вартості ремонту вагонних вузлів надто мало. В останніх дослідженнях і публікаціях щодо реформування вагонного господарства [4] також не в повній мірі ураховуються аспекти щодо спрощення, прискорення та зменшення вартості підготовки ремонтно-відновлювальних робіт. В праці [5] автор пропонує впровадити типізацію технологічних процесів на основі розробленої класифікації елементів залізничних вагонів, що суттєво зменшить витрати при ремонті деталей вантажних вагонів заклавши в основу розробки технологічних процесів типових деталей, які властиві лише засобам рухомого складу залізниці. Таким чином, оптимізаційне управління витратами машинобудівного підприємства в сучасних ринкових умовах є важливим напрямком діяльності з управління його розвитком та стаття на дану тему є актуальною й значущою для забезпечення зростання економічного потенціалу [6], як конкретних підприємств, так і народного господарства в цілому.

Мета статті. Досліджувана тут задача залежності вартості ремонту вагонного вузла від розподілення допусків обробки окремих його деталей ви-

рішується встановленням величини допуску, для якого проводиться аналіз витрат, до необхідного допуску, щоб витрати на виготовлення деталі із даним допуском були мінімальними.

Спочатку ми наводимо формулювання задачі, яка базується на припущенні про можливість виникнення несприятливого збігу відхилень у окремих деталях вагонного вузла.

Існуючий на вагоноремонтному виробництві верстатний парк дозволяє при виготовленні деталей витримувати допуски, варіації яких будуть нормально розподілені, що у свою чергу дозволяє збільшувати всі ці допуски. Далі на основі нормального закону буде показано, що для нормально розподілених похибок витрати на даний вузол будуть мінімальними. На прикладах показано, що витрати на виготовлення вагонного вузла будуть меншими, якщо похибки складових деталей вузла є нормально розподіленими.

Результати досліджень. У загальному випадку витрати на виготовлення деталі із збільшенням допусків будуть зменшуватись. Витрати на ремонт вузла із певними допусками, який складається із зібраних впритул деталей, можуть доволі суттєво відрізнятись для його складових. Зменшення загальних витрат буде, очевидно, мати місце тоді, коли допуски більш дорожчих деталей будуть зростати, а допуски дешевших деталей – зменшуватись. У наведеному нижче матеріалі даної статті буде показано, як можна розраховувати допуски, щоб відремонтувати будь-який вузол залізничного вантажного вагону із мінімальними витратами.

Витрати C_i на виготовлення однієї із деталей можна представити наступним чином:

$$C_i = M_i + M_i', \quad (1)$$

де M_i – витрати на виготовлення деталі даного розміру, яка є складовою даного вузла;

M_i' – витрати, які включені в оброблення всієї решти поверхонь деталі.

У загальному випадку M_i будуть змінюватись зворотно пропорційно квадрату допуску і можуть бути представлені рівнянням

$$M_i = \frac{K_i}{u_i^2} \quad \text{або} \quad K_i = M_i \cdot u_i^2, \quad (2)$$

де K_i – стала величина;

u_i – відхилення від середнього значення розміру деталі, яка є складовою даного вузла.

Для встановлення величини K_i повинні бути відомі витрати на виготовлення деталі із даним допуском [7]. Чим ближче допуск, для якого проводиться аналіз витрат, до необхідного допуску, тим правильніше буде значення K_i у рівнянні (2).

Загальні витрати C_v для виготовлення даного вагонного вузла будуть рівними сумі витрат $C_1, C_2, C_3, \dots$ на виготовлення окремих деталей, або

$$C_v = C_1 + C_2 + C_3 + \dots = \frac{K_1}{u_1^2} + \frac{K_2}{u_2^2} + \frac{K_3}{u_3^2} + \dots + M_1' + M_2' + M_3' + \dots \quad (3)$$

Для зручності останнє рівняння (3) можна записати наступним чином:

$$C_v = \frac{K_1}{u_1^2} + \frac{K_2}{u_2^2} + \frac{K_3}{u_3^2} + \dots + M_1' + M_2' + M_3' + \dots = f(u_1, u_2, u_3, \dots) \quad (4)$$

Припускаємо, що встановлений допуск u_v для даного вагонного вузла повинен бути розподілений арифметично між допусками $u_1, u_2, u_3, \dots$ складових його деталей:

$$u_v = u_1 + u_2 + u_3 + \dots \quad (5)$$

Арифметичний закон. Рівняння (5) можна записати у вигляді:

$$u_v = u_1 + u_2 + u_3 + \dots = \varphi(u_1, u_2, u_3, \dots). \quad (6)$$

Задача полягає у мінімізації витрат C_v при обмеженні, що результуючі допуски задовольнятимуть рівняння (6). Її розв'язок здійснюється методом множників Лагранжа. Повинні задовольнятися наступні рівняння [8]:

$$\frac{\partial f}{\partial u_1} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial u_1} = 0, \quad (7)$$

$$\frac{\partial f}{\partial u_2} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial u_2} = 0, \quad (8)$$

$$\frac{\partial f}{\partial u_3} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial u_3} = 0. \quad (9)$$

і так далі

де λ – відповідний множник, який задовольняє всі рівняння.

Від виразів (4) та (6) беремо похідні, які при підстановці у вирази (7)...(9) дають наступні залежності:

$$-\frac{K_1}{u_1^2} + \lambda = 0, \quad (10)$$

$$-\frac{K_2}{u_2^2} + \lambda = 0, \quad (11)$$

$$-\frac{K_3}{u_3^2} + \lambda = 0. \quad (12)$$

Перший та другий вирази приводимо до наступних виглядів:

$$\frac{K_1}{u_1^3} = \frac{K_2}{u_2^3} \quad \text{або} \quad u_2 = \sqrt[3]{\frac{K_2}{K_1}} \cdot u_1 \quad (13)$$

Перше та третє рівняння дають

$$\frac{K_1}{u_1^3} = \frac{K_3}{u_3^3} \quad \text{або} \quad u_3 = \sqrt[3]{\frac{K_3}{K_1}} \cdot u_1 \quad (14)$$

Далі підставляємо рівняння (13) і (14) у рівняння (6):

$$u_v = u_1 + \sqrt[3]{\frac{K_2}{K_1}} \cdot u_1 + \sqrt[3]{\frac{K_3}{K_1}} \cdot u_1 + \dots$$

При розв'язку останнього рівняння відносно u_1 , у випадку застосування рівняння (5) витрати C_v будуть мінімальними, якщо допуски складових деталей вагонних вузлів прийняті у вигляді наступних виразів:

$$u_1 = \frac{u_v}{\sqrt{1 + \sqrt{\frac{K_2}{K_1}} + \sqrt{\frac{K_3}{K_1}} + \dots}}, \quad (15)$$

$$u_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2}{K_1}} \cdot u_1; \quad (16)$$

$$u_3 = \sqrt[4]{\frac{K_3}{K_1}} \cdot u_1 \quad (17)$$

і так далі.

Нехай існуючий на даному вагоноремонтному виробництві верстатний парк дозволяє при виготовленні деталей витримувати допуски, варіації яких будуть нормально розподілені, що у свою чергу дозволяє збільшувати всі ці допуски. Тоді допуск u_v конструкції даного вагонного вузла підпорядковується закону:

$$u_v = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots} \quad (18)$$

Далі на основі нормального закону буде показано, що для нормально розподілених похибок витрати на даний вузол будуть мінімальними.

Нормальний закон. Рівняння (18) можна записати у вигляді

$$u_v = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots} = \varphi(u_1, u_2, u_3, \dots) \quad (19)$$

Часткові похідні отримуємо шляхом диференціювання виразів (4) та (19) і підстановкою їх у рівняння (7)...(9):

$$-\frac{2K_1}{u_1^2} + \frac{\lambda \cdot u_1}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots}} = 0;$$

$$-\frac{2K_2}{u_2^2} + \frac{\lambda \cdot u_2}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots}} = 0;$$

$$-\frac{2K_3}{u_3^2} + \frac{\lambda \cdot u_3}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots}} = 0.$$

Перший та другий вирази приводимо до наступних виглядів:

$$\frac{K_1}{u_1^2} = \frac{K_2}{u_2^2} \quad \text{або} \quad u_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2}{K_1}} \cdot u_1$$

Перше і третє рівняння дають

$$\frac{K_1}{u_1^2} = \frac{K_3}{u_3^2} \quad \text{або} \quad u_3 = \sqrt[4]{\frac{K_3}{K_1}} \cdot u_1$$

Ці обидва рівняння підставляємо у рівняння (16):

$$u_v = \sqrt{u_1^2 + \sqrt{\frac{K_2}{K_1}} \cdot u_1^2 + \sqrt{\frac{K_3}{K_1}} \cdot u_1^2 + \dots}$$

При рішенні останнього рівняння відносно u_1 одержується рівняння (15), тобто, коли прийняті допуски згідно розв'язку рівнянь (15)...(17) вартість виготовлення даного вагонного вузла буде мінімальною.

Приклад 1. Потрібно зібрати у вузол без зазору три деталі. Аналіз витрат дав наступні дані:

Деталь № 1, загальні витрати: $M_1 = 1000 \text{ грн}$

$M'_1 = 200 \text{ грн}$ при допуску $0,102 \text{ мм} + 800 \text{ грн}$.

Деталь № 2, загальні витрати: 200 грн

20 грн при допуску $0,076 \text{ мм} + 180/259 \text{ грн}$.

Деталь № 3, загальні витрати: $500/579 \text{ грн}$

37 грн при допуску $0,076 \text{ мм} + 470 \text{ грн}$.

Встановити мінімальні витрати на виготовлення вагонного вузла, якщо є арифметичний закон розподілення допусків у вигляді рівняння (4); допуск u_v вузла повинен бути рівним $0,2668 \text{ мм}$.

Розв'язок. Згідно рівняння (2):

$$K_1 = 200 \times 0,102^2 = 2,06446;$$

$$K_2 = 20 \times 0,076^2 = 0,11651;$$

$$K_3 = 30 \times 0,076^2 = 0,175;$$

$$\sqrt[3]{\frac{K_2}{K_1}} = \sqrt[3]{\frac{0,11651}{2,06446}} = 0,38315;$$

$$\sqrt[3]{\frac{K_3}{K_1}} = \sqrt[3]{\frac{0,175}{2,06446}} = 0,43860.$$

Згідно рівняння (15):

$$u_1 = \frac{0,2668}{1 + 0,38315 + 0,43860} = 0,146 \text{ мм}.$$

Згідно рівняння (13):

$$u_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2}{K_1}} \cdot u_1 = 0,38315 \cdot 0,146 = 0,0565 \text{ мм}.$$

Згідно рівняння (14):

$$u_3 = \sqrt[3]{\frac{K_3}{K_1}} \cdot u_1 = 0,43860 \cdot 0,146 = 0,064 \text{ мм},$$

$$\frac{K_1}{u_1^2} = \frac{2,06446}{(0,146)^2} = 96 \text{ грн.}$$

$$C_1 = 96 + 800 = 896 \text{ грн.}$$

$$\frac{K_2}{u_2^2} = \frac{0,11651}{(0,0565)^2} = 37 \text{ грн.};$$

$$C_2 = 37 + 180 = 217 \text{ грн.}$$

$$\frac{K_3}{u_3^2} = \frac{0,175}{(0,064)^2} = 42 \text{ грн.};$$

$$C_3 = 42 + 470 = 512 \text{ грн.}$$

Загальні витрати становитимуть: $C_v = 1625 \text{ грн.}$

Для порівнювання загальних витрат проводимо розрахунок мінімальних витрат на виготовлення наближеного за конструкцією вагонного вузла, який має довільно вибраний допуск для кожної із його трьох деталей.

Приклад 2. Приймаємо дані, які є аналогічними попередньому прикладу 1, але припускаємо, що $u_1 = u_2 = u_3 = 0,0889 \text{ мм.}$

Розв'язок. Всі значення K_i , отримані при заданих умовами витратах, будуть аналогічними прикладу 1.

Тоді:

$$\frac{K_1}{u_1^2} = \frac{2,06446}{(0,0889)^2} = 261 \text{ грн.};$$

$$C_1 = 261 + 800 = 1061 \text{ грн.}$$

$$\frac{K_2}{u_2^2} = \frac{0,11651}{(0,0889)^2} = 15 \text{ грн.};$$

$$C_2 = 15 + 180 = 195 \text{ грн.}$$

$$\frac{K_3}{u_3^2} = \frac{0,175}{(0,0889)^2} = 22 \text{ грн.};$$

$$C_3 = 22 + 470 = 492 \text{ грн.}$$

Загальні витрати: $C_v = 1748 \text{ грн.}$

Приклад 3. Дані ті ж самі, що й у прикладі 1, але тепер допуски нормально розподілені. Встановити витрати на виготовлення вагонного вузла для випадку $u_v = 0,2667 \text{ мм.}$

Розв'язок. Всі значення K_i будуть такими ж як і раніше:

$$\sqrt{\frac{K_2}{K_1}} = \sqrt{\frac{0,11651}{2,06446}} = 0,23717;$$

$$\sqrt[4]{\frac{K_2}{K_1}} = 0,4870;$$

$$\sqrt{\frac{K_3}{K_1}} = \sqrt{\frac{0,175}{2,06446}} = 0,29047;$$

$$\sqrt[4]{\frac{K_3}{K_1}} = 0,5390.$$

Із рівняння (15) отримуємо:

$$u_1 = \frac{0,2667}{\sqrt{1 + 0,23717 + 0,29047}} = 0,216 \text{ мм.}$$

Згідно рівняння (16):

$$u_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2}{K_1}} \cdot u_1 = 0,4870 \cdot 0,216 = 0,105 \text{ мм.}$$

Із рівняння (17) отримуємо:

$$u_3 = \sqrt[4]{\frac{K_3}{K_1}} \cdot u_1 = 0,5390 \cdot 0,216 = 0,1162 \text{ мм.}$$

Далі визначаємо:

$$\frac{K_1}{u_1^2} = \frac{2,06446}{(0,216)^2} = 44 \text{ грн.};$$

$$C_1 = 44 + 800 = 844 \text{ грн.}$$

$$\frac{K_2}{u_2^2} = \frac{0,116}{(0,105)^2} = 11 \text{ грн.};$$

$$C_2 = 11 + 180 = 191 \text{ грн.}$$

$$\frac{K_3}{u_3^2} = \frac{0,175}{(0,1162)^2} = 13 \text{ грн.};$$

$$C_3 = 13 + 470 = 483 \text{ грн.}$$

Загальні витрати: $C_v = 1518 \text{ грн.}$

Для наближення проведених розрахунків до сьогоденних умов за прикладами 1,2,3, визначаємо загальні витрати з врахуванням показника інфляції у 2018 році [9], який склав 9,8%. Тоді, кінцеві дані матимуть наступний вигляд:

1) загальні витрати за 1 прикладом:

$$C_v = 1784,2 \text{ грн.},$$

2) за другим прикладом: $C_v = 1919,3 \text{ грн.},$

3) за третім прикладом: $C_v = 1666,7 \text{ грн.}$

Таким чином, витрати на виготовлення вагонного вузла будуть меншими, якщо похибки складових деталей вузла є нормально розподіленими. Однак, тепер допуски в сумі дають значення більшими ніж 0,266 мм, оскільки повинна бути упевненість у виконанні припущення відносно нормальності.

Висновки. Для зменшення вартості ремонту вагонного вузла від розподілення допусків обробки окремих його деталей запропонований розрахунок мінімізації витрат при обмеженні допусків за допомогою методу множників Лагранжа, який показує, що зменшення загальних витрат буде тоді, коли допуски більш дорожчих деталей будуть зростати, а допуски дешевших деталей зменшуватись.

Результати проведених розрахунків, які наведені автором показують, що витрати на виготовлення вагонного вузла будуть меншими, якщо похибки складових деталей вузла є нормально розподіленими, тобто це дозволяє досягнути мінімальних витрат на виготовлення вагонного вузла.

Література

1. Основи взаємозамінності, стандартизації, сертифікації, акредитації та технічні вимірювання: підручник / [М. С. Когут, Н. М. Лебідь, О. В. Білоус та ін.]. – Львів : Світ, 2010. – 528 с.
2. Допуски и посадки: Справочник / В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. Т. 1. – Л. : Машиностроение, 1982.

3. Борзилов І.Д. Оцінка параметрів витрат на ремонт вагона протягом його життєвого циклу / І.Д. Борзилов // зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2007. – Вип. 9. – С. 105-112.
4. Борзилов І.Д. Концепція спеціалізації підприємств з технічного утримання вагонів / І.Д. Борзилов, В.О. Міхєнко, М.Г. Котов // зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – Вип. 14. – С. 108-114.
5. Куліченко А. Я. Основи розробки оптимальних технологічних процесів ремонту залізничних вагонів / А. Я. Куліченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — 2009. — № 26. — С. 15—18.
6. Присяжнюк Л.Г. Оптимізація витрат підприємств машинобудівної галузі / Економічний вісник НТУУ «КПІ»: збірник наукових праць, 2017, № 14. – С. 189-196.
7. Белоусова І. Проблеми обліку виробничих витрат і калькулювання собівартості продукції в промисловості / І. Белоусова І., М. Чумаченко // Бухгалтерський облік і аудит. – 2009. – №4. – С. 3-10.
8. Sokolnikoff I.S., Mathematical Theory of Elasticity, Florida: Robert E. Krieger Publishing Company, 1987.
9. Індекс інфляції. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/inflation/2018>

References

1. Basis of interchangeability, standardization, certification, accreditation and technical measurements: textbook / [M. S. Kohut, N. M. Lebid, O. V. Belous and others.]. - Lviv: World, 2010. - 528 p.
2. Admission and landings: A Handbook / V.D. Myagkov, M.A. Paley, A. B. Romanov, V.A. Braginsky. T. 1. - L.: Mechanical Engineering, 1982.
3. Borzilov I.D. Estimation of cost parameters for repair of a car during its life cycle / I.D. Borzilov // Sob. sciences works - Donetsk: DonIZT, 2007. - Vip. 9. - P. 105-112.
4. Borzilov I.D. Concept of specialization of enterprises for technical maintenance of cars / I.D. Borzilov, VO Mi-hienko, MG Cats // ass. sciences works - Donetsk: DonIZT, 2008. - Vip. 14. - P. 108-114.
5. Kulichenko A.Ya. Fundamentals of the development of optimal technological processes for the repair of railway cars / A. Ya. Kulichenko // Vysn. Dnipropetrovsk nats un th iron trans them acad. V. Lazaryan. - 2009. - No. 26. - P. 15-18.
6. Prsyazhnyuk L.G. Optimization of expenditures of enterprises of the machine-building industry / Economic Bulletin of NTUU "KPI": collection of scientific works, 2017, No. 14. - P. 189-196.
7. Belousova I. Problems of accounting for production costs and calculating the cost of production in industry / I. Bel-

ousova I., M. Chumachenko // Accounting and Audit .- 2009.- №4. - P. 3-10.

8. Sokolnikoff I.S., Mathematical Theory of Elasticity, Florida: Robert E. Krieger Publishing Company, 1987.
9. Inflation index. Electronic resource. Access mode: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/inflation/2018>.

Міляннич А.Р. Зависимость стоимости ремонта вагонного узла от распределения допусков обработки отдельных его деталей.

В статье автором рассмотрены вопросы расходов на изготовление вагонного узла, потому, что затраты на ремонт узла с определенными допусками, состоящий из собранных вплотную деталей грузовых вагонов, могут довольно существенно отличаться для его составляющих. Допуски, которые рассчитаны способом максимум – минимум, получают довольно жесткими, что способствует резкому повышению стоимости производства. Выполнен расчет минимизации затрат при ограничении допусков с помощью метода множителей Лагранжа, который показывает, что уменьшение общих затрат будет тогда, когда допуски более дорогих деталей будут расти, а допуски дешевых деталей уменьшаться.

Ключевые слова: грузовые вагоны, надежность, допуск обработки, стоимость ремонта, минимизация расходов.

Milyanich A.R. The dependence of the cost of repair of wagon node on the distribution of admission for the processing of certain details.

In the article, the author has examined the costs of manufacturing a carriage assembly, because the cost of repairing a assembly with certain tolerances, consisting of closely assembled parts of freight cars, can be quite different for its components. The tolerances, which are calculated by the method of maximum – minimum, are quite tough, which contributes to a sharp increase in the cost of production. A cost minimization calculation was performed while limiting tolerances using the Lagrange multipliers method, which shows that the reduction in total costs will be when the tolerances of more expensive parts increase and the tolerances of cheaper parts decrease.

Keywords: freight cars, reliability, admission processing repair cost, minimization of expenses.

Міляннич А.Р. – к.т.н., доцент, доцент кафедри «Рухомий склад і колія», Львівська філія Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна., e-mail: milyan_74@ukr.net.

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

Стаття подана 10.04.2019

УДК 656.615.078.111

**ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ УЗГОДЖЕНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ
ПЕРЕВАЛКИ ВАНТАЖІВ У ТРАНСПОРТНОМУ ВУЗЛІ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ
ДІЛОВОЇ ПОВЕДІНКИ І СОЦІАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ**

Мурад'ян А.О., Русанова С.С.

**JUSTIFICATION THE METHODOLOGY OF THE PROCESS OF GOODS
TRANSPORTATION IN A TRANSPORT CENTER BASED ON THE CONCEPT OF BUSINESS
CONDUCT AND SOCIAL MANAGEMENT**

Muradian A.O., Rusanova S.S.

У статті вперше запропонована постановка задачі оптимізації процесу перевалки вантажів у транспортних вузлах, заснована на логістичній концепції «точно в строк», визначений конструктивний підхід до моделювання задачі й наведені її оригінальні економіко-математичні моделі із вказівкою методів реалізації. Також обґрунтована необхідність при постановці задачі оптимізації ППВ на етапі оперативного управління урахування фактору якості інформації щодо вхідних у ЗТВ вантажопотоках та рухомого складу. Показано, що цей фактор дає уявлення про ступінь стійкості параметрів управління і дозволяє в підсумку розглядати задачу, що характеризується, в умовах ризику і в детермінованій постановці.

Ключові слова: загальнотранспортні вузли, процес перевалки вантажів (ППВ), постановка задачі управління ППВ.

Вступ. Сучасний етап розвитку науки управління транспортом характеризується націленістю на збагачення теорії й методів управління комплексами сполучених транспортних систем методологічним інструментарієм ринкової економіки. У додатку до транспортних вузлів (ТВ) дана констатація означає, що концепцію формування механізму управління ТВ, включаючи управління процесом перевалки вантажів (ППВ), що передбачає використання обчислювального арсеналу класичної теорії управління, потрібно радикально перетворити. При цьому на початковому етапі такого роду перетворення найбільш актуально є пророблення питань, пов'язаних з моделюванням задачі оптимізації ППВ в ринковій постановці як ключового елемента процесу функціонування ТВ, чому присвячується ця стаття.

Аналіз основних досягнень і літератури. Протягом останніх років був виконаний ряд досліджень, присвячених критичному аналізу сучасного стану згаданих вище питань [1-4 та ін.]. При цьому

було встановлено й в [5-6] показано, що в цей період намітилася стійка тенденція в прагненні дослідників використати при розробці проблем організації управління ТВ поряд із традиційними підходами класичної теорії управління також можливості теорій, що залишалися в тіні, взаємодіючих систем, морфологічного й когнітивного моделювання, побудови фреймових моделей, системного програмування й мультиагентної оптимізації. Однак ці ініціативи поки не привели до створення методів управління ТВ, що враховують умови роботи транспорту в ринковому середовищі й обладують науковою новизною. Таке твердження повною мірою поширюється й на задачу оптимізації ППВ, дослідження якої усе ще залишається в зародковому стані.

Наведені відомості підтверджують актуальність теми даної публікації й необхідність її подальшого поглибленого пророблення.

Мета дослідження, постановка задачі. Загальна мета роботи зв'язується з обґрунтуванням підходу до оптимізації й моделювання ППВ у постановці, адекватної механізму забезпечення погодженого управління ТВ у сучасних ринкових умовах. Відповідно до поставленої вище мети дійсного дослідження обговоримо спочатку найважливіші передумови розгляду задачі управління ППВ в оптимальній постановці, а потім перейдемо до її моделювання з обліком практично реального інформаційного забезпечення процесу проходження вантажів і транспортних засобів через ТВ.

Результати досліджень. Приступаючи до постановки розглянутої задачі, будемо виходити із принципу, який затверджує, що ефективність управління ППВ прямо залежить від ступеня досконалості економіко-математичної моделі цього процесу як умови й засоба його оптимізації. При цьому будемо враховувати, що ключову роль у побудові моделі

грає вибір критерію оптимальності, що гарантує досягнення необхідного рівня результативності ППВ. Очевидно, що в нашому випадку критерій оптимізації ППВ необхідно конструювати з позицій, що відповідають, з одного боку, природі ринкових відносин в економіці й, з іншого боку практиці регулювання взаємин між суб'єктами ТВ й їхніми контрагентами в особі власників вантажів і транспортних засобів.

Як перший, так і другий фактори націлюють на універсальний ринковий критерій, тобто на максимізацію прибутку від реалізації ППВ із використанням виробничих ресурсів всіх діючих у ТВ суб'єктів. Однак, у силу того, що на етапі оперативного управління всі дохідні ставки (тарифи, плати, збори) по всіх операціях ППВ є константами (відповідно до норм угод між суб'єктами ТВ), як критерій оптимізації ППВ варто прийняти мінімум витрат на здійснення ППВ, включаючи витрати на обслуговування вантажопотоків і транспортних засобів, а також на зміст виробничих ресурсів. Така орієнтація представляється цілком коректною в силу того, що обидві складових зазначених витрат піддаються варіації (по вантажопотокам, що перевалюються, технологічним схемам освоєння кожного вантажопотоку, режимам використання виробничих ресурсів порту й станції та ін.) при обов'язковому забезпеченні пропускну здатності вантажних фронтів без зміни їхньої технічної оснащеності.

Підкреслимо, що остання умова грає надзвичайно важливу роль у постановці й моделюванні обговорюваної задачі, тому що «працює» на підвищення ймовірності забезпечення проходження вантажів і транспортних засобів через ТВ у строки, передбачені угодами між суб'єктами ТВ і закріплені в нормах «Єдиного технологічного процесу роботи транспортного вузла», що повністю відповідає концепції «точно в строк». А це означає, що запропонований критерій оптимізації ППВ може розглядатися як загальна мета функціонування ТВ, що відповідає інтересам кожного суб'єкта транспортного вузла. Одночасно ця умова є вигідною і для транспортної клієнтури в силу того, що мінімізує ймовірність зриву її контрактних зобов'язань перед контрагентами, завдяки чому підвищується в її сприйнятті привабливість й, виходить, конкурентоздатність ТВ.

Відзначимо, що охарактеризований критерій оптимізації ППВ повністю погодиться із запропонованим нами в [5-6] критерієм й є його природним узагальненням.

Настільки ж важливу роль у постановці й моделюванні обговорюваного завдання грає фактор якості інформації щодо транспортних засобів, що направляються у ТВ. Як показано в [7], на сучасному етапі цей фактор необхідно розглядати з позицій створення автоматизованої системи інформаційного забезпечення взаємодії суб'єктів ТВ із виділенням спеціальних полігонів взаємодії – далеких, середніх й ближніх з передачею з них у ТВ відповідно до фо-

рмату інформації про переміщення вантажів і транспортних засобів. При цьому границями далеких полігонів є моменти початку перевезення вантажів «першим» видом магістрального транспорту після доставки їхнім промисловим транспортом відправників вантажів – виробників продукції для перевалки на магістральний транспорт в «першому» транспортному вузлі і завершення перевезення вантажів «передостаннім» видом магістрального транспорту; середні полігони обмежуються моментами початку перевалки вантажів в «передостанньому» транспортному вузлі і моментом закінчення перевезення вантажів «останнім» видом магістрального транспорту; границі ближніх полігонів збігаються з моментами початку-закінчення перевалки вантажів в «останньому» транспортному вузлі «останнього» виду магістрального транспорту на промисловий транспорт одержувачів вантажів – споживачів продукції.

Відзначимо, що при такому підході забезпечується послідовне підвищення якості інформації щодо вантажопотоків та транспортних засобів, що направляються у ТВ. Дійсно, зазначена інформація в далеких полігонах взаємодії звичайно відрізняється гранично низькою якістю, у середніх полігонах – її якість, як правило, підвищується, а в ближніх полігонах – ця інформація має найбільш високу якість. Ці обставини обумовлює можливість моделювання ППВ як задачі оптимізації вантажопереважувального процесу, розглянутого в умовах ризику (для середніх полігонів) і в детермінованій постановці (для ближніх полігонів).

Результати досліджень ППВ. Розглянемо спочатку детермінований варіант задачі оптимізації ППВ у статичній постановці. Припустимо, що протягом деякого інтервалу часу, (наприклад, обліково-звітного періоду, прийнятого спільно портом і станцією), розбитого на рівні відрізки (тривалістю наприклад, по одній годині), необхідно реалізувати ППВ шляхом переміщення в межах ТВ певних обсягів вантажопотоків (наприклад, що відповідають завантаженню залізничних вагонів, або магістральних автомобілів, або судновим партіям) по заздалегідь прийнятим організаційно-технологічним варіантам (ОТВ).

Під «виробничими зонами» будемо мати на увазі комплекси стаціонарних і мобільних технічних засобів, призначених для обслуговування вантажів і транспортних засобів.

При цьому в якості виробничих будемо розглядати зони, обладнані на припортовій залізничній станції (шляхи – головний, приймально-відправний, відстійні й сполучні з портом), у порту (виставочні залізничні колії, вантажні fronti – кордонного, тилового, складські) і поблизу порту (транзитно – вантажні термінали для обслуговування магістральних автомобілів).

Умовимося, що ППВ характеризується двома показниками – питомими витратами на обслугову-

вання вантажопотоків і транспортних засобів і питомих витрат на склад зон.

Відзначимо, що перший із зазначених показників є в загальному випадку змінною величиною в силу того, що його складова по транспортних засобах, залишаючись постійною величиною (тарифом) протягом нормативного часу, починає прогресивно зростати по його витіканні.

Перейдемо до формалізації обговорюваної задачі і введемо необхідні позначення при суцільній нумерації варіюваних величин.

Відомі величини (задані константи):

i – індекс виробничих зон обслуговування вантажопотоків ($i = \overline{1, m}$);

j – індекс обслуговуваних вантажопотоків ($j = \overline{1, n}$);

k – індекс відрізків часу розглянутого інтервалу управління ($k = \overline{1, r}$);

T_{ik} – резерв робочого часу i -ї зони на протязі k -го відрізка часу;

a_{ijk} – питома ресурсомісткість (трудомісткість) обслуговування j -го вантажопотоку в i -й зоні на протязі k -го відрізка часу;

$\underline{x}_{ijk}$ та $\overline{x}_{ijk}$ – відповідно мінімальний і максимальний об'єми j -го вантажопотоку, які необхідно обслужити в i -й зоні на протязі k -го відрізка часу;

$\underline{t}_{ijk}$ та $\overline{t}_{ijk}$ – відповідно мінімально і максимально допустимий час використання i -ї зони для обслуговування j -го вантажопотоку на протязі k -го відрізка часу;

f_{ijk} – питомий дохід обслуговування j -го вантажопотоку в i -й зоні на протязі k -го відрізка часу;

c_{ik} – питомі витрати на утримання i -ї зони на протязі k -го відрізка часу.

Невідомі величини (керовані змінні):

x_{ijk} – плановий обсяг обслуговування j -го вантажопотоку в i -й зоні на протязі k -го відрізка часу;

t_{ijk} – плановий час використання i -ї зони для обслуговування j -го вантажопотоку на протязі k -го відрізка часу.

Залежності між відомими і невідомими величинами характеризуються наступним чином:

- обсяги освоєння вантажопотоків та показники використання виробничих зон повинні відповідати заздалегідь заданим межах їх зміни, тобто

$$\left. \begin{aligned} \underline{x}_{ijk} \leq x_{ijk} \leq \overline{x}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; k = \overline{1, r}; \\ \underline{t}_{ijk} \leq t_{ijk} \leq \overline{t}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; k = \overline{1, r}. \end{aligned} \right\}; \quad (1)$$

- використання робочого часу виробничих зон має визначатися ресурсомісткістю (трудомісткістю) освоєння вантажопотоків, тобто

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r a_{ijk} x_{ijk} - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{ijk} = 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad (2)$$

- робочий час виробничих зон може використовуватися в межах його резерву для кожного відрізка часу, тобто

$$\sum_{j=1}^n t_{ijk} \leq T_{ik}, \quad i = \overline{1, m}; \quad k = \overline{1, r}; \quad (3)$$

- загальний результат реалізації ППВ визначається шляхом підсумовування доходів за всіма вантажопотоками за вирахуванням витрат на утримання виробничих зон протягом розглянутого інтервалу управління, тобто

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r f_{ijk} x_{ijk} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r c_{ik} t_{ijk}. \quad (4)$$

Зазначимо, що співвідношення (1)-(4) є основою для побудови економіко-математичних моделей задачі оптимізації ППВ для всіх згадуваних вище випадків її постановки.

Представляється очевидним, що в детермінованому випадку модель оптимізації ППВ може бути представлена сукупністю наведених вище співвідношень з деяким перетворенням умови (2), тобто у вигляді наступної системи:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r f_{ijk} x_{ijk} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r c_{ik} t_{ijk} \rightarrow \max; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r a_{ijk} x_{ijk} - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{ijk} = 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n t_{ijk} \leq T_{ik}, \quad i = \overline{1, m}; \quad k = \overline{1, r}; \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{x}_{ijk} \leq x_{ijk} \leq \overline{x}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; k = \overline{1, r}; \\ \underline{t}_{ijk} \leq t_{ijk} \leq \overline{t}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; k = \overline{1, r}. \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Звернемося тепер до нагоди відшукати варіанти оптимізації ППВ в умовах ризику, тобто показники питомих витрат на освоєння вантажопотоків і утримання виробничих зон трактуються як випадкові величини з відомими статистичними характеристиками. При цьому будемо враховувати, що на сучасному етапі приділяється підвищена увага так званому операційному ризику, під яким розуміється ризик діяльності підприємства, обумовлений невизначеністю його стану та функціонуванням під впливом як зовнішніх, так і внутрішніх факторів [9]. У додатку до ЗТВ, операційний ризик природним чином пов'язується з невисокою якістю інформації про терміни прибуття ТРЗ і вантажів із зазначенням найменувань і кількості останніх, а також про реалізацію ППВ, що в сукупності веде до неможливості однозначного

завдання показників з освоєння вантажопотоків і утримання виробничих зон ЗТВ. Будемо вважати, що ці показники є випадковими величинами з відомими їх очікуваними значеннями та стандартними відхиленнями. За такої умови з'являється можливість прийняття керуючих рішень з управління ППВ в умовах ризику і невизначеності.

Виходячи з цього висновку, побудуємо економіко-математичну модель оптимізації ППВ в умовах ризику. З метою спрощення записів, але без порушення спільності сформованих тверджень, перейдемо до усереднених значень, які характеризують ППВ величин, – планових обсягів вантажопотоків і питомих доходів на їх освоєння (за зонами та інтервалом управління в цілому), часу використання та витрат на утримання виробничих зон (за вантажопотоками і інтервалом управління) і введемо для них відповідні позначення.

Відомі величини (задані константи):

i – індекс виробничих зон для обслуговування вантажопотоків ($i = \overline{1, m}$);

j – індекс обслуговуваних вантажопотоків ($j = \overline{1, n}$);

k – індекс відрізків часу розглянутого інтервалу управління ($k = \overline{1, r}$);

T_{ik} – резерв робочого часу i -ї зони на протязі k -го відрізка часу;

a_{ijk} – питома ресурсомісткість (трудомісткість) обслуговування j -го вантажопотоку в i -й зоні на протязі k -го відрізка часу;

$\underline{x}_{ijk}$ та $\overline{x}_{ijk}$ – відповідно мінімальний і максимальний об'єми j -го вантажопотоку, які необхідно обслужити в i -й зоні на протязі k -го відрізка часу;

$\underline{t}_{ijk}$ та $\overline{t}_{ijk}$ – відповідно мінімально і максимально допустимий час використання i -ї зони для обслуговування j -го вантажопотоку на протязі k -го відрізка часу;

f_{ijk} – питомий дохід обслуговування j -го вантажопотоку в i -й зоні на протязі k -го відрізка часу;

c_{ik} – питомі витрати на утримання i -ї зони на протязі k -го відрізка часу.

Невідомі величини (керовані змінні):

x_{ijk} – плановий обсяг обслуговування j -го вантажопотоку в i -й зоні на протязі k -го відрізка часу;

t_{ijk} – плановий час використання i -ї зони для обслуговування j -го вантажопотоку на протязі k -го відрізка часу.

Залежності між відомими і невідомими величинами характеризуються наступним чином:

• обсяги освоєння вантажопотоків та показники використання виробничих зон повинні

відповідати заздалегідь заданим межам їх зміни, тобто

$$\left. \begin{aligned} \underline{x}_{ijk} \leq x_{ijk} \leq \overline{x}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; k = \overline{1, r}; \\ \underline{t}_{ijk} \leq t_{ijk} \leq \overline{t}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; k = \overline{1, r}; \end{aligned} \right\}; \quad (9)$$

• використання робочого часу виробничих зон має визначатися ресурсомісткістю (трудомісткістю) освоєння вантажопотоків, тобто

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{ijk} = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r a_{ijk} x_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; \quad (10)$$

• робочий час виробничих зон може використовуватися в межах його резерву для кожного відрізка часу, тобто

$$\sum_{j=1}^n t_{ijk} \leq T_{ik}, \quad i = \overline{1, m}; k = \overline{1, r}; \quad (11)$$

• загальний результат реалізації ППВ визначаються шляхом підсумовування доходів по всіх вантажопотоках за вирахуванням витрат на утримання виробничих зон протягом розглянутого інтервалу управління, тобто

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r f_{ijk} x_{ijk} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r c_{ik} t_{ijk}. \quad (12)$$

Зазначимо, що співвідношення (9)-(12) є основою для побудови економіко-математичних моделей задачі оптимізації ППВ для всіх згадуваних вище випадків її постановки.

Представляється очевидним, що в детермінованому випадку модель оптимізації ППВ може бути представлена сукупністю наведених вище співвідношень з деяким перетворенням умови (10), тобто у вигляді системи:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r f_{ijk} x_{ijk} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r c_{ik} t_{ijk} \rightarrow \max; \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r a_{ijk} x_{ijk} - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{ijk} = 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n t_{ijk} \leq T_{ik}, \quad i = \overline{1, m}; k = \overline{1, r}; \quad (15)$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{x}_{ijk} \leq x_{ijk} \leq \overline{x}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; k = \overline{1, r}; \\ \underline{t}_{ijk} \leq t_{ijk} \leq \overline{t}_{ijk}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; k = \overline{1, r}; \end{aligned} \right\}. \quad (16)$$

Звернемося тепер до нагоди відшукати варіанти оптимізації ППВ в умовах ризику, тобто показники питомих витрат на освоєння вантажопотоків і утримання виробничих зон трактуються як випадкові величини з відомими статистичними характеристиками. При цьому будемо враховувати, що на сучасному етапі приділяється підвищена увага так званому операційному ризику, під яким розуміється ризик діяльності підприємства, обумовлений невизначеністю

його стану та функціонуванням під впливом як зовнішніх, так і внутрішніх факторів [11]. У додатку до ЗТВ, операційний ризик природним чином пов'язується з невисокою якістю інформації про терміни прибуття ТРЗ і вантажів із зазначенням найменувань і кількості останніх, а також про реалізацію ППВ, що в сукупності веде до неможливості однозначного завдання показників з освоєння вантажопотоків і утримання виробничих зон ЗТВ. Будемо вважати, що ці показники є випадковими величинами з відомими їх очікуваними значеннями та стандартними відхиленнями. За такої умови з'являється можливість прийняття керуючих рішень з управління ППВ в умовах ризику і невизначеності.

Виходячи з цього висновку, побудуємо економіко-математичну модель оптимізації ППВ в умовах ризику. З метою спрощення записів, але без порушення спільності сформованих тверджень, перейдемо до усереднених значень, характеризуючи ППВ величин, – планових обсягів вантажопотоків і питомих доходів на їх освоєння (по зонам та інтервалу управління в цілому), часу використання та витрат на утримання виробничих зон (по вантажопотокам і інтервалу управління) і введемо для них відповідні позначення.

Відомі величини (задані константи):

T_i – резерв робочого часу i -ї зони;

a_{ij} – ресурсомісткість обслуговування j -го вантажопотоку в i -й зоні;

$\underline{x}_j$ та $\bar{x}_j$ – відповідно мінімальний і максимальний об'єми j -го планового вантажопотоку;

$\underline{t}_{ij}$ та $\bar{t}_{ij}$ – відповідно мінімальний і максимальний допустимий час використання i -ї зони для освоєння j -го вантажопотоку;

$\bar{f}_{ij}$ – середня величина питомих доходів на обслуговування j -го вантажопотоку в i -й зоні;

$\bar{c}_i$ – середня величина питомих витрат на утримання i -ї зони.

Невідомі величини (керовані змінні):

x_j – плановий об'єм обслуговування j -го вантажопотоку;

t_{ij} – плановий час використання i -ї зони для освоєння j -го вантажопотоку.

Зазначимо, що при трактуванні показників $\bar{f}_{ij}$ та $\bar{c}_i$ як випадкових величин прибуток з реалізації ППВ являє собою випадкову величину, статистичні характеристики якої визначаються статистичними характеристиками цих показників, а саме:

очікуваним значенням –

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{f}_{ij} x_j - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{c}_i t_{ij}; \quad (17)$$

дисперсією –

$$\sigma^2(F) = \sum_{j=1}^n \sigma_j^2 x_j^2 - \sum_{i=1}^m \sigma_i^2 t_i^2, \quad (18)$$

де σ_j та σ_i – середньоквадратичне відхилення, відповідно, доходів з освоєння вантажопотоків і витрат на утримання виробничих зон.

Зазначимо також, що у теорії ризику звертається увага на залежність прийнятих управлінських рішень від характеру відношення системи управління (особи, що приймає рішення) до ризику, який може бути нейтральним, або прямо протилежним. При цьому, як показано в [12], характер ставлення до ризику у формальному плані визначається функцією очікуваної ефективності прийнятих рішень, яка (функція) може бути: лінійною, що зв'язується з нейтральним ставленням до ризику; опуклою, що припускає схильність до ризику; увігнутою, що відповідає відсутності схильності до ризику. Ця обставина означає, що у випадку нейтрального ставлення до ризику оптимізаційні задачі можна вирішувати в детермінованій постановці з використанням однокритеріальних моделей.

Спираючись на охарактеризовані положення теорії ризику, побудуємо відповідні економіко-математичні моделі задачі оптимізації ППВ, використовуючи наведені вище усереднені значення показника витрат за вантажопотоками і виробничими зонами. Очевидно, що при нейтральному відношенні до ризику шукана модель буде в структурному плані відповідати запису (13)-(16), тобто мати вигляд

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{f}_{ij} x_j - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{c}_i t_{ij} \rightarrow \max; \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - T_i = 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^n t_{ij} \leq T_i \quad i = \overline{1, m}; \quad (21)$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{x}_j \leq x_j \leq \bar{x}_j, \quad j = \overline{1, n}; \\ \underline{t}_{ij} \leq t_{ij} \leq \bar{t}_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

У разі, коли ставлення до ризику відрізняється від нейтрального, необхідно переходити, як зазначалося вище, до бікритеріальної задачі, модель якої записується наступним чином:

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{f}_{ij} x_j - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{c}_i t_{ij} \rightarrow \max; \quad (23)$$

$$\sigma^2(F) = \sum_{j=1}^n \sigma_j^2 x_j^2 - \sum_{i=1}^m \sigma_i^2 t_i^2 \rightarrow \min(\max); \quad (24)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - T_i = 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad (25)$$

$$\sum_{j=1}^n t_{ij} \leq T_i, \quad i = \overline{1, m}; \quad (26)$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{x}_j \leq x_j \leq \overline{x}_j, \quad j=1, n; \\ \underline{t}_{ij} \leq t_{ij} \leq \overline{t}_{ij}, \quad i=1, m, \quad j=1, n. \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

Підкреслимо, що рішення моделі (23)-(27) необхідно відшукувати на множині розв'язків задачі оптимізації ППВ, оптимальних за Парето.

Зазначимо, що оптимізаційна спрямованість показника $\sigma^{2(F)}$ визначається характером відношення керуючої системи до ризику: якщо система схильна до ризику, то $\sigma^{2(F)}$ необхідно мінімізувати; в іншому випадку – цей показник підлягає максимізації.

Зазвичай в теорії ризику використовують такий показник, як коефіцієнт варіації, який кількісно оцінює ступінь коливання досліджуваних показників біля їх середніх значень. У нашому випадку коефіцієнт варіації (V) визначається наступним чином:

$$V = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n \delta_j^2 x_j^2 - \sum_{i=1}^m \delta_i^2 t_i^2}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij} x_j - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_i t_{ij}}. \quad (28)$$

Як зазначається в [11], коефіцієнт варіації не повинен бути занадто великим: у теорії ризику зазвичай приймаються його значення $V \leq 0,25$.

За такої умови модель оптимізації ППВ записується як схема (19)-(22) з додаванням обмеження

$$V \leq 0,25, \quad (29)$$

де V визначено в (28).

Висновки. Узагальнення вищевикладеного дозволяє зробити висновок, що запропоновані в даній статті економіко-математичні моделі в єдності з методами їх реалізації можуть бути покладені в основу методики оптимізації ППВ при оперативному управлінні транспортними вузлами.

Л і т е р а т у р а

1. Куренков П.В. Управление доставкой в внешнеторговых грузов в смешанном сообщении [Текст]: Дис. ... д-ра экон. наук / П.В. Куленов. – М.: ГУУ, 1999. – 478 с.
2. Клепиков В.П. Методология комплексного развития транспортных систем в проектах взаимодействия железнодорожного и морского транспорта [Текст]: Дис. ... д-ра техн. наук / В.П. Клепиков. – М.: МГУПС (МИИТ), 2007. – 352 с.
3. Сычев А.А. Организация работы транспортного узла в составе транспортного коридора [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук / А.А. Сычев. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2009. – 167 с.
4. Ботнарчук М.В. Методология формирования транспортного узла как института сетевых партнерских отношений [Текст] / М.В. Ботнарчук // Современная конкуренция. – 2012. – № 3 (38). – С. 98-110.
5. Muradian A.O. Ensuring a coordinated cargo transshipment process management in general transport

hubs // Technology audit and production reserves. – № 3/1 (17). – 2014. – P.48-53.

6. Мурад'ян А.О. Методичні основи узгодженого управління процесом перевалки вантажів у загальнотранспортних вузлах [Текст]: Дис. канд. техн. наук: 05.22.01 / Мурад'ян Арсен Олегович. – Одеса, 2016. – 166 с.
7. Новиков П.А. Организация эффективного взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в припортовых транспортных узлах [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук / П.А. Новиков. – Екатеринбург: УрГУПС, 2008. – 154 с.
8. Тейман А.И. Управление комплексами операций [Текст] / А.И. Тейман // Доклад. – М.: Политехнический музей, 1967. – 44 с.
9. Енгальчев О.В. Совершенствование системы управления операционным риском на предприятии [Текст]: Дис. ... канд. экон. наук / О.В. Енгальчев. – МГТУ, 2005. – 174 с.
10. Кигель А.В. Свойства и поиск оптимальных финансовых портфелей для ЛПР с разными отношениями к риску [Текст] / А.В. Кигель // Финансовые риски. – 1999. – № 2. – С. 86-91.
11. Подиновский В.В. Парето – оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 256 с.
12. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях предпочтения и замещения [Текст] / Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.

References

1. Kurenkov P.V. Managing delivery of foreign trade goods in a mixed message [Text]: Dis. ... Dr. Econ. Sciences / P.V. Kurenov. - M.: GUU, 1999. - 478 p.
2. Klepikov V.P. Methodology of integrated development of transport systems in projects of interaction between railway and sea transport [Text]: Dis. ... Dr. Techn. Sciences / V.P. Klepikov. - M.: MGUPS (MIIT), 2007. - 352 p.
3. Sychev A.A. The organization of the transport hub as part of the transport corridor [Text]: Dis. ... Cand. tech. Sciences / A.A. Sychev. - Rostov-on-Don: RSTU, 2009. - 167 p.
4. Botnaryuk M.V. Methodology of forming a transport hub as an institution of network partnerships [Text] / M.V. Botnaryuk // Modern competition. - 2012. - № 3 (38). - p. 98-110.
5. Muradian A.O. Coordinated freight transport hubs // Technology audit and production reserves. - № 3/1 (17). - 2014. - P.48-53.
6. A.O. Murad'yan Methodical foundations of the management of the handling of vantazh at the transport facilities [Text]: Dis. Cand. tech. Sciences: 05.22.01 / Murad'yan Arsen Olegovich. - Odessa, 2016. - 166 p.
7. Novikov P.A. The organization of effective interaction of railway and sea transport in the port transport hubs [Text]: Dis. ... Cand. tech. Sciences / P.A. Novikov. - Ekaterinburg: UrGUPS, 2008. - 154 p.
8. Teiman A.I. Management of complex operations [Text] / A.I. Teiman // Report. - M.: Polytechnic Museum, 1967. - 44 p.
9. Engalychev OV Improving the system of operational risk management in the enterprise [Text]: Dis. ... Cand. econ Sciences / O.V. Engalychev. - MSTU, 2005. - 174 p.
10. Kigel A.V. Properties and search for optimal financial portfolios for decision makers with different attitudes to risk [Text] / A.V. Kigel // Financial risks. - 1999. - № 2. - p. 86-91.

11. Podinovskiy V.V. Pareto - optimal solutions for multicriteria problems / V.V. Podinovskiy, V.D. Nogin - M.: Science, 1982. - 256 p.
12. Keeney R.L. Decision making under many criteria of preference and substitution [Text] / R.L. Keeney, H. Rife. - M.: Radio and communication, 1981. - 560 p.

Мурадян А.О., Русанова С.С. Обоснование методики согласованного управления процессом перевалки грузов в транспортном узле на основе концепции делового поведения и социального управления

В статье впервые предложена постановка задачи оптимизации процесса перевалки грузов (ППГ) в транспортных узлах, основанная на логистической концепции «точно в срок», определен конструктивный подход к моделированию задачи и приведены ее оригинальные экономико-математические модели с указанием методов реализации. Также обоснована необходимость при постановке задачи оптимизации ППГ на этапе оперативного управления учета фактора качества информации о входящих в транспортные узлы грузопотоки и подвижной состав. Показано, что этот фактор дает представление о степени стойкости параметров управления и позволяет в итоге рассматривать характеризующую задачу, в условиях риска и в детерминированной постановке.

Ключевые слова: транспортный узел, процесс перевалки грузов (ППГ), постановка задачи управления ППГ.

Muradian A.O., Rusanova S.S. Justification the methodology of the process of goods transportation in a transport center based on the concept of business conduct and social management

In article the problem definition of optimization of cargo transfer process in transport hub, based on logistic conception «just in time» is offered for the first time, the constructive approach to modeling of a task is defined and are provided its original economic-mathematical models with the indication of methods of realization.

The necessity is also proved for setting the task of cargo transfer process optimization at the stage of operational management of information quality factor of t regarding cargo flows and rolling stock entering the transport nodes. It is shown that this factor gives an idea of the degree of stability of the control parameters and allows us to consider the problem under the conditions of risk and in a determinate formulation.

Keywords: transport hubs, the cargo transfer process (CTP), a problem definition of management of CTP.

Мурадян А.О. – к.т.н., доцент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт», e-mail: fhctyl@rambler.ru ;

Русанова С.С. – асистент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт», e-mail: rusanova20140909@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 05.04.2019

УДК 65.012.34:338.47

**ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗТАШУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ЦЕНТРІВ
В ЛОГІСТИЧНІЙ ПІДСИСТЕМІ РОЗПОДІЛУ****Піддубна Н.М., Кирічок А.В.****OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION CENTERS
IN THE LOGISTICS DISTRIBUTION SUBSYSTEM.****Poddubnaya N., Kyrichok A.**

Виникнення і розвиток ринкових відносин в Україні викликало інтерес до відносно нового наукового напрямку - логістика. Сьогодні існує достатня кількість наукових робіт присвячених понятійній базі логістики, а також робіт, що розглядають оптимізаційні моделі. В даній роботі була розроблена методика формування системи доставки і розподілу вантажу та адаптована економіко-математична модель доставки вантажу з урахуванням вибору розподільних центрів і закріплення за ними оптових споживачів. Проведені експериментальні розрахунки на прикладі перевезення імпортованих контейнерів з лакофарбовою продукцією.

Ключові слова: Логістична система, розподільні центри, економіко-математична модель, контейнерні перевезення

Вступ. Актуальність теми дослідження продиктована відносно низьким інтересом з боку фахівців - практиків до розроблених методів і моделей, що дозволяють приймати рішення про канали розподілу готової продукції товарів народного споживання. Загальновідомі оптимізаційні транспортні моделі дозволяють знаходити оптимальне рішення на ділянках ланцюга розподілу, що не завжди призводить до системного оптимуму.

Постановка проблеми. Глобалізація і інтеграція є характеристиками сучасної економіки. Про це свідчить зростання обсягів світової торгівлі, що в свою чергу призводить до збільшення попиту на логістичні послуги, до яких відносять доставку, зберігання, митне оформлення, розукрупнення, стафірування, розподіл та ін.

Проектування системи доставки є складним завданням, при вирішенні якого необхідно враховувати як вибір варіанта доставки, так і посередників в розподілі вантажу до кінцевих споживачів з урахуванням вимоги щодо часу, якості, кількості і при можливих мінімальних витратах. Виконання цих

вимог можливо при використанні логістичного підходу і сучасних методів математичного моделювання до проектування систем розподілу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз проблем, пов'язаних з вибором логістичних посередників і оптимальної схеми доставки вантажу, знайшов відображення в роботах: Анікіна В.А. [1], Гаджинського А.М. [2], Лукинського В.С. [3], Міротина Л.Б. [4], Сергєєва В.И. [5], Воевудского Е.Н. [6], Цвирицького та ін. Проте, незважаючи на досягнуті результати, розробка нових методичних підходів, що дозволяють вирішувати комплексні задачі проектування систем доставки вантажів, залишається актуальною.

Мета статті. Мета дослідження полягає в розробці методики і методів розподілу вантажопотоку імпортованих контейнерних вантажів.

Результати досліджень. Реалізація поставленої мети зумовила необхідність рішення ряду взаємопов'язаних задач:

- аналіз стану, тенденції розвитку і застосування теорії логістики при доставці вантажів;
- аналіз моделей і методів вживаних в розподільній логістиці;
- проектування системи доставки контейнерів і розробка узагальненого алгоритму вибору системи доставки з урахуванням заданих обмежень.

Об'єктом дослідження є логістичні системи доставки контейнерних вантажів, включаючи всі ключові їх підсистеми: транспортні, експедиторські компанії, маршрути, види транспорту, термінали та ін.

Предметом дослідження є моделі і методики оптимізації систем доставки вантажів, а також фактори, що визначають якість доставки.

При проведенні досліджень, що передують вирішенню поставлених задач, використані теоретич-

ний аналіз наукової літератури, що дозволив визначити актуальність дослідження і ступінь його опрацювання іншими вченими, а також методи дослідження операцій. Результати спираються на понятійний апарат і теоретичну базу таких напрямків як: загальна економічна теорія, системний аналіз, логістика.

Оптимізуючи параметри логістичних систем доставки вантажів враховуємо, що логістика - це наука про планування, контроль і управління транспортуванням, зберіганням та іншими матеріальними і нематеріальними операціями, які виконуються в процесі доведення сировини і матеріалів до виробничого підприємства, внутрішньозаводської переробки сировини, матеріалів і напівфабрикатів, доведення готової продукції до споживача відповідно до інтересів і вимог останнього, а також передачі, зберігання і обробки відповідної інформації.

Під системою доставки будемо розуміти сукупність підсистем, які забезпечують доставку вантажу від вантажовідправника до вантажоодержувача. Такими підсистемами є: вантажовідправник, вантажоодержувач, транспортна система, пункти перевалки і зберігання.

Логістичний підхід в системі доставки визначається:

- в цілісності системи доставки від виробника до споживача;
- з огляду на критерій мінімуму загальних витрат на виконання всіх логістичних операцій;
- в дотриманні вимог споживача за часом, місцем доставки, кількості і якості (логістичні принципи: 7 правил логістики: необхідний вантаж, в потрібне місце, в потрібний час, в потрібній кількості і якості, які необхідні споживачеві, з мінімальними загальними витратами);
- в обов'язковій наявності керуючої підсистеми (координатор-експедитор, який організовує доставку «від дверей до дверей»).

Таким чином, логістична система доставки - це сукупність підсистем, що генерує матеріальні потоки переміщення і поглинання, узгоджене функціонування яких, на основі економічної, технічної та технологічної інтеграції, дозволяє оптимізувати надходження матеріальних цінностей з певними якіс-

ними і кількісними характеристиками в певний час і місце певного споживача з певним рівнем витрат.

Отже, логістичну систему, відповідно до функціональних областей логістики, можна розділити на підсистему постачання, виробництва і розподілу (рис. 1).

Тоді під мікрологістичною системою будемо розуміти обов'язкову наявність трьох підсистем: джерело (виробництво, термінал, склад та ін.), підсистема, що переміщає (транспорт і його інфраструктура) і стоки, до яких можна віднести не тільки кінцевого споживача, але і оптового посередника. Треба відзначити, що значну частину логістики товарів народного споживання займає права частина системи - розподіл.

Під підсистемою розподілу розуміють набір учасників (посередників), що виконують комплекс взаємопов'язаних функцій, що реалізуються під час процесу розподілу матеріального потоку між різними оптовими покупцями.

Інтерес щодо мінімізації витрат доведення готової продукції до споживача постійно збільшується - як за кордоном, так і в Україні. Все частіше, кажучи про товари з частим циклом звернення, ставиться питання про доцільність використання розподільних центрів, про їх кількість, місце розташування. Розподільний центр (РЦ) - це складський комплекс, який отримує товари від підприємств-виробників або від підприємств оптової торгівлі (наприклад, які знаходяться в інших регіонах країни або за кордоном) і розподіляє їх більш дрібними партіями замовникам (підприємствам дрібнооптової та роздрібною торгівлі) через свою або їх товаропровідну мережу.

Основні функції розподільних центрів:

- 1) РЦ управляють товарними потоками і їх розподілом;
- 2) Складська функція - акумуляція товарів. Тобто адаптивне реагування на збій постачань або нерівномірний продаж.
- 3) Ключове групування товарів, використовуючи групування однотипних операцій:
 - Приймання товару на складське зберігання;
 - Поповнення та розміщення товару в зонах відбору;
 - Комплектація замовлень для торгових точок;

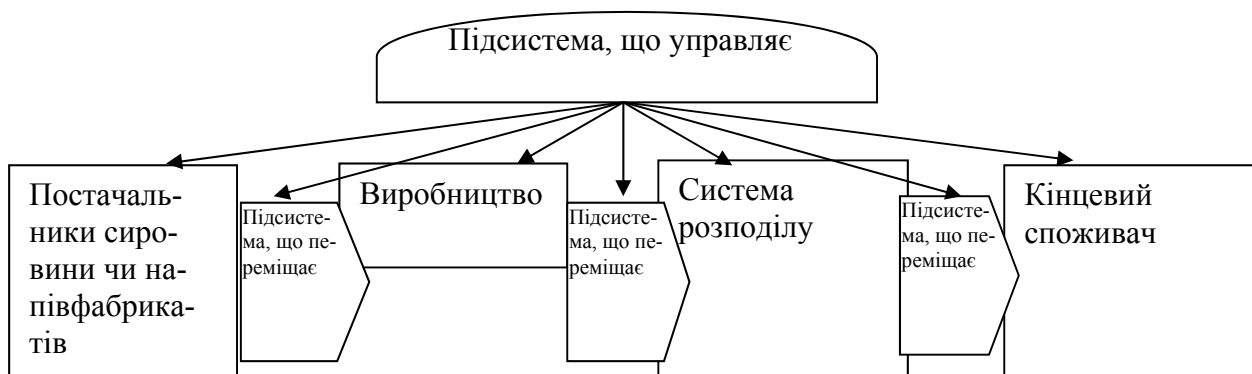


Рис. 1. Схема логістичної системи

- Відправлення та експедирування зібраних замовлень;
- Інвентаризація товарних запасів;
- Робота з браком і способи його усунення;
- Повернення товару і тари;
- Робота з претензіями, з постачальниками і покупцями.

Таким чином, справедливо стверджувати, що головна функція розподільного центру сьогодні - це не просте складування товарів і раціоналізація товаропостачання, а максимально швидка комплектація партій товарів і відвантаження їх споживачам.

Функціонування власних розподільних центрів дозволяє торгівельним компаніям знизити витрати на постачання товарів. Кажучи іншими словами, наявність розподільного центру дозволяє мінімізувати витрати на доведення продукту кінцевому споживачеві за рахунок доставки товару в одну точку, де відбувається розукрупнення, зберігання і доставка партії товару відповідно до потреб кінцевого споживача. Виходячи з наведених міркувань, можна стверджувати, що логістичні центри є частиною логістичного циклу розподілу і повинні бути в складі загальної системи оптимізації.

Проектування системи розподілу вантажів є складним завданням. При вирішенні такого роду завдань необхідно здійснювати комплекс заходів, пов'язаних з проектуванням системи і варіантами доставки вантажів, аналізом і вибором логістичних посередників, контролем якості їх діяльності. При цьому необхідно враховувати, що основним критерієм для сучасного кінцевого споживача є дотримання термінів і якості поставки при можливо мінімальних витратах.

Дослідження моделей і методів оптимізації систем розподілу вантажів, а також факторів, що визначають якість доставки, виявив, що для рішення задачі визначення параметрів розподільчої системи з успіхом використовуються класична транспортна задача і різні її ускладнені постановки, що дозволяють отримати в результаті рішення набір оптимальних маршрутів з урахуванням пунктів перевалки (складів), видів транспорту. При цьому способі транспортування і розподільні центри, які включені до складу системи розподілу, визначаються заздалегідь, тобто їх обґрунтування здійснюється поза єдиної моделі оптимізації параметрів логістичної доставки вантажів.

Традиційно розташування розподільного центру вирішується за допомогою таких методів, як визначення центру ваги системи розподілу, повного перебору або евристичного методу, а подальший розподіл вантажу оптимізується вже при використанні економіко-математичних моделей багатоетапної транспортної задачі з різним видами ускладнення або без них. Такий підхід не дозволяє врахувати системні обмеження та критерії, призводить часто до вибору допустимого, але не оптимального рішення.

Значна частина товарів народного споживання перевозиться в великотоннажних контейнерах до-

сить великими партіями, тому, як правило, їх обсяги перевищують потреби окремих споживачів. Крім того, розстафіровка великотоннажних контейнерів є технологічно складним завданням, що вимагає застосування спеціалізованої техніки та наймання кваліфікованого персоналу, внаслідок чого не завжди можливо здійснити її силами кінцевого споживача (роздрібного продавця). В якості місця здійснення вивантаження вантажу з контейнера і формування дрібних партій для відправки споживачам використовуються розподільні центри, які мають відповідні потужності. Далі відправка здійснюється на палетах, найчастіше, автомобільним транспортом, що забезпечує швидку і своєчасну доставку.

Для вирішення подібного роду задач пропонуємо методику, що складається з виконання ряду керуючих дій:

1. Пошук інформації, формування вихідних даних. На цьому етапі визначають перелік змінних і об'єктів спостереження. Важливими критеріями відбору при формуванні інформації є точність і відповідність даних.

2. Аналіз вихідної інформації про відправників і одержувачів. Необхідно з'ясувати географічне розташування пунктів відправлення і призначення, кількість вантажу, чи є він в наявності в кожному з пунктів відправлення та необхідний обсяг вантажу для одержувачів.

3. Визначення керуючої підсистеми (3PL оператора перевезення).

4. Аналіз інформації про пункти перевалки. Визначаються можливі пункти перевалки та їх пропускна здатність.

5. Аналіз інформації про наявність розподільних центрів, наближених до сегментів кінцевих споживачів.

6. Аналіз характеристик обраних розподільних центрів (транспортна розв'язка, складські потужності і наявність технології розукрупнення вантажних одиниць). З масиву можливих РЦ відбираються ті, які відповідають вимогам характеристики даного вантажопотоку.

7. Формування логістична система із зазначенням всіх посередників.

8. Формування блок вихідних даних (обсяги постачання, витрати на доставку, зберігання, експедирування, перевантаження та ін.)

9. Формування критерію оптимізації побудови ланцюгів. Для того щоб обрати кращий варіант доставки вантажу необхідно визначитися з критерієм оптимальності. (За критерієм вартості - план перевезень оптимальний, якщо досягнутий мінімум витрат на його реалізацію. За критерієм часу - план перевезень оптимальний, якщо на його реалізацію витрачається мінімум часу).

10. Адаптація моделі в загальному вигляді. Побудова моделі з числовими даними. На даному етапі модель в загальному вигляді розписується детально для конкретного випадку.

11. Рішення завдання за допомогою ЕОМ.

12. Отримання оптимального маршруту доставки вантажу.

13. Функціонування проектного ланцюга постачань.

Виходячи з поставленої мети і розробленої методики оптимізації розподілу вантажопотоку контейнерів, з урахуванням розподільних центрів, пропонуємо адаптувати економіко-математичну модель, розглянуту в роботі [8].

Постановка задачі в математичних символах.

Нехай маємо M ($i = \overline{1, M}$) портів відправників контейнерів з вантажем, при цьому з кожного з них відправляється a_i ($i = \overline{1, M}$) контейнерів. Можливе перевезення контейнерів морським транспортом (судноплавними лініями) до K ($k = \overline{1, K}$) портів призначення. Далі необхідно здійснити доставку наземним транспортом до одного чи декількох розподільних центрів (РЦ), ємність кожного з яких обмежена в силу обмеженості складських приміщень і складає d_j ($j = \overline{1, N}$) палет-місць. Припустимо, що перевезення здійснюється в 20' контейнерах і один контейнер може вмістити 10 палет розміром 1200x800 мм. В розподільному центрі контейнери розстафіруються і вантаж відправляється L ($l = \overline{1, L}$) кінцевим споживачам відповідно до їх замовлень в обсязі b_l ($l = \overline{1, L}$) палет.

Відомі: вартість перевезення морським транспортом, включаючи вартість перевантаження та експедирування вантажу в порту, – c_{ik} ($i = \overline{1, M}, k = \overline{1, K}$), вартість перевезення наземним транспортом до розподільного центру, включаючи вартість обробки контейнеру в РЦ і вартість зберігання до моменту вивезення, – c_{kj} ($k = \overline{1, K}, j = \overline{1, N}$), а також вартість вивезення вантажу до кінцевих споживачів – c_{jl} ($j = \overline{1, N}, l = \overline{1, L}$).

Параметрами управління в економіко-математичній моделі побудови логістичної системи доставки контейнерів є: кількість контейнерів, що перевозяться між портами x_{ik} ($i = \overline{1, M}, k = \overline{1, K}$); кількість контейнерів, які перевозяться з портів призначення в РЦ – x_{kj} ($k = \overline{1, K}, j = \overline{1, N}$); кількість палет (тонн), що перевозяться з РЦ кінцевим споживачам – y_{jl} ($j = \overline{1, N}, l = \overline{1, L}$).

Відомо завантаження контейнера, яке дорівнює q палет. Слід зазначити, що розташування РЦ може збігатися з розташуванням кінцевого споживача.

Необхідно побудувати систему доставки вантажу в контейнерах з урахуванням вимоги мінімізувати загальні витрати (на транспортування на всіх

етапах проходження вантажу, обробку та зберігання в РЦ).

Економіко-математична модель задачі побудови логістичної системи доставки вантажів в контейнерах має вигляд (1) – (7).

$$z = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K c_{ik} x_{ik} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N c_{kj} x_{kj} + \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^L c_{jl} y_{jl} \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = a_i \quad (i = \overline{1, M}) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ik} - \sum_{j=1}^N x_{kj} = 0 \quad (k = \overline{1, K}) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{kj} \cdot q \leq d_j \quad (j = \overline{1, N}) \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{kj} \cdot q - \sum_{l=1}^L y_{jl} = 0 \quad (j = \overline{1, N}) \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^N y_{jl} = b_l \quad (l = \overline{1, L}) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} x_{ik} &\geq 0 \quad (i = \overline{1, M}, k = \overline{1, K}), \\ x_{kj} &\geq 0 \quad (k = \overline{1, K}, j = \overline{1, N}), \\ y_{jl} &\geq 0 \quad (j = \overline{1, N}, l = \overline{1, L}) \end{aligned} \quad (7)$$

(1) – цільова функція, яка мінімізує загальні витрати (на перевезення морем, перевантаження і оформлення в порту, перевезення наземним транспортом, обробку та зберігання в розподільному центрі);

(2) – обмеження щодо вивезення з портів відправлення: всі контейнери повинні бути вивезені;

(3) – балансові обмеження по портах: всі ввезені контейнери в порти призначення повинні бути вивезені;

(4) – обмеження щодо пропускної здатності РЦ: доступна ємність РЦ не повинна бути перевищена;

(5) – балансові обмеження по РЦ: весь ввезений в РЦ вантаж повинен бути вивезений;

(6) – обмеження щодо задоволення в повному обсязі потреб споживачів;

(7) – умови невід'ємності змінних.

Для апробації запропонованої моделі розглянемо імпортерський вантажопотік контейнерів з товарами народного споживання.

На сьогоднішній день Україна імпортує багато видів готової продукції.

Серед імпортерських вантажопотоків в топ-10 входять: мінеральні продукти, не дорожчі метали, аграрна продукція, машини і обладнання, полімерні метали і пластмаси, транспортні засоби, товари на-

родного споживання, електроніка і побутова техніка та інше. Процентне співвідношення імпорتنих вантажопотоків представлено на рис. 2.

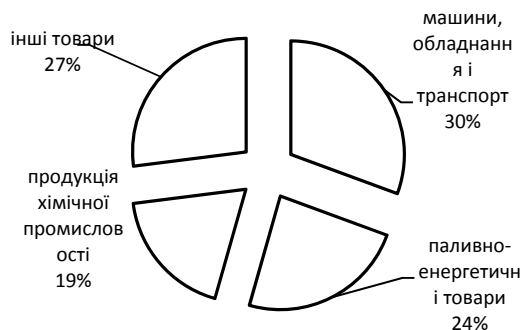


Рис. 2. Структура імпорту в Україну

Розглянемо вантажопотік хімічної промисловості, а саме лакофарбової продукції. Лакофарбова продукція користується стабільним попитом, який

залежить від обсягів будівельних і будівельно-ремонтних робіт в країні, а також від купівельної спроможності населення. В Україні виробляються лакофарбові вироби, однак і імпорتنі постачальники займають досить велику частку ринку, переважно у вищій ціновій категорії. Одними з головних країн-імпортерів лакофарбової продукції в Україну є Німеччина (40,6%), Польща (24,9%) і Південна Корея (16,9%) та інші (17,6%).

Товари хімічної промисловості, зокрема лак і фарби, імпортується в контейнерах і зазвичай в цій же вантажній одиниці надходять в дрібнооптові центри, де розстафіруються і зберігаються в ящиках на палетах до повного споживання. Пропонуємо розглянути в системі доставки, відповідно до запропонованої методики, розподільні центри, найбільш наближені до кінцевих споживачів (торгових центрів).

Розглянемо наступну логістичну систему постачання лакофарбових виробів від виробників та подальший розподіл їх по кінцевим споживачам (рис. 3).

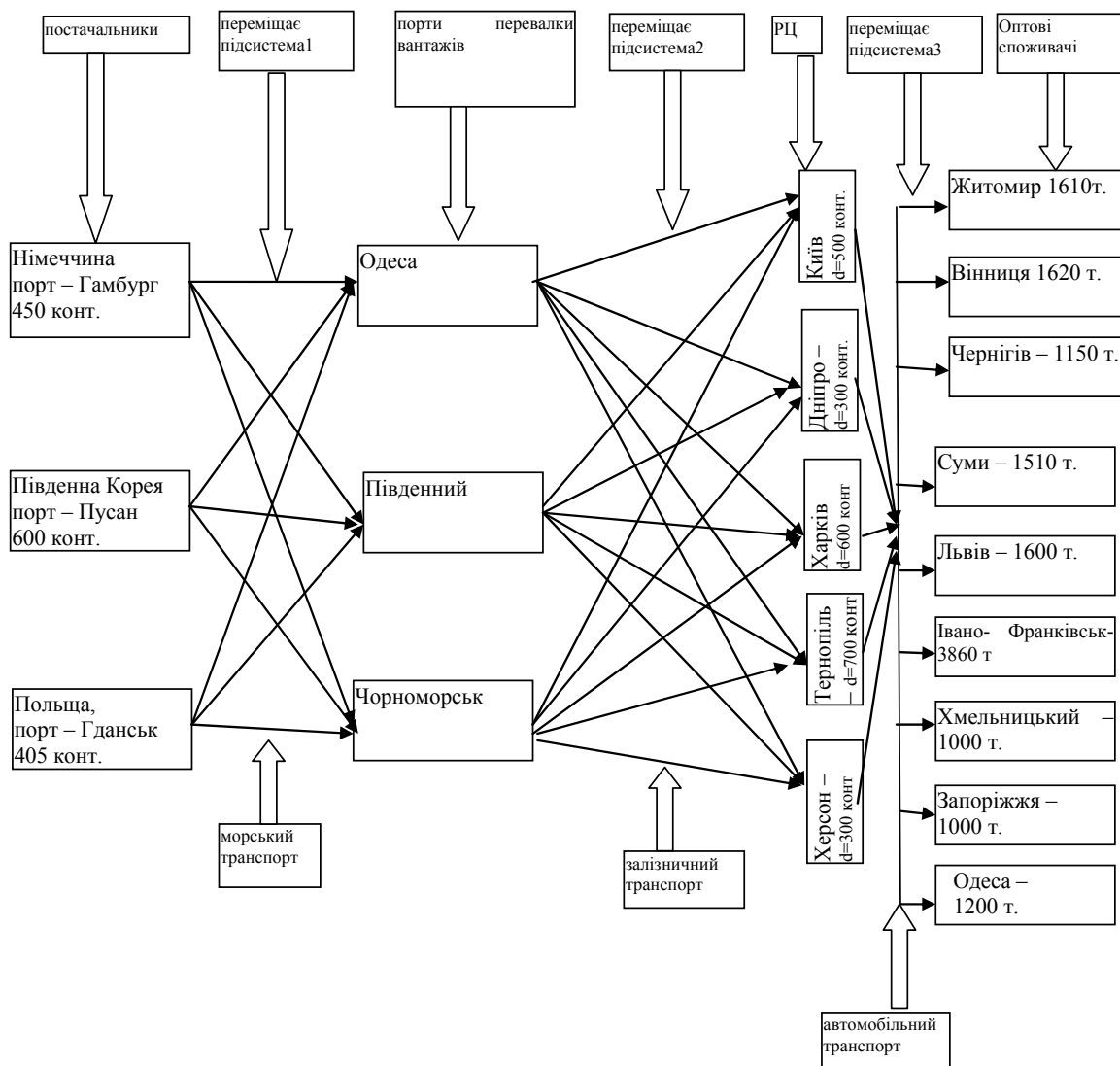


Рис. 3. Система доставки та розподілу лакофарбових виробів

Укладено контракт на постачання в Україну 1455 контейнерів з лакофарбовими виробами. Постачальниками є провідні компанії з виробництва лаків і фарб, що знаходяться в країнах: Німеччина, Південна Корея і Польща. Вироби відправляються з портів Гамбург - 450 контейнерів, Пусан - 600 контейнерів і Гданськ - 405 контейнерів. 3PL оператор повинен розв'язати задачу оптимальної доставки лакофарбових виробів до кінцевого споживача. Оскільки в даному прикладі розглядається логістичний підхід до доставки та розподілу вантажу, саме 3PL оператор бере на себе відповідальність за розробку маршруту доставки вантажу як до портів України, так і до кінцевого споживача.

Обсяги постачання та споживання наведені на рисунку 3. Дані щодо фрахту і витрат по перевезенню з урахуванням перевантаження і розстафировки, наведені в таблицях 1, 2 і 3.

Задачу будемо розв'язувати за допомогою Microsoft Excel, пошук рішення. В результаті рішення отримано наступний розподіл вантажопотоку таблиці (4-6), (рис. 4).

Таблиця 1

Фрахт на доставку контейнерів, дол.

Порти відправлення	Порти перевалки		
	Одеса	Південний	Чорноморськ
Гамбург	820,0	830,0	790,0
Пусан	1900,0	1910,0	1850,0
Польща	1200,0	1210,0	1100,0

Таблиця 2

Витрати на доставку контейнерів по залізниці до можливих розподільних центрів, дол.

Порти перевалки	Розподільні центри				
	Київ	Дніпро	Харків	Тернопіль	Херсон
Одеса	705,0	670,7	814,3	655,7	306,4
Південний	776,8	656,8	800,4	721,1	292,5
Чорноморськ	744,6	729,6	873,2	688,9	365,4

Таблиця 3

Витрати на доставку ящиків з лакофарбовими виробами до оптового споживача, дол.

Розподільні центри	Оптові споживачі								
	Житомир	Вінниця	Чернігів	Суми	Львів	Івано-Франківськ	Хмельницький	Запоріжжя	Одеса
Київ	178,9	238,9	221,8	378,2	624,6	775,7	395,4	807,9	705,0
Дніпро	695,4	755,4	888,2	540,0	1141,1	1292,1	922,5	146,8	693,2
Харків	817,5	877,5	725,4	208,9	1255,7	1406,8	1044,6	383,6	815,4
Тернопіль	436,1	283,9	753,2	909,6	158,6	309,6	127,5	1175,4	655,7
Херсон	733,9	757,5	750,0	755,4	1091,8	1179,6	813,2	331,1	298,9

Таблиця 4

Доставка контейнерів до портів перевалки, TEU

Порти відправлення	Порти перевалки		
	Одеса	Південний	Чорноморськ
Гамбург	79,0	371,0	
Пусан			600,0
Гданськ			405,0

Таблиця 5

Доставка контейнерів від портів перевалки до розподільних центрів, TEU

Порти перевалки	Розподільні центри				
	Київ	Дніпро	Харків	Тернопіль	Херсон
Одеса	79				
Південний		100	151		120
Чорноморськ	359			646	

Таблиця 6

Розподіл лакофарбових виробів в ящиках до кінцевого споживача, т

Розподільні центри	Оптові споживачі								
	Житомир	Вінниця	Чернігів	Суми	Львів	Івано-Франківськ	Хмельницький	Запоріжжя	Одеса
Київ	1610	1620	1150						
Дніпро								1000	
Харків				1510					
Тернопіль					1600	3860	1000		
Херсон									1200
Σ	1610	1620	1150	1510	1600	3860	1000	1000	1200

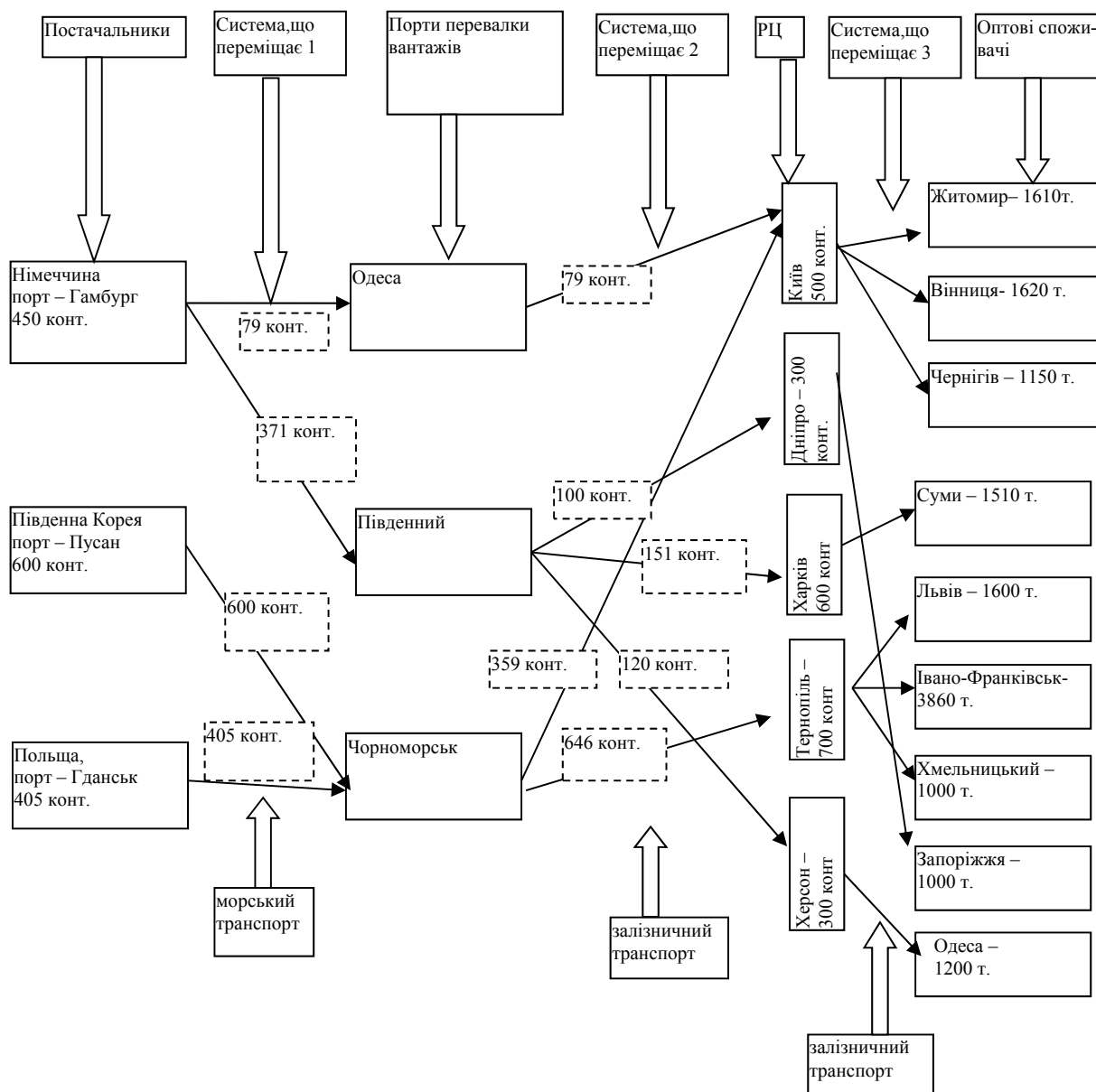


Рис. 4. Логістична система розподілу лакофарбових виробів

Пояснимо рішення, отримане при використанні економіко - математичної моделі (1-7).

Згідно з отриманим розподілом вантажопотоку контейнерів, в першій підсистемі що переміщує, контейнери будуть доставлятися морськими суднами-контейнеровозами наступним чином:

Гамбург - Одеса - 79 контейнерів;
Гамбург - Південний - 371 контейнер;
Пусан - Чорноморськ - 600 контейнерів;
Гданськ - Чорноморськ - 405 контейнерів.

Далі лакофарбові вироби в контейнерах будуть доставлятися в розподільні центри по залізниці на спеціалізованих платформах в наступних напрямках і кількості:

Одеса - Київ - 79 контейнерів;
Південний - Дніпро - 100 контейнерів;
Південний - Харків - 151 контейнер;
Південний - Херсон - 120 контейнерів;
Чорноморськ - Київ - 359 контейнерів;
Чорноморськ - Тернопіль - 646 контейнерів.

Зауважимо, що кожен розподільний центр має обмеження на приймання, зберігання і розстафіровку контейнерних вантажів. Далі в розподільних центрах контейнери розстафіруються та, у міру потреби, лакофарбові вироби поступають в торговельні центри наступним чином:

Київ - Житомир - 1610 т.
Київ - Вінниця - 1620 т.
Київ - Чернігів - 1150 т.
Дніпро - Запоріжжя - 1000 т.
Харків - Суми - 1510 т.
Тернопіль - Львів - 1600 т.
Тернопіль - Івано-Франківськ - 3860 т.
Тернопіль - Хмельницький - 1000 т.
Херсон - Одеса - 1200 т.

Загальні витрати на розроблену систему розподілу вантажопотоку склали - 6245, 523 тисяч доларів.

Висновки. Моделювання та оптимізація логістичних систем в діяльності експедиторських компаній в сучасних умовах української економіки набувають все більшої актуальності у зв'язку з інтенсифікацією і розвитком економічних відносин.

У сучасному світі, де переважають ринкові відносини, особливо важливими є скорочення витрат на доставку вантажів, що можливо при використанні логістичного підходу до вирішення завдань розподілу матеріального потоку.

Концепція логістики з управління економічними системами полягає в комплексному підході до питань управління матеріальним потоком.

При високій конкуренції в більшості галузей економіки дуже важливу роль грає кінцева ціна на товар, тобто та ціна, яку заплатить споживач з урахуванням всіх логістичних операцій, які необхідні для доставки вантажу.

Проектування системи доставки вантажів є складним завданням. Вирішуючи такого роду завдання, необхідно здійснювати комплекс заходів, які пов'язані з проектуванням системи доставки ван-

тажів, вибором варіанта доставки, аналізом і вибором логістичних посередників, контролем якості їх діяльності. При цьому необхідно враховувати, що головним критерієм для споживача в даний час є дотримання термінів поставки (точно під час) і мінімізація витрат.

В роботі була визначена мета: розробити методику і адаптувати економіко-математичну модель оптимізації системи доставки і розподілу контейнерних вантажів з урахуванням включення до неї розподільних центрів.

В результаті проведеної роботи було отримано наступне:

- розроблена методика формування системи доставки і розподілу вантажу (на прикладі лакофарбових виробів);
- запропонована модель проектування доставки, на якій показано взаємодію і взаємозв'язок етапів доставки;
- адаптована економіко-математична модель доставки вантажу з урахуванням вибору розподільних центрів і закріплення за ними оптових споживачів;
- проведені експериментальні розрахунки, які підтверджують працездатність запропонованої методики і моделі.

Л і т е р а т у р а

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. - 228с.
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. Пластунок, 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, Ань 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. Воеводский, Е. Н. Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом [Текст] / Е. Н. Воеводский, Н. А. Коневцева, Г. С. Махуренко, И. П. Тарасова; под ред. Е. Н. Воеводского. - М.: Транспорт, 1986. - 287 с.
7. Цвирицько И.А. Методология, методы и модели управления логистическими бизнес-процессами [Текст] / И.А. Цвирицько. - СПб.:СПбГИЭУ, 2003.- 262 с.
8. Поддубная Н.Н. Экономико-математическая модель обоснования месторасположения логистических распределительных центров при контейнерных перевозках [Текст] / Н.Н. Поддубная / Вісник Одеського національного морського університету / Зб. наук. праць. №1(47) - Одеса, ОНМУ, 2016

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. – 228s.
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. – M.: Izdatelstvo «Ekzamen», 2003. – 512 s.
5. Sergeev, V. I. Logistika v biznese [Tekst]: uchebnik / V. I. Sergeev. - Moskva : INFRA-M , 2001. - 608 s.
6. Voevodskiy, E. N. Ekonomiko-matematicheskie metodyi i modeli v upravlenii morskim transportom [Tekst] / E. N. Voevodskiy, N. A. Konevtseva, G. S. Mahurenko, I. P. Tarasova; pod red. E. N. Voevodskogo. – M.: Transport, 1986. – 287 c.
7. Tsvirinko I.A. Metodologiya, metodyi i modeli upravleniya logisticheskimi biznes-protsessami [Tekst] / I.A. Tsvirinko. – SPB.:SPbGIEU, 2003.-262 s.
8. Poddubnaya N.N. Ekonomiko-matematicheskaya model obosnovaniya mestoraspologheniya logisticheskikh raspredelitelnykh tsentrov pri konteynernykh perevozkah [Tekst] / N.N. Poddubnaya / VIsnik Odeskogo natsionalnogo morskogo unIversitetu / Zb. nauk. prats. #1(47) – Odesa, ONMU, 2016

Поддубная Н.Н., Киричек А.В. Оптимизация размещения распределительных центров в логистической подсистеме распределения.

Возникновение и развитие рыночных отношений в Украине вызвало интерес к относительно новому научному направлению - логистика. Сегодня существует достаточное количество научных работ посвященных понятийной базе логистики, а также работ, рассматривающих оптимизационные модели. В данной работе была разработана методика формирования системы доставки и распределения груза и адаптирована экономико-математическая модель доставки груза с учетом выбора распределительных центров и закрепленных за ними оптовых потребителей. Проведены экспериментальные расчеты на примере перевозки импортных контейнеров с лакокрасочной продукцией.

Ключевые слова: Логистическая система, распределительные центры, экономико-математическая модель, контейнерные перевозки

Poddubnaya Nataliya, Kyrichok Anastasiia. Optimization of distribution centers in the logistics distribution subsystem.

The emergence and development of market relations in Ukraine have generated an interest in a relatively new scientific area - logistics. Nowadays there is a sufficient number of scientific works dedicated to the conceptual basis of logistics, as well as works that consider optimization models. In this work, the formation of a delivery and distribution system methodology was developed and the economic-mathematical model of cargo delivery was adapted taking into account the choice of distribution centers and wholesale customers assigned to them. Experimental calculations were carried out using the example of the transportation of imported containers with paint and varnish products.

Keywords: Logistics system, distribution centers, economic-mathematical model, container transportation.

Піддубна Н. М. – старший викладач кафедри «Управління логістичними системами і проектами», Навчально-науковий інститут морського бізнесу, ОНМУ, e-mail: Poddubnaya.natnik@gmail.com

Киричок А.В. – студентка 3 курсу ННІМБ, ОНМУ, e-mail: anastasiakirichok@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 04.04.2019

УДК 629.463; 629.4.027.35

ПЕРСПЕКТИВНА КОНСТРУКЦІЯ РЕСОРНОГО ПІДВІШУВАННЯ ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

Потапенко О.О., Могила В.І.

PERSPECTIVE DESIGN OF SPRING SUSPENSION OF THE CART OF THE FREIGHT WAGON AND THE RESULTS OF ITS STUDY

Potapenko O., Mogila V.

У статті представлені результати теоретичних та експериментальних досліджень системи демпфірування візків вантажних вагонів. Приведено дані відчеплень до поточного відчіпного ремонту (ПВР) вантажних вагонів та статистика відчеплень по основним вузлам, причини бракування та статистика відмов в залежності від місця установки пружин ресорного комплекту візка вантажного вагону. Запропоновано удосконалену конструкцію фрикційного клинового гасителя коливань з підклиновим пружинним комплектом. Дана конструкція є сучасною інтеграцією конструктивних рішень ресорного підвішування, так як тарільчасті пружини вперше застосовані у вантажному вагонобудуванні. Представлено результати комплексного експериментального та комп'ютерного дослідження: напружено-деформованих, міцнісних, трибологічних та динамічних характеристик його елементів. Обґрунтовано доцільність запропонованої конструкції елементів ресорного підвішування візка вантажного вагону.

Ключові слова: вантажний вагон, візок, ресорне підвішування, фрикційний клиновий гаситель коливань, тарільчаста пружина, моделювання.



Рис. 1. Структура відчеплень до ПВР вантажних вагонів у 2013 – 2015 рр.

Статистика відчеплень вантажних вагонів по несправностям візка за 9 місяців 2017 року наступна: несправності візків – 18643 (37 %), несправності інших вузлів – 31576 (63 %); злам пружин – 5340 (29 %), інші несправності – 13074 (71 %) [3]. Статистика надходжень вагонів в ПВР з розподілом по основним вузлам вантажних вагонів представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Статистика відчеплень вантажних вагонів до ПВР по основним вузлам

Основні вузли вантажних вагонів	Кількість відчеплень до ПВР	
	9 міс. 2017 р.	9 міс. 2018 р.
Колісна пара	382994	403283
Буксовий вузол	27282	26580
Візок	178815	185967
Автозчепний пристрій	18829	23071
Автогальмівне обладнання	32902	32900
Кузов	322149	302951
Рама	21888	21514
Інші відчеплення	1389	1615
Всього	986248	997881

Статистику найбільш масових видів несправностей вантажних вагонів по вузлу «візок», що надійшли до ПВР за 9 місяців 2018 року, приведено у таблиці 2 [6].

Вступ. В країні склалася ситуація, яка вимагає значного оновлення вагонного парку. Середній знос парку вантажних вагонів становить 89,65% [1]. Показники якості та ефективності, рівень безпеки перевезень не відповідають сучасним вимогам. Одним із найголовніших напрямків підвищення працездатності ресорного підвішування вантажних вагонів є вдосконалення конструкції фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплексу, яка забезпечить стабільні характеристики системи демпфірування протягом всього міжремонтного пробігу, рівномірне навантаження та зменшення загального зносу взаємодіючих фрикційних поверхонь, збільшення пробігу візка без зміни елементів та підвищення безпеки руху.

Постановка проблеми. Експлуатаційні випробування рухомого складу в країнах СНД та статистичні дані про відчеплення до поточного відчіпного ремонту (ПВР) (рис. 1) [2 – 4] показали, що однією з найслабших ланок вагону є візок, який значно впливає на ходові характеристики вантажного вагону [5].

Таблиця 2

Статистика несправностей вагонів по вузлу «візок» за 9 місяців 2018 року

Несправності вагонів	9 міс. 2017 р.	9 міс. 2018 р.
Завищення/заниження фрикційного клину відносно опорної поверхні надресорної балки більше норми	50812	62023
Невідповідність проміжку сковзуна	47389	47433
Злам пружин	24005	25877
Злам опорної прокладки в буксовому прорізі	21549	18074
Тріщина ковпака сковзуна	11060	11762
Тріщини чи злом бічної рами	12756	8790
Злам ковпака сковзуна	3549	3877
Наднормативний знос фрикційного клину візка	2025	1809
Знос ковпака сковзуна	1924	2752
Обрив (відсутність) чи послаблення заклепки фрикційної планки	262	501
Тріщина, злам клина гасителя коливань	494	448
Тріщина чи відкол рухомої планки візка 18-100, яка пройшла модернізацію М1698	244	243
Відсутність чи зміщення пружин	124	83

В даний час ситуацію з пошкоджуваністю деталей візків вантажних вагонів, зокрема пружин ресорного комплексу, не можна вважати задовільною. За даними Головного обчислювального центру ВАТ «РЗД» через злам пружин за період побудови вагонів з початку 2013 року по квітень 2015 року до поточного відчипного ремонту надійшло 7660 вагонів. З них 2640 вагонів побудови АТ НВК «Уралвагонзавод», 1128 вагонів побудови ЗАТ «Промтрактор-Вагон», 938 вагонів побудови ВАТ «Алтайвагон» та 2894 вагонів побудови інших виробників [7]. Представлені статистичні дані свідчать, що термін експлуатації пружин ресорного підвішування у візків моделі 18-100 та їх аналогів часто не досягає першого деповського ремонту, який проводять на третій рік з моменту побудови вагона. У більшості випадків злам пружин найчастіше ламаються саме підклинові пружини. Злам пружин, в першу чергу, призводить до порушення стабільної роботи фрикційного вузла гасителя коливань і передачі підвищених динамічних навантажень на бічні рами візка, що може спричинити появу втомних тріщин і руй-

нування бічних рам [7]. Статистику злам пружин ресорного комплексу в залежності від місця установки приведено у таблиці 3 [8]. Статистика причин бракування пружин ресорного комплексу візка вантажного вагону при планових ремонтах (рис. 2) [3].

Таблиця 3

Статистика злам пружин ресорного комплексу в залежності від місця установки

Місце розташування пружин		Кількість зламаних пружин	
		зовнішні	внутрішні
Під клином	шт.	101	385
	%	6,3	24
Центральні	шт.	82	270
	%	5,1	16,8
Зовнішня сторона комплексу	шт.	81	285
	%	5,1	17,8
Внутрішня сторона комплексу	шт.	89	306
	%	5,6	19,25

В даний час чітко сформувалися основні напрямки у галузі проектування вантажних вагонів нового покоління. У вагонах нового покоління повинні враховуватися: рівень безпеки та екологічного навантаження на навколишнє середовище, споживчі показники, вартість життєвого циклу, коефіцієнт експлуатаційної готовності та інші [5].

Транспортною стратегією України на період до 2020 року передбачено забезпечення рухомим складом, здатним істотно підвищити техніко-технологічні показники, зокрема:

- підвищення швидкості руху вантажних потягів до 100 – 120 км/год;
- збільшення терміну експлуатації та підвищення продуктивності рухомого складу;
- зниження питомих витрат енергоресурсів і матеріаломісткості;
- зменшення часу доставки вантажів [9].

Реалізація зазначених вимог значною мірою пов'язана з поліпшенням динамічних та трибологічних характеристик ресорного підвішування вантажних вагонів, підвищенням його стабільної та надійної роботи з урахуванням зростаючих динамічних навантажень в умовах швидкісного руху залізничного складу [10].

Причини бракування пружин ресорного комплексу при планових ремонтах вагонів

Рис. 2. Причини бракування пружин ресорного комплексу при планових ремонтах вантажних вагонів

Виходячи з необхідності внесення відповідних конструктивних змін, при проектуванні елементів ресорного підвішування візків вантажних вагонів, необхідно забезпечити стабільність демпфірування в сучасних умовах, підвищену зносостійкість пар тертя при діючій системі планово-попереджувальних ремонтів. Конструкція ресорного підвішування повинна забезпечувати необхідну зв'язаність візка у плані при допустимих нормативах зносу елементів «надресорна балка – фрикційний клин – фрикційна планка» [4].

Мета статті. Обґрунтування доцільності впровадження пропонованої науково-технічної розробки.

Результати досліджень. При аналізі конструкційних особливостей широко застосовуваних трьохелементних візків вантажних вагонів України, країн СНД та Північної Америки, тенденцій сучасного проектування та конструктивних рішень, застосовуваних при модернізації візків, визначено основні переваги та недоліки візків і вимоги до їх головних вузлів. Виявлено, що недоліки, пов'язані з ресорним підвішуванням, значно впливають на динамічні, швидкісні та експлуатаційні показники вантажних вагонів. Формування динамічної поведінки конструкції вагона значною мірою залежить від характеристик системи демпфірування та гасіння коливань.

Виходячи з аналізу конструкційних особливостей головних вузлів масовозастосовуваних візків вантажних вагонів та дослідження недоліків і несправностей конструкції ресорного підвішування, розроблено та запропоновано удосконалену конструкцію фрикційного клинового гасителя коливань з підклиновим пружинним комплектом [11, 12].

Відповідно до геометричних розмірів, за проектом модернізації було розроблено комп'ютерну модель з використанням програмно-апаратного забезпечення SolidWorks (Dassault Systèmes) (рис. 3) [4, 11, 13].

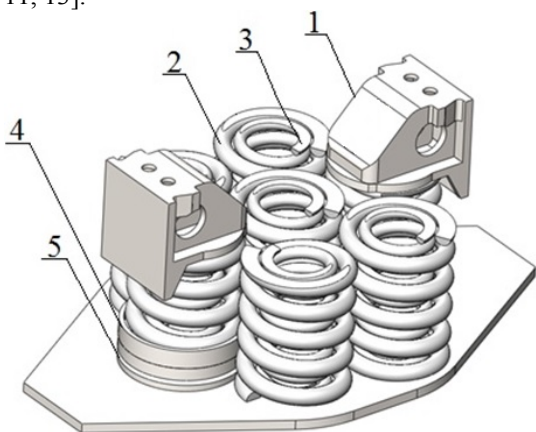


Рис. 3. Модель ресорного підвішування за проектом модернізації

Дана конструкція є сучасною інтеграцією конструктивних рішень ресорного підвішування, так як тарілчасті пружини вперше застосовані у вантажному вагонобудуванні.

Згідно виконаного проекту модернізації конструкція фрикційного клинового гасителя коливань з підклиновим пружинним комплектом має ряд певних конструктивних особливостей [10]. Так, на відміну від «класичного» варіанту [14], удосконалена конструкція [10, 13, 15] складається вкороченої зовнішньої натискної пружини 2, яка спирається через металеву кільцеву прокладку 4 на комплект з тарілчастих пружин 5.

Тарілчасті пружини відрізняються від найбільш поширених циліндричних витих пружин не тільки більшою жорсткістю, але й більшою енергоємністю, тобто запасом потенційної енергії деформації. Даний параметр дуже важливий для зниження динамічних навантажень та інших навантажень паразитного характеру [16]. До пружинних елементів висуваються вимоги збереження заданих експлуатаційних властивостей [17, 18], особливо міцності, впродовж тривалого часу (25 років).

У тарілчастих пружинах досягається більш висока (в 2 ... 3 рази), ніж в циліндричних витих пружинах, енергоємність. Перш за все, це відбувається за рахунок застосування матеріалів з високою питомою енергоємністю. До таких матеріалів відносяться високоміцні пружинні сталі марок 60C2A, 60C2XA, 60C2H2A, 65C2BA, які забезпечують величину межі міцності до $\sigma_v = 1800 \dots 1900$ МПа. Сталеві тарілчасті пружини характеризуються стабільністю та термостійкістю (- 60 °C до + 120 °C) [4].

Запропонована конструкція фрикційного клинового гасителя коливань з підклиновим пружинним комплектом була об'єктом комплексного експериментального та комп'ютерного дослідження: напружено-деформованих [11, 13], міцнісних [10, 20, 21], трибологічних [9, 23] та динамічних характеристик [4, 11, 13] його елементів.

За результатами стендових порівняльних випробувань фрикційного клинового гасителя коливань серійної та пропонованої конструкції на конструкційну міцність та руйнующе навантаження на спеціально-розробленому устаткуванні, отримано наступні результати: при випробуванні на конструкційну міцність у пропонованій конструкції напруження в контрольованих точках ділянок у 1,5 – 2 рази нижчі, а при випробуванні на руйнующе навантаження отримано напруження в 2 рази менші при навантаженні та нижчі у 11,5 раз після зняття напруження, порівняно з серійною конструкцією [10, 20, 21].

При дослідженні трибологічних властивостей матеріалу фрикційного клинового гасителя коливань виявлено, що для фрикційного клину з сірого чавуну характерна низька чутливість до впливу зовнішніх концентратів напружень при циклічних навантаженнях, високий коефіцієнт поглинання коливань при вібраціях. Клини з сірого чавуну різко (в 2,5...3,0 рази) знижують знос похилих поверхонь надресорних балок внаслідок присутності в чавуні графіту, що грає роль твердого змащення [9, 23].

За результатами проведених досліджень напружено-деформованого стану елементів серійної та удосконалених конструкцій фрикційного клинового гасителя коливань з підклиновим пружинним комплектом візка напіввагону моделі 12-7019 КВБЗ під дією статичного навантаження встановлено, що запропонована конструктивна зміна елементів ресорного підвишування приводить до зменшення напружень, що виникають під дією зовнішніх навантажень, приблизно на 28% у «порожньому» режимі, та практично на 12% у «вантажному», порівняно з існуючою конструкцією [11, 13]. Еквівалентні напруження досліджуваних пружинних комплектів у порожньому режимі становлять: типовий комплект – 81,2 МПа, удосконалений комплект – 58,7 МПа, удосконалений зі стандартним клином – 60,1 МПа, у вантажному режимі: типовий комплект – 572,5 МПа, удосконалений комплект – 504,1 МПа, удосконалений зі стандартним клином – 510,3 МПа [11, 13].

Пропонована конструкція фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплексу має білінійну характеристику. Визначено характер діаграми вертикальної силової характеристики та роботу (величину) поглинутої механічної енергії за один повний цикл роботи, досліджуваних конструкцій ресорного підвишування візка вантажного вагона: типовий комплект – 588 Дж, удосконалений комплект – 507 Дж, удосконалений зі стандартним клином – 545 Дж [11, 13].

Розроблена комп'ютерна модель вантажного вагона дала можливість отримати та представити вперше результати впливу серійної та пропонованих конструкцій ресорного підвишування на динамічну поведінку напіввагону при швидкості руху в діапазоні від 10 до 200 км/год [4, 11, 13]. Розрахункова схема для дослідження динаміки напіввагона зображена на рис. 4.

Динамічні показники візка напіввагону з запропонованою конструктивною зміною ресорного підвишування покращуються на 22 % у порівнянні з серійною (рис. 5) [5].

При дослідженні динамічної поведінки напіввагону моделі 12-7019 КВБЗ, в програмному комплексі «UniversalMechanism» у «порожньому» режимі

руху встановлено, що запропоновані конструктивні зміни забезпечують стабільний рівень динамічних показників у межах допустимих нормативних значень до швидкості $v = 110$ км/год. Адекватність комп'ютерної (математичної) моделі підтверджується відповідністю результатів отриманих у роботах [23, 24].

Результати комп'ютерного моделювання математичної моделі можна виразити аналітично представленням диференційного рівняння коливань напіввагону на прямій горизонтальній пружній ділянці колії:

а) рівняння руху кузова напіввагону:

$$M \ddot{z} = -c(z + l_2\varphi - z_{1T}) - c(z - l_1\varphi - z_{2T}); \quad (1)$$

$$I_1 \ddot{\varphi} = c(z + l_2\varphi - z_{1T})l_2 - c(z - l_1\varphi - z_{2T})l_1; \quad (2)$$

б) рівняння руху першого візка:

$$m \ddot{z}_{1T} = -cz_{1T} - c_1 z_{1T} + \frac{F_1 + F_2}{2}; \quad (3)$$

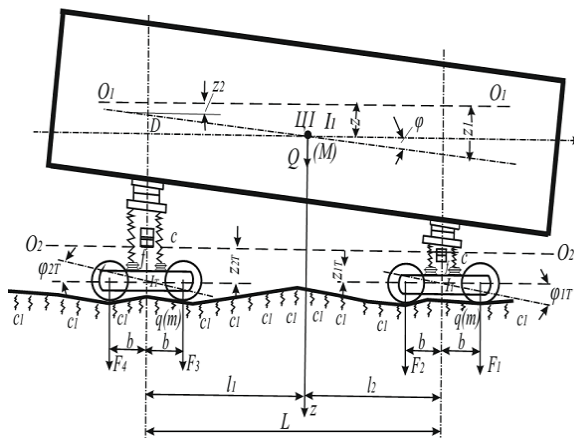
$$I_T \ddot{\varphi}_{1T} = -2c_1 b^2 \varphi_{1T} - F_1 b + F_2 b; \quad (4)$$

в) рівняння руху другого візка:

$$m \ddot{z}_{2T} = -cz_{2T} - c_1 z_{2T} + \frac{F_3 + F_4}{2}; \quad (5)$$

$$I_T \ddot{\varphi}_{2T} = -2c_1 b^2 \varphi_{2T} - F_3 b + F_4 b. \quad (6)$$

Виконано техніко-економічне обґрунтування ефективності запропонованої конструкції. Економічний ефект тільки за рахунок збільшення безремонтного пробігу візків вантажних вагонів по вузлу гасителя коливань зі 160 до 290 тис. км для 1 візка на рік, складає від 443,24 до 1782,32 грн та на період нормативної експлуатації напіввагону (22 роки) – від 9751,28 до 39211,04 грн [20, 21]. Економічний ефект від впровадження підклинових пружини ресорного підвишування запропонованої конструкції для 1 візка складає 2108,03 грн. та на період нормативної експлуатації напіввагону (22 роки) – 46376,66 грн.



Позначення:

- $O_1 - O_1$ – лінія розташування центру ваги кузова напіввагону;
- $O_2 - O_2$ – центрів ваги візків в момент статичної рівноваги;
- z, z_1, z_2 – координати центру ваги кузова напіввагону, а також точок I та II;
- z_{1T}, z_{2T} – координати центрів ваги візків напіввагону;
- $\varphi, \varphi_{1T}, \varphi_{2T}$ – кути повороту навколо центру ваги кузова та візків напіввагону;
- M – центр ваги напіввагону;
- $Q(M), q(m)$ – вага (маса) кузова та візка напіввагону;
- $2b$ – база візка, b – половина бази візка;
- L – база напіввагону, l_1, l_2 – половина бази напіввагону;
- I_1 – момент інерції кузова напіввагону відносно вісі, перпендикулярної кресленню і яка проходить через центр ваги кузова;
- I_T – момент інерції візків напіввагону відносно вісі, перпендикулярної кресленню і яка проходить через центр ваги візка;
- f – сила опору гасителя;
- c, c_1 – жорсткість ресорного підвишування візка та рейкової колії;
- F_1, F_2, F_3, F_4 – вертикальне навантаження.

Рис. 4. Розрахункова схема для дослідження динаміки напіввагону

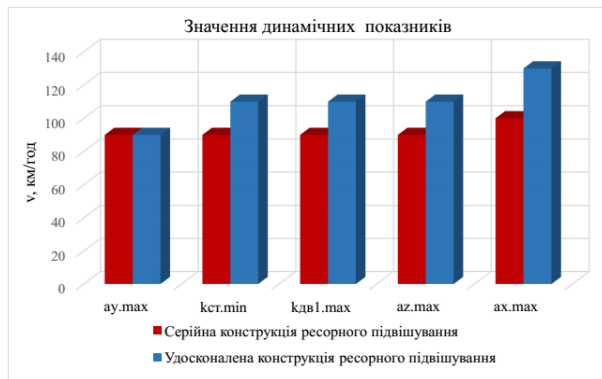


Рис. 5. Гістограма результатів динамічних показників серійної та удосконаленої конструкції ресорного підвішування

Для парка напіввагонів Укрзалізниці (47,6 тис. од.) економічний ефект складає від 21,08 до 84,76 млн. грн. теоретичного та від 6,32 до 25,43 млн. грн. реального, в залежності від матеріалу і наявності змінного сферичного вкладишу [20, 21] та 100,342 млн. грн. теоретичного і 30,103 млн. грн. реального при заміні підклинових пружин.

Висновки. 1. Термін експлуатації пружин ресорного підвішування у візків моделі 18-100 та їх аналогів часто не досягає першого деповського ремонту. Статистика зламу пружин ресорного комплекту, свідчить про те, що найбільш уразливе місце розміщення пружин – під клином.

2. Досліджена конструкція фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплекту має білінійну характеристику.

3. Динамічні показники візка напіввагона з запропонованою конструктивною зміною ресорного підвішування покращуються на 22 % у порівнянні з серійною.

4. Запропонована конструкція фрикційного клинового гасителя коливань з підклиновим пружинним комплектом, за результатами комплексного експериментального та комп'ютерного дослідження, має покращені експлуатаційні, міцнісні та динамічні характеристики, що значно подовжить термін експлуатації вантажних вагонів на візках моделі 18-100 та її аналогах.

5. Економічний ефект тільки за рахунок збільшення безремонтного пробігу візків вантажних вагонів по вузлу гасителя коливань зі 160 до 290 тис. км для 1 візка на рік, складає від 443,24 до 1782,32 грн та на період нормативної експлуатації напіввагону (22 роки) – від 9751,28 до 39211,04 грн. Економічний ефект від впровадження підклинових пружин ресорного підвішування запропонованої конструкції для 1 візка складає 2108,03 грн. та на період нормативної експлуатації напіввагону (22 роки) – 46376,66 грн.

Література

1. Стратегічний план розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року: Затв. наказом Міністерства ін-

фраструктури України від 21.12.15. № 547. – К., 2015. – 61 с.

2. Новые правила допуска подвижного состава на ж/д пути после ремонта [Електронний ресурс]: Портал Моя Колея 1520. – Режим доступу: <http://мояколей1520.pf/new/2015>
3. Лосев Д.Н. «Анализ существующей нормативно-технической документации по изготовлению и ремонту пружин. Разграничение гарантийной ответственности при изготовлении, ремонте и эксплуатации пружин». Заседание Союза «Объединение вагоностроителей» и Подкомитета по вагоностроению НП «ОПЖТ» ООО «Уральский Пружинный Завод» по теме: «Жизненный цикл пружин подвижного состава железнодорожного транспорта. Современные методы повышения эксплуатационного срока» (16 ноября). Россия, Республика Башкортостан, г. Белорецк, 2017.
4. Потапенко О.О. Комп'ютерна модель напіввагону 12-7019 КВБЗ з досліджуваними конструкціями ресорного підвішування. Міжнародний професійний журнал «Вагонний парк». Харків, 2019, № 3 (147). С. 20 – 25.
5. Потапенко О.А. Проблемы современных перевозок грузовыми вагонами в странах с шириной колеи 1520 и направления их решения. Міжнародний професійний журнал «Вагонний парк». Харків, 2016, № 5 – 6 (110 – 111). С. 46 – 49.
6. Справочные материалы по причинам поступления грузовых вагонов в текущий отцепочный ремонт. Центральная дирекция инфраструктуры, Управление вагонного хозяйства, Проектно-конструкторское бюро вагонного хозяйства. Ч.1, 2018. 171 с.
7. Марков А.М. Габец А.В., Габец Д.А., Гавриков Д.В. Пружины ресорного комплекта тележек грузовых вагонов. Материалы Международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы в машиностроении», 2016, № 3 (3). С. 194 – 197.
8. Резник Д.О. Об изломах пружин ресорного комплекта типовых тележек грузовых вагонов и рекомендациях по увеличению их равнопрочности. Техн. Механика, 2015, № 1. С. 79 – 83.
9. V. Mogila. O. Potapenko. Analysis and Study of the Problems Arising in Movable Joints of Freight Car Bogies. *TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin, 2016, Vol. 16, No.2. P. 27 – 32.
10. Потапенко О.О., Могила В.І. Комплексне обґрунтування ефективності конструктивного рішення удосконалення візка вантажного вагону для реалізації швидкісного руху в Україні. *Збірник наукових праць за матеріалами XII Всеукраїнської науково-управлінської конференції: «Проблеми сучасного управління: економічні, екологічні, політико-правові, історичні, культурні, ментальні аспекти»*, 24 – 26 листопада 2016 р. Одеса, 2016. С. 191 – 202.
11. Olha Potapenko, Nikolay Gorbunov, Valentin Mogyla, Yuriy Shcherbina, Vladimir Hauser. Analysis and Function Evaluation of Common and Proposed Friction Shock Absorbers for Open Box Wagon. Book of abstracts of XVI International Conference «Dynamics of Rigid and Deformable Bodies 2018», 17 – 19 October, 2018. Ústí nad Labem, Czech republic, 2018.
12. Потапенко О.О., Могила В.І. Систематизація та класифікація конструкційних особливостей фрикційних клинів гасителів коливань візків вантажних вагонів. Вісник СХУ ім. В. Даля. Сєвєродонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2017, № 4 (234). С. 189 – 194.
13. Потапенко О.О. Могила В.І. Результати досліджень роботи фрикційного гасителя коливань серійної та

- удосконалених конструкцій візка вантажного вагону. Вісник СХУ ім. В. Даля. Северодонецьк, 2018, № 2 (243). С. 184 – 192.
14. Шадур Л.А. Вагоны. Конструкция, теория и расчет: Учебн. для вузов ж.-д. трансп. М.: Транспорт, 1980. 439 с.
 15. Потапенко О.О., Могила В.І., Горбунов М.І. Фрикційний клиновий гаситель коливань візка вантажного вагона: пат. № 126619 Україна. № у 2018 01143; заяв. 06.02.18; опубл. 25.06.2018. Бюл. № 12 (кн. 1). 298 с.
 16. Артюх Г.В., Артюх В.Г. Тарельчатые пружины в металлургическом оборудовании. Защита металлургических машин от поломок. Мариуполь, 2000, Вып. 5. С. 146 – 149.
 17. ГОСТ 3057 – 90. Пружины тарельчатые. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт. Утв. и введен в действие протокол № 39 – 2011 от 12.05.2011. ИПК Изд-во стандартов, 2003. 37 с.
 18. Данилин Г.А., Метляков Д.В., Конев С.Ю., Черный Л.Г., Титов А.В., Ремшев Е.Ю. Оценка релаксационной стойкости тарельчатых пружин на основе метода акустической эмиссии. Деформация и разрушение материалов, 2012, № 3. С. 41 – 44.
 19. Вершинский С.В. Расчет вагонов на прочность. М.: Машиностроение, 1971. 432 с.
 20. Потапенко О.О., Могила В.І. Обґрунтування економічної ефективності впровадження вдосконаленої конструкції гасителя коливань у візках вантажних вагонів. Міжнародний професійний журнал «Вагонний парк». Харків. 2017, № 1 – 2 (118 – 119). С. 28 – 31.
 21. Потапенко О.О., Могила В.І. Ефективність застосування удосконаленої конструкції гасителя коливань візків вантажних вагонів. Матеріали XXVI Всеукраїнської наукової інтернет – конференції «Вітчизняна наука на зламі епох: Проблеми та перспективи розвитку», 14 жовтня 2016 р. Переяслав-Хмельницьк, 2016, Вип. 26. С. 294 – 297.
 22. Потапенко О.А., Могила В.І. Исследование трибологических свойств фрикционного клина гасителя колебаний. Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції «Інновації інфраструктури транспортно – логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи», 11 – 17 квітня 2016 р. Северодонецьк – Трускавець, 2016. С. 151 – 152.
 23. Данович В.Д., Рыбкин В.В., Мямлин С.В., Рейдемейстер А.Г., Трякин А.П., Халипова Н.В. Определение допускаемых скоростей движения грузовых вагонов по железнодорожным путям колеи 1520 мм. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта, 2003. С. 77 – 86.
 24. Подбельников И.В. Усовершенствование профиля обода железнодорожного колеса. Техническая механика, 2012, № 1. С. 15-22.
 - vagonostroeniju NP «OPZhT» ООО «Ural'skij Pruzhiny Zavod» po teme: «Zhiznennyj cikl pruzhin podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta. Sovremennye metody povysheniya jekspluatacionnogo sroka» (16 nojabrja). Ros-sija, Respublika Bashkortostan, g. Beloreck, 2017.
 4. Potapenko O.O. Komp'juterna model' napivvagonu 12-7019 KVBZ z doslidzhuvanimi konstrukcijami resornogo pi-dvishuvannja. Mizhnarodnij profesijnij zhurnal «Vagonnij park». Harkiv, 2019, № 3 (147). S. 20 – 25.
 5. Potapenko O.A. Problemy sovremennyh perevozok gruzovymi vagonami v stranah s shirinoj kolei 1520 i napravlenija ih reshenija. Mizhnarodnij profesijnij zhurnal «Vagonnij park». Harkiv, 2016, № 5 – 6 (110 – 111). S. 46 – 49.
 6. Spravochnye materialy po prichinam postuplenija gruzovyh vagonov v tekushij otepochnyj remont. Central'naja direkcija infrastruktury, Upravlenie vagonnogo hozjajstva, Proektno-konstruktorskoje bjuro vagonnogo hozjajstva. Ch.1, 2018. 171 s.
 7. Markov A.M. Gabec A.V., Gabec D.A., Gavrikov D.V. Pruzhiny resornogo komplekta telezhek gruzovyh vagonov. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: «Aktual'nye problemy v mashinostroenii», 2016, № 3 (3). S. 194 – 197.
 8. Reznik D.O. Ob izlomah pruzhin resornogo komplekta tipovyh telezhek gruzovyh vagonov i rekomendacijah po uvelicheniju ih ravnoprochnosti. Tehn. Mehanika, 2015, № 1. S. 79 – 83.
 9. V. Mogila. O. Potapenko. Analysis and Study of the Problems Arising in Movable Joints of Freight Car Bogies. TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin, 2016, Vol. 16, No.2. R. 27 – 32.
 10. Potapenko O.O., Mogila V.I. Kompleksne obruntuvannya efektyvnosti konstruktivnogo rishennja udoskonalennja vizka vantazhnogo vagonu dlja realizacii shvidkistnogo ruhu v Ukraїni. Zbirnik naukovih prac' za materialami III Vse-ukraїns'koї naukovo-praktichnoї konferencii: «Problemi suchasnogo upravlinnja: ekonomichni, ekologichni, politiko-pravovi, istorichni, kul'turni, mental'ni aspekti», 24 – 26 listopada 2016 r. Odesa, 2016. S. 191 – 202.
 11. Olha Potapenko, Nikolay Gorbunov, Valentin Mogyla, Yuriy Shcherbina, Vladimir Hauser. Analysis and Function Evaluation of Common and Proposed Friction Shock Absorbers for Open Box Wagon. Book of abstracts of XVI International Conference «Dynamics of Rigid and Deformable Bodies 2018», 17 – 19 October, 2018. Ústí nad Labem, Czech republic, 2018.
 12. Potapenko O.O., Mogila V.I. Sistematizacija ta klasifikacija konstrukcijnih osoblivostej frikciijnih kliniv gasiteliv kolivan' vizkiv vantazhnih vagoniv. Visnik SNU im. V. Dalja. Severodonec'k: SNU im. V. Dalja, 2017, № 4 (234). S. 189 – 194.
 13. Potapenko O.O. Mogila V.I. Rezul'tati doslidzhen' ro-boti frikciijnogo gasitelja kolivan' serijnioї ta udoskonalenih konstrukcij vizka vantazhnogo vagonu. Visnik SNU im. V. Dalja. Severodonec'k, 2018, № 2 (243). S. 184 – 192.
 14. Shadur L.A. Vagony. Konstrukcija, teorija i raschet: Uchebn. dlja vuzov zh.-d. transp. M.: Transport, 1980. 439 s.
 15. Potapenko O.O., Mogila V.I., Gorbunov M.I. Frikcij-nij klinovij gasitel' kolivan' vizka vantazhnogo vagona: pat. № 126619 Ukraїna. № u 2018 01143; jav. 06.02.18; opubl. 25.06.2018. Bjul. № 12 (kn. 1). 298 s.

References

1. Strategichnij plan rozvitku zalizničnogo transportu na period do 2020 roku: Zatv. nakazom Ministerstva infrastruktury Ukraїni vid 21.12.15. № 547. – K., 2015. – 61 s.
2. Novye pravila dopuska podvizhnogo sostava na zh/d puti posle remonta [Elektronij resurs]: Portal Moja Koleja 1520. – Rezhim dostupu: <http://mojakoleja1520.pf/new/2015>
3. Losev D.N. «Analiz sushhestvujushhej normativno-tehnicheskoy dokumentacii po izgotovleniju i remontu pruzhin. Razgranichenie garantijnoj otvetstvennosti pri izgotovlenii, remonte i jekspluatacii pruzhin». Zasedanie Sojuza «Ob#edinenie vagonostroitelej» i Podkomiteta po

16. Artjuh G.V., Artjuh V.G. Tarel'chatye pruzhiny v metallurgicheskoy oborudovani. Zashhita metallurgicheskikh mashin ot polomok. Mariupol', 2000, Vyp. 5. S. 146 – 149.
17. GOST 3057 – 90. Pruzhiny tarel'chatye. Obshhie tehicheskie uslovija. Mezghosudarstvennyj standart. Utv. i vveden v dejstvie protokol № 39 – 2011 ot 12.05.2011. IPK Izd-vo standartov, 2003. 37 s.
18. Danilin G.A., Metljakov D.V., Konev S.Ju., Chernyj L.G., Titov A.V., Remshev E.Ju. Ocenka relaksacionnoj stojkosti tarel'chatyh pruzhin na osnove metoda akusticheskoj jemissii. Deformacija i razrushenie materialov, 2012, № 3. S. 41 – 44.
19. Vershinskij S.V. Raschet vagonov na prochnost'. M.: Mashinostroenie, 1971. 432 s.
20. Potapenko O.O., Mogila V.I. Obruntuvannja ekonomichnoї efektyvnosti vprovadzhennja vdoskonalenoї konstrukcii gasitelja kolivan' u vyzkah vantazhnyh vagoniv. Mizhnarod-nij profesijnij zhurnal «Vagonnij park». Harkiv. 2017, № 1 – 2 (118 – 119). S. 28 – 31.
21. Potapenko O.O., Mogila V.I. Efektyvnist' zastosuvannja udoskonalenoї konstrukcii gasitelja kolivan' vyzkiv vantazhnyh vagoniv. Materiali HHVI Vseukraїns'koї naukovoї internet – konferencii «Vitchiznjana nauka na zlami epoh: Problemi ta perspektivi rozvitku», 14 zhovtnja 2016 r. Perejaslav-Hmel'nic'k, 2016, Vip. 26. S. 294 – 297.
22. Potapenko O.A., Mogila V.I. Issledovanie tribologicheskikh svojstv frikcionnogo klina gasitelja kolebanij. Zbirnik tez Mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencii «Innovacii infrastrukturi transportno – logistichnyh sis-tem. Problemi, dosvid, perspektivi», 11 – 17 kvitnja 2016 r. Severodonec'k – Truskavec', 2016. S. 151 – 152.
23. Danovich V.D., Rybkin V.V., Mjamlin S.V., Rejdemejster A.G., Trjakin A.P., Halipova N.V. Opredelenie dopuskaemyh skorostej dvizhenija gruzovyh vagonov po zhe-leznodorozhnyim putjam kolei 1520 mm. Vestnik Dnepro-petrovskogo nacional'nogo universiteta zheleznodorozhno-go transporta, 2003. S. 77 – 86.
24. Pod#el'nikov I.V. Usovershenstvovanie profilja obo-da zheleznodorozhnogo kolesa. Tehnicheskaja mehanika, 2012, № 1. S. 15-22.

Потапенко О.А, Могила В.И. Перспективная конструкция рессорного подвешивания тележки грузового вагона и результаты ее исследования

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований системы демпфирования тележек грузовых вагонов. Приведены данные отцепок в текущий отцепочный ремонт (ТОР) грузовых вагонов и статистика отцепок по основным узлам, причины браковки и статистика отказов в зависимости от места установки пружин рессорного комплекта тележки грузового вагона. Предложена усовершенствованная конструкция фрикционного клинового гасителя колебаний с подклиновым пружинным комплектом. Данная конструкция является современной интеграцией конструктивных решений рессорного подвешивания, так как тарельчатые пружины впервые применены в грузовом вагоне. Представлены результаты комплексного экспериментального и компьютерного исследований: напряженно-деформированных, прочностных, трибологических и динамических характеристик его элементов. Обоснована целесообразность предлагаемой конструкции рессорного подвешивания тележки грузового вагона.

Ключевые слова: грузовой вагон, тележка, рессорное подвешивание, фрикционный клиновой гаситель колебаний, тарельчатая пружина, моделирование.

Potapenko O., Mogila V. Perspective Design of Spring Suspension of the Cart of the Freight Wagon and the Results of its Study

The article presents the results of theoretical and experimental studies of the damping system of freight car trucks. The data of uncoupling in the current uncoupling emont (TOR) of freight wagons and the statistics of uncoupling for the main nodes, the reasons for rejection and statistics of failures depending on the installation location of the springs of the spring set of the wagon trolley are given. An improved design of a friction wedge vibration damper with a wedge spring assembly is proposed. This design is a modern integration of structural suspension solutions for spring suspension, since for the first time these spring springs were used in cargo rail construction. The results of complex experimental and computer studies are presented: stress-strain, strength, tribological and dynamic characteristics of its elements. The expediency of the proposed design of spring suspension elements for a freight car truck is substantiated.

Key words: freight wagon, trolley, spring suspension, friction wedge vibration damper, tarpaulin spring, modeling.

Потапенко О.О. – старший викладач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля,
e-mail: olga.alex.potapenko@gmail.com

Могила В.І. – к.т.н., доцент, професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля.

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

Стаття подана 18.04.2019

УДК 656.07:303.722.4

**ФОРМИРОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОГО МНОЖЕСТВА АЛЬТЕРНАВ
В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КЛАСТЕРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ****Ромак В.Л.****FORMATION OF EFFECTIVE SET OF ALTERNES IN SOLVING
THE TASKS OF CLUSTER OPTIMIZATION****Romakh V.L.**

В статье рассмотрены вопросы формирования эффективного множества альтернатив для оптимизации работы транспортно-логистического кластера. Размерность инфраструктурной составляющей обусловило использование метода декомпозиции. На начальных этапах сформировано «исходное», «допустимое» и «работоспособное» множества. На заключительном этапе, при использовании модифицированного метода динамического программирования (алгоритма Кеттеля), решена двухкритериальная задача для выявления эффективного множества.

Ключевые слова: транспортно-логистический кластер, инфраструктура, эффективное множество альтернатив, алгоритм Кеттеля.

Вступ. Разнообразие структурных форм транспортно-логистического кластера и функций его участников [1] влечет за собой сложности в реализации инфраструктурных проектов. Учитывая роль контейнерной составляющей и особенности формирования контейнерных отправок, недостаточная оперативность реакции инфраструктуры на изменения в логистическом и транспортном уровнях обуславливает как недоиспользование, так и переизбыток не только портовых, но и внутрисистемных сетевых мощностей. Это влечет за собой негативные последствия для всех участников рынка и требует комплексных решений.

Постановка проблемы. Наличие соответствующих параметров инфраструктуры, в частности транспортной сети, обеспечивающей коммуникацию с портом на территории региона, является необходимым условием ее эффективного использования. Принятие решения об изменении ее параметрического представления требует разработки методики формирования эффективного множества альтернатив, обеспечивающего оптимальную совокупность и последовательность мероприятий для улучшения показателей эксплуатационной работы по критери-

ям прироста пропускной способности при минимизации инвестиционной составляющей. Данная задача относится к задачам многокритериальной оптимизации.

Анализ последних исследований и публикаций. Решению задач многокритериальной оптимизации в транспортной отрасли посвящен ряд работ. В [2] проведено исследование ряда задач, связанных с решением проблем управления в едином логистическом комплексе. Многокритериальная транспортная задача с разрывными функциями и целочисленными переменными решена в [3]. В [4] разработано решение четырехкритериальной транспортной задачи с составлением программного комплекса. В качестве критериев использовались минимальные стоимость, время и накладные расходы перевозок и максимальный объем перевозок. В работе [5] представлена реализация решения двухкритериальной транспортной задачи с доказательством Парето-оптимальности разработанного итерационного алгоритма.

Цель статьи. Для разработки методики формирования эффективного множества альтернатив изменения параметрического представления инфраструктуры внутрикластерных сетевых мощностей, учитывая особенности структуры и функции кластера и лица, принимающего решение, учитывая заданную двухкритериальность задачи и независимость от временного фактора, предлагается использовать модифицированный метод динамического программирования (алгоритм Кеттеля) [6].

Результат исследования.

Предложено, используя метод декомпозиции, определить этапы формирования эффективного множества альтернатив изменения мощности внутрикластерной транспортной сети, произведя запись, основываясь на постулаты теории множеств.

1. Выделение элементов G_1 (информационная основа), входящих в «исходное» множество Ω_1 ;

$$G_1 \subseteq \Omega_1 \quad (1)$$

$$G_1 = \{g_{ij}\}, i=1, n; j=1, m \quad (2)$$

где G_1 - исходное множество элементов объекта исследования;

g_{ij} - элемент исходного множества рассматриваемой транспортной системы j -го вида транспорта

$$g_{ij} = \{p_{ijk}\}, i=1, n; j=1, m, k=1, l \quad (3)$$

где p_{ijk} - параметры g_{ij} -го элемента;
 k – тип параметра g_{ij} -го элемента.

2. Из «исходного» множества Ω_1 , формируем «допустимое» множество Ω_2 , накладывая нормативные ограничения:

$$G_2 \subseteq \Omega_2 \quad (4)$$

$$G_2 = \{g_{ij}^2\}, i=1, n; j=1, m \quad (5)$$

где G_2 - допустимое множество элементов объекта исследования;

g_{ij}^2 - элемент допустимого множества рассматриваемой транспортной системы j -го вида транспорта

$$g_{ij}^2 = \{p_{ijk}^2\}, i=1, n; j=1, m, k=1, l \quad (6)$$

где p_{ijk}^2 - параметры g_{ij}^2 -го элемента;
 k – тип параметра g_{ij}^2 -го элемента.

При этом:

$$\{g_{ij}^2 \perp \forall g_{ij} (p_{ijk} \neq N_{ij})\} \quad (7)$$

где N_{ij} - множество нормативов t, j -го вида транспорта.

3. На основании допустимого множества Ω_2 формируем множество «работоспособное» множество Ω_3 . В ограничении входят совокупность звеньев видов транспорта, на которых при определении работоспособности сети, после прогнозирования и перераспределения остался резерв пропускной способности [7-10]:

$$G_3 \subseteq \Omega_3 \quad (8)$$

$$G_3 = \{g_{ij}^3\}, i=1, n; j=1, m \quad (9)$$

где G_3 - допустимое множество элементов объекта исследования;

g_{ij}^3 - элемент допустимого множества рассматриваемой транспортной системы j -го вида транспорта

$$g_{ij}^3 = \{p_{ijk}^3\}, i=1, n; j=1, m, k=1, l \quad (10)$$

где p_{ijk}^3 - параметры g_{ij}^3 -го элемента;
 k – тип параметра g_{ij}^3 -го элемента.

При этом:

$$\{g_i^3 \perp \forall g_i^2 \in J_v\} \quad (11)$$

где J_v – виды транспорта, после проведения проверки системы на работоспособность, $v=1, z$

4. На рассматриваемом множестве Ω_3 , применив метод оптимизации (принцип Парето) для исключения заведомо неэффективных результатов, формируется Ω .

$$\Omega_3 \subseteq \Omega \quad (12)$$

Для выявленного множества Ω справедливо следующее:

исключение неконкурентных мероприятий путем их ранжирования по возрастанию капиталовложений на каждом элементе, входящем в исследуемую область, т.е.

$$K_1 < K_2 < \dots < K_y \quad (13)$$

исключение неконкурентных мероприятий путем их ранжирования по возрастанию пропускной способности каждого элемента (с точки зрения освоения дополнительного контейнерного грузопотока), входящего в исследуемую область, т.е.

$$\Delta\Gamma_1 < \Delta\Gamma_2 < \dots < \Delta\Gamma_y \quad (14)$$

Т.е. применяется процедура просеивания, что позволяет исключить не только сами неконкурентные мероприятия, но и их последующие комбинации. Произведя ранжирования такого типа на одном элементе, производится последующие композиционные объединения.

Используя приведенные выше обоснования, приведем реализацию метода на реальном объекте, где при первой постановке максимальное K_y не должно превышать 100 т.е., а при второй постановке минимальный прирост $\Delta\Gamma_y$ должен быть не менее 100 TEU.

Сформированные исходные данные наведены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные

m_{ij} (мероприятия)	№ m_{ij}	№ нереализованных m_{ij}	K_y , тыс	$\Delta\Gamma_y$, TEU
1-й участок				
	0	1,2,3	0	0
m_{11}	1	2,3	20	40
m_{21}	2	1,3	40	60
m_{31}	3	1,2	90	60
2-й участок				
	0	4,5,6	0	0
m_{12}	4	5,6	10	20
m_{22}	5	4,6	35	50
m_{32}	6	4,5	50	50
3-й участок				
	0	7,8,9	0	0
m_{13}	7	8,9	12	30
m_{23}	8	7,9	30	45
m_{33}	9	7,8	80	40

Основываясь на исходных данных, в таблицах 2, 3 и 4 приведены доминирующие последовательности первого второго и третьего участков.

Проведя декомпозицию первого и второго участков (рис.1.), в таблице 5 выстроим доминирующую последовательность композиции 1-го и 2-го участков.

Таблица 2

Доминирующие последовательности участка 1

№ m_{ij}	№ нереализованных m_{ij}	K_i , тыс.	ΔG_i , TEU
0	1,2,3	0	0
1	2,3	20	40
2	1,3	40	60

Таблица 3

Доминирующие последовательности участка 2

№ m_{ij}	№ нереализованных m_{ij}	K_i , тыс. грн.	ΔG_i , TEU
0	4,5,6	0	0
4	5,6	10	20
5	4,6	35	50

Таблица 4

Доминирующие последовательности участка 3

№ m_{ij}	№ нереализованных m_{ij}	K_i , тыс. грн.	ΔG_i , TEU
0	7,8,9	0	0
7	8,9	12	30
8	7,9	30	45

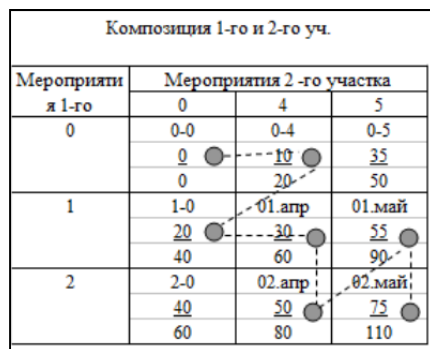


Рис. 1. Композиция двух участков

Таблица 5

Доминирующие последовательности композиции участков 1 и 2

	A_v	K_i , тыс.	G_i , TEU
1	0--0	0	0
2	0--4	10	20
3	1--0	20	40
4	1--4	30	60
5	2--4	50	80
6	1--5	55	90
7	2--5	75	110

Затем, проведя композицию трех участков (рис. 2), в таблице 6 приведем итоговую доминирующую последовательность их композиции, на которой наглядно (рис. 3) отображается искомая эффективная множество альтернатив (ЭОА).

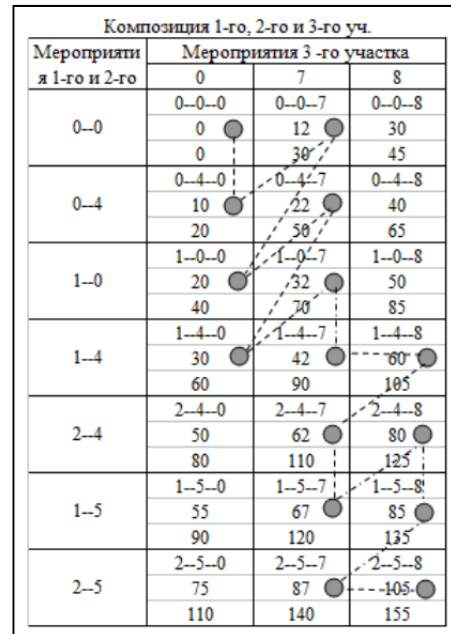


Рис. 2. Композиция трех участков

Таблица 6

Итоговая доминирующая последовательность композиции участков 1, 2 и 3

	A_v	K_i , тыс.	ΔG_i , TEU
1	0--0--0	0	0
2	0--4--0	10	20
3	0--0--7	12	30
4	1--0--0	20	40
5	0--4--7	22	50
6	1--4--0	30	60
7	1--0--7	32	70
8	1--4--7	42	90
9	1--4--8	60	105
10	2--4--7	62	110
11	1--5--7	67	120
12	2--4--8	80	125
13	1--5--8	85	135
14	2--5--7	87	140
15	2--5--8	105	155

Применение аналогичного алгоритма для каждого последующего звена сети (рис.3), обеспечивающего эффективную работу транспортно - логистического кластера в целом, позволяет принять решение о выборе: направления контейнерных челноков внутри кластера; вида транспорта, обеспечивающего данную «работу»; и даже, позволить, на начальном этапе, принимать решения о конкурентоспособности данного транспортно – логистического

кластера. Реализация данного алгоритма не возможна без применения современных информационных технологий и требует дальнейшего изучения.



Рис. 3. Итоговая доминирующая последовательность звеньев

Л и т е р а т у р а

1. Olaf Merk, Theo Notteboom. Port Hinterland Connectivity // International Transport Forum Discussion Paper, No. 2015-13. 34 p.

2. Серая О. В. Многомерные модели логистики в условиях неопределенности: монография / О. В. Серая. - Харьков: Стеценко И. И., 2010. - 512 с.
3. Осокина Ю. А., Чернишова Г. Д. Многокритериальная транспортная задача с разрывной целевой функцией. // Вестник, серия: системный анализ и информационные технологии. 2008. № 2. С. 10 - 12.
4. Нуркаева А.В. Методы многокритериальной оптимизации транспортной задачи // Инженерный вестник Дона. № 1. 2018
5. Серая О. В. Двухкритериальная транспортная задача // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». НТУ «ХПИ», 2009. № 4. - С. 64-68.
6. Оптимальные задачи надежности // под ред. Ушакова М. 1968. 293с.
7. Ромах В. Л., Гончарук С.М. Проблемы развития мощности железнодорожных звеньев международных транспортных коридоров территории Украины. // Проблемы техники: Научно - виробничий журнал - Одеса - 2007. - № 3. - С. 89 -107.
8. Ромах В. Л. Определение загрузки элементов транспортной инфраструктуры // Международная научно-практическая конференция «Перспективы инновации в науке, образовании, производстве и транспорте». - июнь 2010г. - С. 77-80.
9. Ромах В.Л. Методи визначення завантаження елементів транспортної мережі. Проблеми функціонування і розвитку портів. Том 2.: монографія / [авт. кол.: Кириллова О.В., Магамадов О.Р., Макушев П.А., Решетков Д.М., Ромах В.Л. та ін.]. - Одеса: КУПІСНКО С. В., 2017. 111-115с.
10. Ромах В.Л. Методика формування попередньої множини елементів рівня ТТС // Технології та інфраструктура транспорту : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 14-16 травня 2018р., м. Харків - Харків : УкрДУЗТ, 2018. - С. 224-225.

References

1. Olaf Merk and Theo Notteboom. Port Hinterland Connectivity // International Transport Forum Discussion Paper, No. 2015-13. 34 p.
2. Seraya O. V. Multidimensional models of logistics in conditions of uncertainty: monograph / O. V. Seraya. - Kharkov: Stetsenko I. I., 2010. - 512 p.
3. Osokina Yu. A., Chernishova G. D. A multi-criteria transport problem with a discontinuous objective function. // Bulletin, series: system analysis and information technology. 2008. № 2. P. 10 - 12.
4. Nurkayeva A.V. Methods of multicriteria optimization of the transportation problem // Engineering West. Nick Don. № 1. 2018
5. Seraya O. V. Two-criteria transport task // Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". NTU "KhPI", 2009. № 4. - p. 64-68.
6. Optimal problems of reliability // ed. Usha-kova M. 1968. 293s.
7. Romakh V. L., Goncharuk S.M. Problems of development of the capacity of railway links of international transport corridors of the territory of Ukraine. // Problems of technology: Naukovo - Virobnich journal - Odessa - 2007. - № 3. - P. 89 -107.
8. Romakh V. L. Determination of the loading of elements of the transport infrastructure // International Scientific and Practical Conference "Prospects for innovation in science, education, manufacturing and transport." - June 2010 - p. 77-80.

9. Romakh V.L. Methods for assigning a job for a few people in transport. Problem-func-nuvni i rozvitku portiv. Volume 2 : monograph / [ed. Col. : Kirillova OV, Magamakov OR, Maku-Shev PA, Reshetkov D.M., Romakh V.L. and other]. - Odesa: KUPRIENKO S.V., 2017. 111-115p.
10. Romakh V.L. Methods of forming the front of the set of elements of the TTS convention // Technology and transport infrastructure: materials of the International scientific practical conference, 14-16 of april 2018, m. Kharkiv - Kharkiv: UkrDUZT, 2018. - P. 224-225.

Ромах В.Л. Формування ефективної множини альтернатив в розв'язанні задач кластерної оптимізації.

У статті розглянуті питання формування ефективної множини альтернатив для оптимізації роботи транспортно-логістичного кластера. Розмірність інфраструктурної складової зумовило використання методу декомпозиції. На початкових етапах сформовано «вихідну», «допустиму» та «працездатну» множини. На заключному етапі, при використанні модифікованого методу динамічного програмування (алгоритму Кеттеля), вирі-

шена двукритеріальна задача з виявлення ефективної множини.

Ключові слова: транспортно логістичний кластер, інфраструктура, ефективне безліч альтернатив, алгоритм Кеттеля.

Romakh V.L., Formation of effective set of alterns in solving the tasks of cluster optimization

The article deals with the formation of an effective set of alternatives for optimizing the operation of the transport logistics cluster. The dimension of the infrastructure component led to the use of the decomposition method. At the initial stages, the "initial", "admissible" and "workable" sets are formed. At the final stage, when using a modified dynamic programming method (Kettel's algorithm), the two-criterion problem was solved and the effective set was identified.

Keywords: transport and logistics cluster, infrastructure, effective set of alternatives, Kettel algorithm.

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

Стаття подана 08.04.2019

УДК 338.242

УПРАВЛІННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЮ ПІДПРИЄМСТВА У КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Савченко М. В., Шкуренько О. В.

MANAGEMENT OF THE COMPETITIVENESS OF THE ENTERPRISE IN THE CONTEXT OF PROVISION OF ECONOMIC SECURITY

Savchenko M. V., Shkurenko O. V.

У статті обґрунтовано необхідність формування системи управління конкурентоспроможністю підприємства для забезпечення його економічної безпеки. Розроблено систему управління конкурентоспроможністю підприємства. Виконано розрахунок рівня конкурентоспроможності підприємства та сформовано модель конкурентоспроможності ПАТ «Укрпошта»

Ключові слова: конкурентоспроможність, економічна безпека, система управління, оцінка, модель конкурентоспроможності.

Актуальність теми. Проблеми пізнання в сфері конкурентоспроможності підприємства пов'язані зі складністю та динамічністю розвитку світового ринку в умовах глобалізації світової економіки, наявністю форм міжнародної конкуренції в різних галузях, високою долею монопольного сектору в українській економіці, недостатнім досвідом роботи українських підприємств на зовнішньому ринку та ін.

В умовах розвитку ринкових відносин в Україні конкурентоспроможність є вирішальним фактором успіху бізнесу й економічної безпеки. Конкуренція як головний елемент ринкового механізму є наразі однією з найпопулярніших економічних категорій. А механізм формування ефективних підходів до вибору конкурентних переваг є найбільш актуальним в сучасному економічному середовищі [1, с. 102].

У науковій літературі вже накопичений певний досвід в дослідженні конкурентоспроможності підприємства. Зокрема значний внесок зроблено такими вченими, як М. Портер, Ж. Ж. Ламбен, Д. Аакер, Г. Хамел, К. К. Прахалад, І. Ансофф, Р. А. Фатхутдинов, І. М. Акімова, Л. Л. Антонюк, П. Ю. Бельський, Г. Волинський, М. І. Долішій, Ю. Б. Іванов, Г. І. Кіндрацька, М. О. Кизим, О. Є. Кузьмін, С. В. Смерічевська, О. М. Тридід, О. М. Тищенко, А. В. Череп, З. Є. Шершньова, О. А. Швиданенко тощо [2-6].

Проте, незважаючи на велику кількість досліджень, в сучасній економічній літературі недостатньо приділено увагу теоретико-методологічним, методичним і практичним аспектам управління конкурентоспроможністю підприємства, що формує необхідність створення наукових основ управління конкурентоспроможністю підприємства як основи забезпечення його економічної безпеки.

Метою дослідження є розробка теоретичних підходів і методичних положень щодо формування системи управління конкурентоспроможністю підприємства, яка б відповідала вимогам ринкової економіки, сприяла підвищенню ефективності господарської діяльності підприємства та дозволяла підвищити рівень його економічної безпеки.

Основні результати дослідження. Управління конкурентоспроможністю підприємства являє собою певний аспект менеджменту підприємства, спрямованого на формування, розвиток та реалізацію конкурентних переваг та забезпечення економічної безпеки підприємства як суб'єкта економічної конкуренції.

Склад основних елементів системи управління конкурентоспроможністю підприємства та їх взаємозв'язки представлено на рис.

ПАТ «Укрпошта» – національний оператор поштового зв'язку України. ПАТ «Укрпошта» здійснює прямий поштовий обмін з 58 країнами світу, двосторонній обмін поштовими переказами з 35 країнами, з них відправленнями з післяплатою – з 11 країнами.

Проведений SWOT-аналіз (табл. 1) свідчить про те, що більш істотними обмеженнями є слабка технологічна та технічна база, яка не встигає за розвитком технологій надання послуг та загальними темпами розвитку НТП. Також проблемними є якість кадрового складу через низькі зарплати, які регламентує держава. Фінансові результати суттєво залежать від державного регулювання тарифів, тому це також є значною зовнішньою проблемою,



Рис. Система управління конкурентоспроможністю підприємства

Таблиця 1

PEST-аналіз ПАТ «Укрпошта»

Політичні чинники (P): наявність розгалуженої мережі по всьому світу; втручання держави в діяльність підприємства з огляду на державний статус підприємства; регламентація організаційної структури; скорочення поштових потоків через політичні конфлікти	Соціальні чинники (S): низький платоспроможний попит населення; зсув пріоритетів споживачів у бік отримання новітніх послуг на базі ІКТ; плинність кадрів, в т.ч. в наслідок трудової міграції за кордон
Економічні чинники (E): залежність фінансових результатів від державного регулювання тарифів, якості, рівня заробітної плати тощо; залежність фінансових результатів від якості роботи численного персоналу, їх кваліфікації; брак часу на здійснення реформ в умовах швидкого розвитку конкуренції	Технологічні чинники (T): брак технологічних інновацій та кваліфікованих працівників, що негативно впливає на якість; низькі темпи інформатизації підприємства, підвищення кваліфікації кадрів

Таблиця 2

Розрахунок конкурентоспроможності ПАТ «Укрпошта» в 2015-2017 рр.

Група критеріїв	2015	2016	2017
1. Ефективність виробничої діяльності підприємства ($E_{вд}$)	5,00	8,55	7,40
2. Фінансова стійкість підприємства (F_c)	9,90	6,45	5,00
3. Платоспроможність підприємства (P_n)	25,24	6,97	4,36
4. Конкурентоспроможність послуг (K_n)	1,00	1,00	0,50
Конкурентоспроможність підприємства	9,84	5,24	3,87

особливо в умовах конкуренції, коли інші оператори формують свою тарифну політику з огляду на витрати. Так, вартість пересилання листа ПАТ «Укрпошта» майже у вісім разів нижче, ніж у конкурентів та не завжди покриває витрати на надання послуги. Але державне регулювання тарифу на цю послугу не дозволяє підприємству підвищити тариф до рівня «собівартість+прибуток». Отже, SWOT – аналіз виділяє фінансові, якісні, кадрові та часові обмеження.

Здійснено оцінку конкурентоспроможності ПАТ «Укрпошта» методом, заснованим на теорії ефективної конкуренції, в основі якого лежить оцінка чотирьох критеріїв конкурентоспроможності, що забезпечують його економічну безпеку: ефективність виробничої діяльності, фінансова стійкість, платоспроможність підприємства та конкурентоспроможність послуг. Результати оцінки наведені в табл. 2.

За результати розрахунків табл. 2 можна стверджувати про низький рівень конкурентоспроможності ПАТ «Укрпошта» в 2015-2017 рр. із явно вираженим трендом до погіршення ситуації, що відбулося і на рівні економічної безпеки.

У структурі конкурентоспроможності ПАТ «Укрпошта» слабкими місцями є фінансова стійкість підприємства, платоспроможність підприємства та конкурентоспроможність послуг. На противагу цьому ефективність управління виробничим процесом ПАТ «Укрпошта» знаходяться на середньому рівні.

У середовищі MS Excel проведено регресійний аналіз впливу доходності діяльності (x_1), питомої ваги витрат на збут в собівартості продукції (x_2), адміністративних витрат на 1 грн чистого доходу (x_3), коефіцієнту автономії (x_4), коефіцієнту поточної ліквідності (x_5), коефіцієнту абсолютної ліквідності (x_6), продуктивності праці (x_7) на рівень конкурентоспроможності ПАТ «Укрпошта».

За результатами перевірки на мультиколінеарність до моделі не були включені коефіцієнти поточної ліквідності, абсолютної ліквідності та продуктивності праці.

Отже, модель конкурентоспроможності ПАТ «Укрпошта» має вигляд:

$$y = 58,79 - 35,89x_1 - 68,51x_2 - 198,19x_3 - 3,14x_4. \quad (1)$$

Коефіцієнт детермінації для отриманої моделі конкурентоспроможності показує, що варіація її рівня на 93,4 % визначається варіацією досліджуваних факторів.

Коефіцієнт кореляції свідчить, що між рівнем конкурентоспроможності, з одного боку, та доходністю діяльності, часткою витрат на збут в собівартості продукції, адміністративними витратами на 1 грн чистого доходу, коефіцієнтом автономії, з іншого, існує дуже тісний зв'язок.

Згідно з обчисленими характеристиками (коефіцієнти детермінації, кореляції, критерії Фішера та

Стюдента), які використані для оцінювання достовірності моделі, можна зробити висновок, що побудована нами модель відбиває тісний зв'язок між конкурентоспроможністю ПАТ «Укрпошта» та доходністю діяльності, часткою витрат на збут в собівартості продукції, адміністративними витратами на 1 грн чистого доходу, коефіцієнтом автономії.

Висновки. Таким чином, в статті сформований механізм управління конкурентоспроможністю та розроблена модель оцінки її рівня для ПАТ «Укрпошта», яка дозволяє не тільки моделювати, а й спрогнозувати рівень конкурентоспроможності і розробити заходи щодо її підвищення. Основними напрямками підвищення конкурентоспроможності ПАТ «Укрпошта» в існуючих умовах можна виокремити наступні:

- підвищення фінансової стійкості та фінансової незалежності підприємств шляхом оптимізації співвідношення власних та позикових коштів у структурі капіталу, що підвищить рівень фінансової безпеки;

- підвищення платоспроможності підприємства за рахунок вдосконалення розрахункової дисципліни та ефективного використання конкурентних переваг підприємства;

- оновлення виробничих фондів, які здебільшого мають надто високий ступінь зносу, що забезпечить техніко-технологічну та виробничу безпеку;

- впровадження нових видів послуг відповідно до змін смакових вподобань споживачів з метою підвищення рівня ринкової безпеки підприємства.

Л і т е р а т у р а

1. Мельник О.Г. Системи діагностики діяльності машинобудівних підприємств: полікритеріальна концепція та інструментарій: монографія / О.Г. Мельник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 344 с.
2. Ансофф И. Новая корпоративная стратегия / Пер. с англ. Ю.Г. Каптуревского. – СПб.: Питер, 1999. – 416 с.
3. Волинський Г. Про конкурентні переваги в умовах глобалізації / Г. Волинський // Економіка України. – 2006. – № 12. – С. 68-72.
4. Смерічевська С.В. Конкурентоспроможність у соціально-економічному вимірі / С.В. Смерічевська // Актуальні проблеми економіки. – 2009. – № 3. – С. 36-45.
5. Фатхутдинов Р.А. Управление конкурентоспособностью организации: учеб. пособие / Р.А. Фатхутдинов. – М.: Изд-во Эксмо, 2004. – 544 с.
6. Череп А.В., Салип Ю.О. Методичні підходи до оцінки конкурентоспроможності підприємств / А.В. Череп, Ю.О. Салип // Інноваційна економіка. – 2012. – № 8 (34). – С.77-79.

R e f e r e n c e s

1. Melnik O.G. Systems of diagnostics of activity of machine-building enterprises: polycrystalline concept and tools: monograph / O.G. Miller. - Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2010. - 344 p.
2. Ansoff I. New Corporate Strategy / Per. from english Yu.G. Kapturevsky - SPb.: Peter, 1999. - 416 pp.

3. 3. Volynsky G. On competitive advantages in the conditions of globalization / G. Volynsky // Economy of Ukraine. - 2006. - No. 12. - P. 68-72.
4. 4. Smericheskaya SV Competitiveness in the socio-economic dimension / SV Smerichivska // Current problems of the economy. - 2009. - No. 3. - P. 36-45.
5. 5. Fathutdinov R. A. Management of the competitiveness of the organization: study. allowance / R.A. Fattuhddinov - Moscow: Izmo-Eksmo, 2004. - 544 p.
6. 6. Cherep AV, Salip Yu.O. Methodical Approaches to Assessing the Competitiveness of Enterprises / AV Skull, Yu.O. Salyp // Innovative economy. - 2012. - No. 8 (34). - P.77-79.

Савченко М. В., Шкуренко О. В. Управления конкурентоспособностью предприятия в контексте обеспечения экономической безопасности.

В статье обоснована необходимость формирования системы управления конкурентоспособностью предприятия для обеспечения его экономической безопасности. Разработана система управления конкурентоспособностью предприятия. Выполнен расчет уровня конкурентоспособности предприятия и сформирована модель конкурентоспособности ПАО «Укрпочта».

Ключевые слова: конкурентоспособность, экономическая безопасность, система управления, оценка, модель конкурентоспособности.

Savchenko M., Shkurenko O. Enterprise competitiveness management in the context of ensuring economic security.

The article substantiates the need for the formation of a competitiveness management system for an enterprise to ensure its economic security. A management system for enterprise competitiveness has been developed. The calculation of the level of competitiveness of the enterprise has been carried out and the model of competitiveness of PJSC Ukrposhta has been formed.

Keywords: competitiveness, economic security, management system, assessment, competitiveness model.

Савченко М.В. – д.е.н., доцент, професор кафедри міжнародних економічних відносин Донецького національного університету імені Василя Стуса, e-mail: m_savchenko@donnu.edu.ua

Шкуренко О.В. – к.е.н., доцент кафедри бізнес-логістики та транспортних технологій Державного університету інфраструктури та технологій, e-mail: dondyu@ukr.net

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

Стаття подана 20.04.2019

УДК 656.078.11

ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ ТА СКЛАД ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Смокова Т.М.

DETERMINATION OF CONCEPTS AND COMPOSITION OF TRANSPORT AND LOGISTIC INFRASTRUCTURE

Smokova T.

У статті розглянуто питання необхідності транспортно-логістичної інтеграції України в міжнародну транспортну систему та розбудови ефективної національної транспортно-логістичної мережі для активізації міжнародних вантажних перевезень. У зв'язку з цим виникає необхідність чіткого визначення дефініцій «транспортна інфраструктура», «складська інфраструктура» та «логістична інфраструктура», виявлення розбіжностей та загальних характеристик даних понять, їх ролі у створенні транспортно-логістичної інфраструктури.

Ключові слова: транспортна система; транспортно-логістична система; складська, логістична, транспортно-логістична інфраструктура.

Вступ. Транспортна галузь України, як інтегратор взаємопов'язаних галузей, що створює єдину транспортну систему, повинна задовольняти потреби внутрішніх та експортно-імпорتنих перевезень, обсяги яких визначаються рівнем розвитку економіки країни. Пріоритетним завданням для України є реалізація її транспортного потенціалу та створення транзитного транспортного мосту, що поєднуватиме країни Європи, Азії та Сходу.

Транзитний потенціал України оцінюється як найвищий у Європі, хоча наявний використовується на 70%, а на транспорті загального користування (без трубопроводів) – лише на 50% [1].

Станом на 2019 рік транспортна система країни і досі не відповідає стандартам і вимогам ЄС та відзначається суттєвим відставанням щодо інфраструктури та якості надання транспортно-логістичних послуг. Для максимального використання транспортного потенціалу України як транзитної держави, необхідно створити клієнтоорієнтовану систему транспортного обслуговування та вжити заходів щодо забезпечення ефективної організації роботи транспортно-дорожнього комплексу країни і отримати синергетичний ефект від ефективного поєднання потенціалу та можливостей усіх видів транспорту на

основі партнерсько-конкурентних засад під час здійснення перевезень [2].

Постановка проблеми. Український ринок міжнародних вантажних перевезень має значний неореалізований потенціал, звідки виникає необхідність виявлення механізмів транспортно-логістичної інтеграції України в міжнародну транспортну систему та розбудови ефективної національної транспортно-логістичної мережі для активізації міжнародних вантажних перевезень, що сприятиме реалізації зовнішньоторговельних зв'язків України, залученню транзиту та збільшенню обсягів валютних надходжень, оптимізації товаропотоків, інтенсифікації господарських зв'язків з ЄС [3]. З вищесказаного випливає, що для України інтеграція в світову транспортну систему є пріоритетним стратегічним завданням. Але на даний час відчувається значне відставання від країн-партнерів по багатьом питанням, а саме: низька якість транспортних шляхів, недосконалість нормативно-законодавчої бази здійснення міжнародних перевезень, необхідність модернізації транспортного парку, відсутність сучасних об'єктів логістичної інфраструктури тощо. Отже, одним з головних недоліків української транспортної системи є низький рівень розвитку інтермодальних, мультимодальних перевезень та транспортної логістики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питанням інтеграційних процесів національної транспортної системи до ЄС, формуванню транзитного потенціалу та розвитку транспортно-логістичної системи України присвячені роботи наступних авторів: Т. Блудової, О.В. Бойко, О.М. Котлубая, Б.В. Буркінського, Єрмакова І.А., та інших.

Дослідженню транспортно-логістичних систем, їх ролі в розвитку економіки, а також концептуальним засадам функціонування та розвитку присвячені роботи О.С. Балалаєва, П.В. Бочкова, В. В. Брагін-

ського, Д. ДЖ. Бауерсокса, А.М. Гаджинського та інших.

Теоретико-методологічні та методичні засади формування та розвитку транспортної інфраструктури знайшли відображення в роботах таких науковців, як: Н.І. Антощишина, Х.М. Дорофєєва Х.М., С.Б.Дульфана, В.М., Alvarez-Herranz A., Voyt S.M. тощо.

Питанням визначення сутності поняття «логістична інфраструктура» та її складу присвячені роботи таких авторів, як: Б.А. Анікін, В.С. Колодін, А.П. Носов, В.І. Сергєєв, Д.І.Кокурін, К.Н. Назін, С.А. Таран, А.Т. Kearney, В.В. Кліменко, та інших, а питанням створення та вдосконалення логістичної інфраструктури за окремими країнами аналізуються в роботах багатьох закордонних вчених: К. Кльозе, Н. Гендера, В. Дюме, Ф. Пфоля, М. В. Салуці, Д. Гольтена, С. Абта, В. Дайкера та інших.

Вивченням проблем формування логістичних центрів в своїх роботах займалися Б.А. Анікіна, Т.А. Родкіної, Д. Герастовський, Ю. В. Загородня, М.М. Ковальов, Я.С. Пацкевич, Р. Ю. Предко, Є.В. Крикавський та інші.

Водночас мало дослідженим залишається питання створення єдиного підходу до формування логістичної інфраструктури, який міг би бути адаптованим та застосованим в країнах Східної Європи, а саме, в Україні. Відсутній єдиний погляд на визначення різноманітних видів інфраструктур, об'єктів, що входять до їх складу.

Метою статті є аналіз понятійного апарату, визначення та встановлення розбіжностей дефініцій «транспортна інфраструктура», «складська інфраструктура» та «логістична інфраструктура», визначення їх складу.

Результати досліджень. Розвиток транспортно-логістичної інфраструктури дає змогу західним країнам не тільки забезпечити власні потреби в транспортно-логістичних послугах, але і надавати їх іншим країнам. Основні напрями розвитку транспортної галузі та перспективи її інтеграції до міжнародної спільноти викладені у Концепції розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2020 року, а також у Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року [2].

В Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року стверджується, що «Транспортна система України має низький рівень розвитку транспортно-логістичних технологій та об'єктів мультимодальних перевезень, що знижує її конкурентоспроможність та обмежує вихід української продукції на світовий транспортний ринок».

Транспортно-логістична система включає множини взаємопов'язаних елементів у вигляді підприємств транспорту, логістики, транспортних мереж тощо, які утворюють єдине ціле та підпорядковані одній меті – задоволення потреб споживачів у транспортних і логістичних послугах [4].

Невід'ємною складовою транспортно-логістичної системи, під якою прийнято розглядати сукупність об'єктів і суб'єктів транспортної та логістичної інфраструктури разом з матеріальними, фінансовими та інформаційними потоками між ними, що виконує функції транспортування, зберігання, розподілу товарів, а також інформаційного та правового супроводу товарних потоків, або інтегровану сукупність суб'єктів транспортно-логістичної діяльності та об'єктів транспортно-логістичної інфраструктури, що взаємодіють між собою з метою оптимізації руху вантажопотоків «від дверей до дверей» за мінімальними витратами на максимально вигідних умовах є транспортно-логістична інфраструктура [5].

В економічній літературі назву «інфраструктура» (від латинського «infra» - «під» і «strustructure» - «будова, пристрій») означає підструктура тобто окрема галузь економіки, яка займається створенням зовнішніх умов функціонування основного виробництва.

Інфраструктура є одним з найбільш фондомістких та інерційних секторів економіки. В межах конкретного виду економічної діяльності здійснювалася поділ сукупності підвидів, що їх утворюють, на групи супраструктурних і інфраструктурних на основі застосування категорії приватного поділу праці [6]. Виходячи з цього, розділяють транспорту, логістичну та складську інфраструктури.

Успішне функціонування ринкового механізму в значній мірі залежить від розвитку транспортної інфраструктури, яка повинна не тільки підтримувати існуючі господарські зв'язки, але й мати резерв, завдяки використанню якого можливо забезпечити мобільність та гнучкість економіки.

Транспортна інфраструктура є різновидом інфраструктури, до складу якої входить сукупність всіх галузей і підприємств транспорту, які не тільки виконують перевезення, але й забезпечують їх виконання і обслуговування.

С.Г. Воронцова ототожнює терміни «транспортна інфраструктура» та «транспортна система» [7]. А.В. Рожков розглядає поняття «транспортна інфраструктура» як синонім категорії «транспортний комплекс» [8]. На нашу думку, це не є обґрунтованим, оскільки транспортна інфраструктура являє собою лише частину транспортної галузі, а саме її техноструктуру.

А.Б. Максимов надає наступне визначення: «Транспортна інфраструктура – це сукупність всіх видів транспорту і транспортних структур, діяльність яких спрямована на створення сприятливих умов функціонування всіх галузей економіки, тобто сукупність матеріально-технічних систем транспорту, призначених для забезпечення економічної та неекономічної діяльності людини». Той же автор розглядає транспортну інфраструктуру як сукупність матеріально-технічних та організаційних умов, що забезпечують швидке та без перешкод виконання процесу перевезення [9].

Визначити точний склад транспортної інфраструктури вкрай складно через її багатоаспектність. В.І. Сергєєв стверджує, що в транспортну інфраструктуру входять різні види транспорту, зокрема крупний транспортний вузол включає магістральну мережу шляхів сполучення з під'їзними шляхами, підприємства всіх видів вантажного транспорту, вантажні та вантажопереробні комплекси, центри сервісу та інші об'єкти транспортної інфраструктури [10]. На думку Є. В. Іванової, Є. А. Тимошиної, до складу транспортної інфраструктури входять об'єкти різних видів транспорту: авто, залізничного, авіа та річкового [11]. А.Б. Максимов до об'єктів транспортної інфраструктури відносить шляхи сполучення, технічні споруди, вантажні та пасажирські вокзали і станції, агенції з продажу квитків і організації перевезень, логістичні центри, склади, інженерні мережі, комунікації та ін. [12].

Отже, транспортний комплекс включає в себе об'єкти і суб'єкти транспортної інфраструктури, а також транспортні засоби різноманітних видів транспорту.

Під *об'єктами транспортної інфраструктури* розуміють технологічний комплекс, що включає в себе залізничні, трамвайні та внутрішні водні шляхи, контактні лінії, автомобільні дороги, тунелі, естакади, мости, вокзали, залізничні та автобусні станції, метрополітени, морські торговельні, рибні, спеціалізовані та річкові порти, портові засоби, судноплавні гідротехнічні споруди, аеродроми, аеропорти, об'єкти систем зв'язку, навігації та управління рухом транспортних засобів, а також інші, що забезпечують функціонування транспортного комплексу будівлі, споруди, пристрої й обладнання [13].

Транспортна інфраструктура має наступні складові [13]:

1. *Шляхи сполучення* – це елементи транспортної інфраструктури, за якими здійснюється рух транспортних засобів, тобто безпосередньо залізничні колії, автомобільні дороги, трамвайні колії, канали, судноплавні фарватери і т.п.

2. *Технологічні об'єкти* – це виробничі об'єкти, призначені для забезпечення функціонування шляхів сполучення. До них відносяться будівлі і споруди служб утримання та ремонту шляхів сполучення (дорожньо-експлуатаційні дільниці, дистанції колії і т.п.), а також об'єкти енергетичного господарства (силові і тягові підстанції, котельні і т.п.) і інші об'єкти забезпечення, необхідні для виконання транспортної роботи на відповідних шляхах сполучення.

3. *Об'єкти засобів управління рухом* включають будівлі та споруди, системи зв'язку, навігації та управління рухом окремих видів транспорту і комплексні, лінії і обладнання дротового і бездротового зв'язку, периферійні технічні засоби організації та управління рухом.

4. *Будинки й споруди обслуговування учасників руху* – це різні пасажирські термінали, тобто автобусні, залізничні, морські, річкові вокзали

і станції, аеропорти, транспортно-пересадочні вузли і вантажні термінали окремих видів транспорту, транспортно-логістичні комплекси. На автомобільних дорогах створюються елементи їх облаштування, призначені для забезпечення учасників дорожнього руху (водіїв і пасажирів) різними видами послуг, необхідних для нормальних умов їх роботи і відпочинку, зокрема об'єкти сервісу, включаючи будівлі і споруди для відпочинку водіїв та пасажирів, пункти харчування та торгівлі, медичної допомоги, станції заправні і технічного обслуговування транспортних засобів.

Кожна підгалузь транспорту у свою чергу складається із цілого ряду матеріальних елементів, серед яких:

– підприємства залізничного, морського, річкового, автомобільного, авіаційного та міського електротранспорту, що здійснюють перевезення пасажирів і вантажів; підприємства трубопровідного транспорту;

– засоби перевезення (рухомий склад залізничного, автомобільного і міського електротранспорту, судна, літаки, транспортні засоби підприємств, установ і організацій);

– залізничні, морські, автомобільні шляхи сполучення, аеродроми та землі транспорту;

– вокзали, автовокзали, автостанції, порти, пристані, аеропорти;

– промислові, будівельні підприємства; підприємства промислового залізничного транспорту; судноремонтні, суднобудівні – судноремонтні заводи; ремонтні заводи цивільної авіації; ремонтно-будівельні організації; ремонтно-експлуатаційні депо; заводи по ремонту рухомого складу і виготовленню запасних частин; підприємства зв'язку, споруди енергетичного господарства, сигналізації; системи управління повітряним рухом; водопостачання, каналізації;

– науково-дослідні, проектно-конструкторські організації, навчальні заклади, технічні школи;

– підприємства, установи та заклади соціально-культурної сфери (заклади охорони здоров'я, фізичної культури та спорту, культури, дитячі дошкільні заклади), постачальницькі й торговельні підприємства; інші підприємства, установи та організації незалежно від форм власності, що забезпечують діяльність і розвиток транспорту [14].

Н.О. Дунаєва і Т.В. Кулакова до складу транспортної інфраструктури включають також складську інфраструктуру [15].

До об'єктів транспортної інфраструктури, що виконують функції зберігання та накопичення вантажів, тобто є транспортними складськими комплексами, можливо віднести: термінал; транспортний термінал; транспортний вузол; мультимодальний транспортний вузол; термінальний комплекс; вантажний термінал; вантажний комплекс; вантажно-переробний комплекс; вантажо-розвантажувальний

комплекс. Всі, перелічені поняття, в загальному сенсі є синонімами та відображають відношення до складської складової транспортної інфраструктури.

Слід зазначити, що транспортна інфраструктура України має ряд недоліків з точки зору її експлуатаційного стану. Транспортна система в цілому та такий її ключовий сегмент, як транспортна інфраструктура, знаходяться у стані хронічного недофінансування, що в значній мірі перешкоджає інтеграції української транспортної системи в європейську.

Складські комплекси є не тільки інтегрованою складовою частиною, а й системоутворюючою ланкою транспортно-логістичної системи, в якій передбачені накопичення, переробка, розподіл матеріального потоку.

На думку М.О. Окландера [16] склад – це спеціальне місце зберігання запасів, що забезпечує триєдину місію – концентрацію запасів, збереження запасів, обслуговування споживачів. Склади матеріальних запасів належать до вузлів транспортно-логістичної системи та формують складську інфраструктуру. Ціль функціонування складу у транспортно-логістичній системі, як вважає В.В. Дибська, є приймання вантажопотоку з транспорту з одним параметром, переробляти і видавати його на інший транспорт з іншими параметрами та виконувати це з мінімальними витратами [17].

Один з підходів до визначення дефініції «склад», представлений в роботах [17-18], де під складом розуміється складне технічне спорудження, яке складається з безлічі взаємозалежних елементів, що мають певну структуру, і об'єднаних для виконання конкретних функцій по накопиченню і перетворенню матеріального потоку.

Сучасний великий склад (наприклад, склад тарних і штучних вантажів), на думку В.В. Багінова, В.М. Ніколашина, А.І. Миколаїва, А.С. Сініцина, являє собою складне технічне спорудження, яке складається з безлічі різних підсистем (комплексу будівель, сукупності вантажів, що переробляються, системи інформаційного забезпечення і т.д.) і елементів певної структури, об'єднаних для виконання конкретних функцій перетворення матеріальних потоків [19].

В літературних джерелах зустрічається велика кількість різноманітних трактувань понять, які можливо віднести до об'єктів складської інфраструктури: склад; складський комплекс; розподільний центр.

На жаль, не існує чіткого розподілу між переліченими вище термінами та їх ієрархії, що призводить до певних труднощів у ідентифікації інфраструктурних об'єктів та визначенні їх завдань та функцій. Найчастіше в літературних джерелах зустрічається дефініція «склад» як об'єкт, організація та функціонування якого є на даний час найбільш вивченим. Але такі терміни, як «склад», «розподільний центр», «логістичний центр», «термінал», на думку вчених є майже взаємозамінні [19]. З цим трудно погодитись, оскільки функціонально ці

об'єкти відносяться до різних етапів еволюції транспортно-логістичної інфраструктури.

Б.А. Анікін і Т.А. Родкіна стверджують, що узагальнюючим терміном серед понять «склад», «розподільний центр», «логістичний центр», «термінал» є «склад», який в залежності від свого місця розташування або спеціалізації ділиться на «логістичний центр», «розподільний центр» і «термінал», тобто, на думку авторів «логістичний центр» і «склад» є синонімами [18].

В.В. Дибська термін «розподільний центр» відносить до складів розподільної логістики, «термінал» (вантажні термінали автотранспорту, морських і річкових портів, термінали повітряного транспорту) – до складів транспортних організацій. Створення логістичних центрів автор виділяє в якості перспективного напрямку в області логістики складування [20].

В.В. Самулов та М.А. Левченко стверджують, що варто виділити склади транспортних організацій, призначені для тимчасового складування, пов'язаного з експедицією матеріальних цінностей, в самостійну групу. Сюди відносяться склади на залізничних станціях, вантажні термінали авто- і повітряного транспорту, морських і річкових портів. За характером операцій такі склади відносяться до транзитно-перевалочних, оскільки термін зберігання вантажів зведений до мінімуму [21]. Метою функціонування такого складу є ефективне і своєчасне постачання вантажів за допомогою перевалки з одного виду транспортного засобу на інший.

Э. Фразеллі під складом розуміє «складне технічне спорудження (будинки, різноманітне обладнання та інші пристрої), призначене для приймання, розміщення, накопичення, зберігання, переробки, відпуски споживачеві і розподілу продукції між споживачами» [22]. На нашу думку, такі дефініції, як «склад» та «складський комплекс» є синонімами.

Логістична інфраструктура – це комплексна інженерно-економічна система, в усіх ланках якої на основі ефективного використання транспортних засобів, перевантажувального та складського устаткування, а також інформаційних технологій забезпечується максимально можлива швидкісна доставка вантажу від вантажовідправника вантажоодержувачу. Це самодостатня структура, що складається з взаємодіючих і взаємопов'язаних елементів, яка існує самостійно і стійко, постійно розвивається і вдосконалюється в залежності від взаємодії з навколишнім середовищем.

Є.В. Крикавський і Н.В. Чернописька зазначають, що логістична інфраструктура – це система засобів просторово-часового перетворення логістичних потоків (матеріальних, інформаційних, фінансових, людських), а також сукупність підприємств різних організаційно-правових форм, які створюють організаційно-економічні умови проходження цих потоків шляхом створення потенціалу відповідних логістичних послуг [23].

Є.В. Крикавський при розкритті особливостей переміщення матеріальних потоків під впливом різноманітної інфраструктури використовує поняття «інфраструктура логістичних процесів». В її межах виділяє зовнішні (автодороги, інтегровані центри логістичних послуг, залізниці, аеропорти, морські порти і водні шляхи, телеінформаційні мережі і об'єкти, допоміжне устаткування для обслуговування лінійних і точкових об'єктів) і внутрішні об'єкти (будинки і складські споруди, внутрішні дороги, інше локалізоване устаткування для переміщення продуктів і інформації) за складською, маніпуляційною, транспортною, пакувальною, інформаційною складовими.

До основних завдань інфраструктури логістичних процесів відносять: складування продукції, за допомогою складських будинків та споруд; переміщення продукції, за допомогою транспортних і маніпуляційних засобів; захист продукції, за допомогою системи пакування, що поза тим дає можливість модернізації транспортних засобів, передачу інформації тощо; перетворення інформації логістичних процесів. Таке трактування підкреслює суто логістичний підхід, який зводиться до управління матеріальними потоками на основі встановлення оптимальних умов, термінів, якості, вартості, надійності складування і транспортування [23].

А.Л.Носов підкреслює, що під логістичною інфраструктурою розуміється середовище, що забезпечує логістичну діяльність. До логістичної інфраструктури він відносить: підприємства постачальників і споживачів; складські комплекси або логістичні центри; термінали приймання і відправлення вантажів; магазини, що реалізують товари; транспорт, що забезпечує переміщення товарної маси; інформаційне забезпечення і супровід інтегрованої логістики. Той же автор наводить більш детальніший перелік об'єктів логістичної інфраструктури, до яких, на його думку, також належать елементи як транспортної, так і складської інфраструктури:

1. транспортна мережа в розрізі окремих видів транспорту;
2. транспортний парк за видами і власників;
3. мережа станцій технічного обслуговування, автозаправок, стоянок і сервісу;
4. транспортно-вантажні вузли - логістичні центри, термінали, склади загального користування, розподільні центри, склади тимчасового зберігання, митні склади і служби;
5. інформаційні канали і системи, регіональний інформаційно-аналітичний центр;
6. система уніфікації вантажних одиниць і способів маніпуляції з вантажами - тара, упаковка, ідентифікація і координування вантажів;
7. система фінансового забезпечення логістичних процесів;
8. нормативно-правова система забезпечення логістичної діяльності;
9. учасники логістичних процесів, суб'єкти, оператори, провайдери, посередники.

Формування логістичної інфраструктури є одним з основних питань забезпечення ефективного функціонування транспортно-логістичної системи. На відміну від суто складської, логістична інфраструктура виконує додаткові логістичні функції на таких об'єктах, як логістичний центр.

В [18] А.Б. Анікін відмічає важливу інтеграційну функцію логістичного центру в складі логістичної системи.

Найбільш поширене визначення транспортно-логістичного центру, яке використовується майже в усіх країнах світу, було запропоновано Європейською транспортною комісією. Відповідно до нього «логістичний центр – це територіальне об'єднання незалежних компаній і органів, які здійснюють вантажні перевезення (транспортні посередники, вантажовідправники, оператори перевезень, митні органи) і надають супутні послуги, що включає щонайменше один термінал».

Отже, з поняттям «логістична інфраструктура» перекликаються поняття «транспортна інфраструктура» та «складська інфраструктура», які є більш вузькими поняттями та представляють собою її підсистеми. Такий погляд підтверджується в роботах М.Ю. Григорак, Л.В. Костюченко, які вважають, що логістична інфраструктура включає сукупність складської, транспортної, маніпуляційної, пакувальної, інформаційної та фінансової інфраструктур підприємства [24].

Такої ж думки дотримується і В.В. Дибська. В роботі [17] вона стверджує, що:

- по-перше, будь-який об'єкт логістичної інфраструктури, створюється для здійснення розвантаження транспортних засобів, що забезпечують постачання товарів;
- по-друге, для проведення вантажопереробки, перетворюючи партії поставки, в партії замовлень клієнтів відповідно до їх вимог;
- по-третє, для відвантаження замовлень на транспортні засоби для доставки замовлень клієнтів.

Ці три складові для різних об'єктів логістичної інфраструктури будуть завжди, проте будуть різні в залежності від функціонального призначення об'єкта. При цьому обов'язковим також буде наявність складу і транспорту.

Такий погляд на логістичну інфраструктуру підтверджує необхідність об'єднання понять транспортна, логістична, складська інфраструктура у транспортно-логістичну інфраструктуру, оскільки логістичний підхід має на увазі інтегроване управління матеріальними потоками, але неможливо ефективно управляти просуванням матеріального потоку окремо на кожній ланці логістичної системи з погляду виконання «шести правил логістики».

Отже, проведений аналіз дефініцій «транспортна інфраструктура», «складська інфраструктура» та «логістична інфраструктура» та їх складу (табл.) показав, що існують суттєві розбіжності у їх визначенні, але є і тісний зв'язок між цими поняттями. Вони не можуть існувати повністю окремо, оскільки

їх елементи тісно переплетені. Тому обґрунтованим є розгляд транспортно-логістичної інфраструктури як елемента транспортно-логістичної системи, який забезпечує матеріальну базу її функціонування.

У науковій літературі сформувалися різні підходи до визначення транспортно-логістичної інфраструктури. Її визначають як сукупність матеріально-технічних систем (об'єктів), що забезпечують виконання основних функцій в різних сферах і галузях діяльності, так і сукупність підсистем, що забезпечують доступ економічних агентів до різних товарів, ресурсів (активів) або до тих чи інших послуг.

В даний час загальноприйнятого поняття транспортно-логістичної інфраструктури не існує, внаслідок чого складається не цілком вірне уявлення про її роль в цілому, та її окремих елементів в рамках логістичної систем. У більшості випадків під транспортно-логістичною інфраструктурою або розуміється виключно транспортна інфраструктура, або остання доповнюється складською інфраструктурою. Тим часом сучасні вимоги диктують необхідність створення умов не тільки для фізичного розподілу логістичних потоків, а й для ефективної ін-

теграції окремих елементів та координації функціонування всієї логістичної системи.

За результатами проведеного аналізу, можна зробити висновок про те, що доцільно розглядати транспортно-логістичну інфраструктуру з позицій просування матеріальних та супутніх потоків та у тісному зв'язку елементів транспортної, складської та логістичної інфраструктури, об'єднуючи ці підсистеми у єдину систему.

Ринок транспортних та логістичних послуг ускладнюється, тому останнім часом всі сегменти транспортного процесу і логістики почали інтегруватися. Це призвело до розвитку транспортно-логістичної інфраструктури нового типу – транспортно-логістичних комплексів, що стають інтегруючими елементами транспортно-логістичної системи. В літературних джерелах існують наступні поняття: транспортно-логістичний центр; транспортно-логістичний комплекс; транспортно-розподільний центр; логістичний транспортно-розподільний центр; мультимодальний транспортно-логістичний центр; мультимодальний транспортно-логістичний комплекс; вантажне село; транспортно-логістичний кластер.

Таблиця

Об'єкти транспортно-логістичної інфраструктури

Транспортна інфраструктура	Логістична інфраструктура	Складська інфраструктура
Шляхи сполучення: залізничні колії, автомобільні дороги, трамвайні колії, канали, судноплавні фарватери і т.п. Технологічні об'єкти: будівлі і споруди служб утримання та ремонту шляхів сполучення (дорожньо-експлуатаційні дільниці, дистанції колії і т.п.), об'єкти енергетичного господарства (силові і тягові підстанції, котельні і т.п.) і інші об'єкти забезпечення. Об'єкти засобів управління рухом: центри управління рухом окремих видів транспорту і комплексні, лінії і обладнання дротового і бездротового зв'язку, периферійні технічні засоби організації та управління рухом. Будинки й споруди обслуговування учасників руху: пасажирські термінали (автобусні, залізничні, морські, річкові вокзали і станції, аеропорти, транспортно-пересадочні вузли), вантажні термінали окремих видів транспорту, транспортно-логістичні комплекси, об'єкти сервісу (будівлі і споруди для відпочинку водіїв та пасажирів, пункти харчування та торгівлі, медичної допомоги, станції заправні і технічного обслуговування транспортних засобів).	Транспортні підрозділи різних видів транспорту; транспортні комунікації (автомобільні і залізні дороги, залізничні під'їзні шляхи і т.п.). Ремонтні та допоміжні підрозділи, які обслуговують транспортно-складське господарство; телекомунікаційна система; інформаційно-комп'ютерна система. Складське господарство (склади різного виду і призначення, вантажні термінали і термінальні комплекси, транспортно-вантажні вузли - логістичні центри, термінали, склади загального користування, розподільні центри, склади тимчасового зберігання, митні склади і служби). Система фінансового забезпечення логістичних процесів; нормативно-правова система забезпечення логістичної діяльності; учасники логістичних процесів, суб'єкти, оператори, провайдери, посередники.	Виробничі склади сировини, комплектуючих, матеріалів, цехові склади готових виробів, заводські склади готової продукції; Транзитно-перевалочні склади при залізничних станціях, портах, річкових пристанях, аеропортах, автовантажних терміналах служать для короткочасного зберігання вантажів в період перевантаження їх з одного виду транспорту на інший; Склади для зберігання: – митні склади для зберігання товарів в очікуванні проходження митного кордону; – дострокового завезення - склади в районах, доставка товарів в які можлива лише в певні періоди року; – сезонного зберігання - склади для товарів сезонного характеру; – резервні - склади для зберігання запасів на випадок надзвичайних обставин; – оптові розподільні - склади, що забезпечують товаропровідні мережі; – комерційні загального користування - склади, що обслуговують будь-яких власників товарів; – роздрібні - склади торгових підприємств.

Протягом останніх десятиліть основним напрямом розвитку транспортно - логістичної інфраструктури у світі є формування транспортно-логістичних центрів.

Економічний розвиток нашої країни і її інтеграція в світову економіку напряму пов'язані з розвитком транспортно-логістичної інфраструктури. Щоб забезпечити безперебійну роботу глобальних транспортних артерій – транспортних коридорів, що проходять через територію України завдяки її вдалому географічному положенню, країні необхідна мережа транспортно-логістичних центрів, створення яких позитивно вплине на розвиток прилеглих територій, збільшуючи їх інвестиційну привабливість. Як слідство, збільшиться товарообіг, податкові платежі до державного та місцевих бюджетів. За рахунок розвитку внутрішньої інфраструктури транспортно-логістичного центру, відбудеться поштовх для успішнішого розвитку промисловості в прилеглих регіонах, збільшиться зайнятість населення довколишніх районів і міст, що з часом приведе Україну до значного підвищення конкурентоспроможності вітчизняного транспорту на міжнародних ринках перевезень.

Що стосується України, то спеціалістами була розроблена Концепція програми формування мережі логістичних центрів в системі міжнародних транспортних коридорів, в якій наголошено про плани будівництва близько 50 логістичних центрів в Україні.

Висновок. Необхідність у створенні в Україні сучасних транспортно-логістичних центрів є особливо гострою в останні роки і вимагає негайного вживання заходів щодо її задоволення. Але вирішення даного практичного завдання потребує наявності сучасного методичного забезпечення, використання якого, по-перше, базуватиметься на застосування сучасних методів таких напрямків управління та економіки, як прожект - менеджмент, ризик-менеджмент, менеджмент якості, логістика, а по-друге, дозволить врахувати специфічні особливості створюваних об'єктів.

Л і т е р а т у р а

1. Дашкуєв М.А. Сучасний стан процесу інтеграції транспортно-логістичної України в європейський субрегіональний простір // БІЗНЕСІНФОРМ № 5 '2015. С.133-140.
2. Національної транспортної стратегії України на період до 2030 р.: СХВАЛЕНО розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р. Офіційний вісник України. 2018 р., № 52, С. 533. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80>.
3. Соляник К.В.Транзитний потенціал України в сучасних умовах господарювання // Вісник економіки транспорту і промисловості № 62, Додаток, 2018. С.30-32.
4. Попова Н. В. Транспортно-логістична система: дефініція та складові /Н. В. Попова // Бізнес Інформ. — 2016. — № 1. — С. 169–174.
5. Соколова О. Є. Теоретико-методологічні основи формування транспортно-логістичної системи України / О. Є. Соколова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/PPEI/article/viewfile/182/173>
6. Кокурин Д.И., Назин К.Н. Сравнительный анализ категории «логистическая инфраструктура» в отечественных и зарубежных научных школах // Научно-аналитический журнал Логистика и управление цепями поставок. № 6 (59) декабрь 2013 г. <http://www.lscm.ru/index.php/ru/pogodam/item/523>
7. Воронцова С.Г. Инвестиции в инфраструктуру: китайский опыт // Мир транспорта. №3, 2009. ISSN 1992-3252.
8. Рожков А.В. Взгляд на развитие транспортной инфраструктуры через призму государственной политики // Власть. №1, 2010. ISSN 2071-5358.
9. Максимов А.Б. Транспортная инфраструктура регионов // Известия Иркутской государственной экономической академии. №1, 2007. ISSN 1993-3541.
10. Сергеев В.И. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / Под общ. И научн. Редакцией проф. В.И. Сергеева. – М.:ИНФРА – М, 2005. – 976с.
11. Иванова Е.В., Тимошина Е.А. Разработка концепции формирования транспортно-логистической системы региона // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. 2009, №3. ISSN 0130-3848.
12. Максимов А.Б. Транспортная инфраструктура регионов // Известия Иркутской государственной экономической академии. №1, 2007. ISSN 1993-3541.
13. Транспортная инфраструктура: учебник и практикум для академического бакалавриата / А. И. Солодкий, А. Э. Горев, Э. Д. Бондарева; под ред. А. И. Солодкого. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 290 с.
14. Шульженко Ф. П., Гайдулін О. О., Кундрик Р. С. Транспортне право. Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 2005. — 244 с.
15. Дунаева Н.О., Кулакова Т.В. Предпосылки к развитию региональной транспортной инфраструктуры // Мир транспорта. №3, 2009. ISSN 1992-3252.
16. Окландер М.О. Логістика: Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 346с.
17. Дыбская В.В. Логистика складирования для практиков. – М.: Издательство «Альфа-Прес». 2005. – 208с.
18. Логистика: Учебное пособие / Б.А. Аникин и др.; под ред. Б.А. Аникина, Т.А. Родкиной. - М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2005.-408 с.
19. Основы складской логистики: учебное пособие /Багинова В.В., Николашин В.М., Николаева А.И., Синицына А.С. -М.: МИИТ, 2010. – 86с.
20. Дыбская В.В. О терминологии, касающейся логистических центров // Научно-аналитический журнал Логистика и управление цепями поставок. № 3 (56) июнь 2013 г.
21. Прокофьева Т.А., Сергеев В.И. Логистические центры в транспортной системе России : учеб. пособие. – М. : Экономическая газета, 2012. – 524 с.
22. Фразелли, Э. Мировые стандарты складской логистики / Эдвард Фразелли; Пер. с англ. – М.: Альпина Паблишер, 2012. – 330 с.
23. Крикавський Є.В. Логістичні системи /Є.В. Крикавський, Н.В. Чернописька. — Львів: Нац. ун-т "Львівська політехніка", 2009. — 264 с.
24. Григорак М. Ю. Методика оцінки використання потенціалу логістичної інфраструктури / М. Ю. Григорак, Л. В. Костюченко // Економічні науки.

Серія «Економіка та менеджмент»: збірник наукових праць. – Луцький національний технічний університет. – Випуск 7 (26). – Ч. 4. – 2010. – С. 103–108.

References

1. Dashkuev M.A. Suchasniy stan protsesu Integ-ratsiyi transportno-logistichnoyi Ukrayini v Ev-ropeyskiy sub-regionalniy prostir // BIZ-NESINFORM № 5 '2015. P.133-140.
2. Natsionalnoyi transportnoyi strategiyi Ukrayini na period do 2030 r.: SHVALENO rozporiya-dzhennyam Kabinetu Ministriv Ukrayini vid 30 travnya 2018 r. № 430-r. Ofitsiyiniy visnik Ukrayini. 2018 r., № 52, P. 533. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-r>.
3. Solyannik K.V. Tranzitniy potentsial Ukrayini v suchasniy umovah gospodaryuvannya // Visnik ekonomiki transportu i promislovosti № 62, Dodatok, 2018. P.30-32.
4. Popova N. V. Transportno-logistichna sistema: definitsiya ta skladovi /N. V. Popova // Biznes Inform. - 2016. - № 1. - P. 169–174.
5. Sokolova O. E. Teoretiko-metodologichni os-novi formuvannya transportno-logistichnoyi sistemi Ukrayini / O. E. Sokolova [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/PPEI/article/viewfile/182/17>
6. Kokurin D.I., Nazin K.N. Sravnitelnyiy analiz kategorii «logisticheskaya infrastruktura» v otechestvennyih i zarubezhnyih nauchnyih shkolah // Nauchno-analiticheskiy zhurnal Logistika i upravlenie tsepyami postavok. № 6 (59) dekabr 2013g. <http://www.lscm.ru/index.php/ru/pogodam/item/523>
7. Vorontsova S.G. Investitsii v infrastrukturu: kitayskiy opyt // Mir transporta. №3, 2009. ISSN 1992-3252.
8. Rozhkov A.V. Vzgl'yad na razvitie transportnoy infrastrukturyi cherez prizmu gosudar-stvennoy politiki // Vlast. №1, 2010. ISSN 2071-5358.
9. Maksimov A.B. Transportnaya infrastruktura regionov // Izvestiya Irkutskoy gosudar-stvennoy ekonomicheskoy akademii. №1, 2007. ISSN 1993-3541.
10. Sergeev V.I. Korporativnaya logistika. 300 otvetov na voprosy professionalov / Pod obsch. I nauchn. Redaktsiei prof. V.I. Sergeeva. – M.:INFRA – M, 2005. – 976p.
11. Ivanova E.V., Timoshina E.A. Razrabotka kontseptsii formirovaniya transportno-logisticheskoy sistemyi regiona // RISK: Re-sursyi, informatsiya, snabzhenie, konkurentsia. 2009, №3. ISSN 0130-3848.
12. Maksimov A.B. Transportnaya infrastruktura regionov // Izvestiya Irkutskoy gosudar-stvennoy ekonomicheskoy akademii. №1, 2007. ISSN 1993-3541.
13. Transportnaya infrastruktura: uchebnyy i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata / A. I. Solodkiy, A. E. Gorev, E. D. Bondareva; pod red. A. I. Solodkogo. — M.: Izdatelstvo Yurayt, 2016. — 290 p.
14. Shulzhenko F. P., Gaydullin O. O., Kundrik R. S. Transportne pravo. Navch. posibnik. — K.: KNEU, 2005. — 244 p.
15. Dunaeva N.O., Kulakova T.V. Predposylki k razvitiyu regionalnoy transportnoy infrastrukturyi // Mir transporta. №3, 2009. ISSN 1992-3252.
16. Oklander M.O. Logistika: Pidruchnik. — K.: Tsentruchovoyi literaturi, 2008. — 346p.
17. Dyibskaya V.V. Logistika skladirovaniya dlya praktikov. — M.: Izdatelstvo «Alfa-Pres». 2005. — 208p.
18. Logistika: Uchebnoe posobie / B.A. Anikin i dr.; pod red. B.A. Anikina, T.A. Rodkinoy. - M.: TK Velbi, Izdvo Prospekt, 2005.-408 p.
19. Osnovniy skladskoy logistiki: uchebnoe posobie /Baginova V.V., Nikolashin V.M., Nikolaeva A.I., Sinitsyina A.S. -M.: MIIT, 2010. – 86p.
20. Dyibskaya V.V. O terminologii, kasayusheysya logisticheskikh tsentrov // Nauchno-analiticheskiy zhurnal Logistika i upravlenie tsepyami postavok. № 3 (56) iyun 2013 g.
21. Prokofeva T.A., Sergeev V.I. Logisticheskie tsentri v transportnoy sisteme Rossii : ucheb. posobie. — M. : Ekonomicheskaya gazeta, 2012. — 524 p.
22. Frazelli, E. Mirovyie standartyi skladskoy logistiki / Edvard Frazelli; Per. s angl. — M.: Alpina Publisher, 2012. — 330 p.
23. Krikavskiy E.V. Logistichni sistemi /E.V. Krikavskiy, N.V. Chornopiska. — Lviv: Nats. un-t "Lvivska politehnika", 2009. — 264 p.
24. Grigorak M. Y. Metodika otsinki vikoristannya potentsialu logistichnoyi infrastrukturi / M. Yu. Grigorak, L. V. Kostyuchenko // Ekonomichni nauki. Seriya «Ekonimika ta menedzhment»: zblirnik naukovih prats. – Luts'kiy natsionalniy tehni'chniy universitet. – Vipusk 7 (26). – Ch. 4. – 2010. – P. 103–108.

Смокова Т.Н. Определение понятия и состава транспортно-логистической инфраструктуры

В статье рассмотрены вопросы необходимости транспортно-логистической интеграции Украины в международную транспортную систему и развития эффективной национальной транспортно-логистической сети для активизации междуна-родных грузовых перевозок. В связи с этим возникает необходимость четкого определения дефиниций «транспортная инфраструктура», «складская инфраструктура» и «логистическая инфраструктура», выявление расхождений и общих характеристик данных понятий, их роли в создании транспортно-логистической инфраструктуры.

Ключевые слова: транспортная система; транспортно-логистическая система; складская, логистическая, транспортно-логистическая инфраструктура.

Smokova T. N. Determination of concepts and composition of transport and logistic infrastructure.

The article considers the necessity of Ukraine's transport-and-logistic integration into the international transport system and the development of an efficient national transport and logistics network for the intensification of international freight traffic. In connection with this, it is not necessary to clearly define the definitions of "transport infrastructure", "warehouse infrastructure" and "local infrastructure", to identify differences and general characteristics of these concepts, their role in establishing a transport and logistics infrastructure.

Keywords: transport system; transport and logistics system; warehouse, logistics, transport-and-logistics infrastructure.

Смокова Т. М. – асистент кафедри «Управління логістичними системами і проектами» Одеського національного морського університету, e-mail: smokova.tm@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. Соколов В.І.

Стаття подана 03.03. 2019

УДК 656.6-042.5/.8:502/504

О СООТНОШЕНИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ДЛЯ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ

Суворов П.С., Тарасенко Т.В., Залож В.И., Максимов С.Б.

ABOUT RATIO OF ENERGY EFFICIENCY AND ECOLOGICAL COMPATIBILITY FOR INLAND NAVIGATION VESSELS

Suvorov P., Tarasenko T., Zalozh V., Maksymov S.

В проведенном исследовании рассмотрены вопросы нормирования вредных выбросов в атмосферу в судоходстве на европейских внутренних водных путях. Показаны отличия технологий перевозок в международном морском, европейском внутреннем и дунайском судоходстве. Выполнен анализ показателей энергоэффективности, установленных в международном морском судоходстве, а также особенностей их применения во внутреннем судоходстве. Определены принципы применения показателей энергоэффективности к оценке экологических показателей работы судов во внутреннем судоходстве с учетом специфики навигационных условий и других факторов, определяющих режимы работы судового пропульсивного комплекса.

Таким подходом, в частности предлагается решить практическую задачу, сформулированную установлением нормативных ограничений по компонентам вредных выбросов, которые ставят в одинаковые условия судовладельцев различных по характеристикам и технологиям работы судов, работающих в различных навигационных условиях.

Современное состояние дунайского судоходства отличается недостаточной обеспеченностью навигационных условий, возрастным составом флота, а также спецификой самого флота – его способностью работать на протяжении всего Дуная (более 2000 км) при загрузке тяжелыми составами из судов несамоходного флота. Такая специфика значительно отличает дунайское судоходство от судоходства по другим внутренним водным путям Европы, на которых круглогодично обеспечены проходные глубины, дальность переходов в десяток раз меньше, а работу осуществляют по большей части самоходные сухогрузные и наливные суда.

Следовательно, есть основания утверждать, что судовладельцы существующего дунайского тягового и самоходного флота без существенной его модернизации и обновления смогут исключительно управлять характеристиками энергоэффективности, показано соотношение характеристик энергоэффективности и экологичности и определены условия, в которых возможно достижение повышения энергоэффективности при одновременном снижении количества вредных выбросов в атмосферу.

Ключевые слова: вредные выбросы, энергоэффективность, экологические показатели, судоходство, состав судов, толкач

1. Введение. Исследования в области применения в судоходстве на внутренних водных путях (ВВП) Европы общего понятия энергоэффективности, используемого в международном морском судоходстве, сформулированного в Приложении VI к Конвенции MARPOL 73/78 и в соответствующих резолюциях Международной морской организации (ИМО), выявили отдельные особенности в определении возможных технологий управления энергоэффективностью на судах внутреннего плавания.

Объемы перевозок грузов на ВВП Европы в последнее десятилетие колеблются около 550 млн. тонн в год и прогнозируется, что к 2030 году доля внутреннего судоходства в распределении грузопотоков Европы составит около 10%, при этом грузооборот составит около 240 млрд. тонно-километров при естественном резком росте объемов энергетических затрат. Соответственно, задача управления энергоэффективностью остается актуальной для внутреннего судоходства в целом и для дунайского – в частности.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы. Проблемам поиска вариантов достижения максимальной экономии энергии (топлива) при безусловном обеспечении движения флота и, соответственно, снижении вредных выбросов в атмосферу, в частности CO₂, посвящено значительное число исследований, существенно активизировавшихся с начала 2000-х гг. [4, 10, 11]. На текущий момент уже существуют сформировавшиеся основные мнения по фундаментальному решению этой проблемы техническими методами (при принятии за базу индекс *costs/benefit* типовой единицы стандартного проекта действующего судна с судовой энергетической установкой – СЭУ). Исходя из прогноза состояния рынка до 2020 г., технические методы обеспечения экономии энергоресурса судов внутреннего плавания, в основном применительно к новому флоту, приведены в табл. 1 [4].

Таблица 1

Технические методы обеспечения экономии энергии судов внутреннего плавания

Технический метод	Область внедрения	Экономия энергии	Окупаемость, лет
Дизель-электрическая установка	Новое судно	10%	10
Двухдвигательная установка типа «отец/сын»	Новое судно	10%	7...8
Трехдвигательная установка (пассажирские суда)	Новое судно	12%	6...7
Применение LNG (dual-fuel)	Новое судно	7...8%	8...9
Применение LNG	модернизация СЭУ	7...8%	12...15
Оптимизация обводов корпуса и винт в насадке	Новое судно	10%	3...4

Фактически все приведенные методы кардинального решения проблемы сведены к новому проектированию судов и соответственным увеличением капитальных вложений по отношению к базовому проекту судна.

После введения *IMO* методики оценки энергоэффективности, исследования для ВВП сфокусировались на поисках обоснования возможного конвенционального (или директивного) применения показателя энергоэффективности в виде аналогичного *IMO* индекса *EEI*, g_{CO_2}/tkm , т.е. в виде удельной массы вредных выбросов, приведенных к CO_2 , на единицу транспортной работы (тоннокилометр, т·км) [9].

Слабость и неустойчивость рынка внутренних водных перевозок справедливо определили специфичность рассмотрения индекса *EEI* совместно с индексом себестоимости перевозок груза *SCE* (*Specific Cost Efficiency* – удельная эффективность расходов (затрат)), €/т, как величины, связанной с основными переменными расходами судна, а именно потреблением топлива.

С 2015 г. предпринимаются попытки найти логическую взаимосвязь понятия энергоэффективного судоходства (*energy-efficient navigation*) и сокращения вредных выбросов (*emission reduction*), рассмотренных как в отдельности, так и в их взаимосвязи, т.е. возникает ситуация, которая должна привести к применению новых технологий в СЭУ в судоходстве в целом и во внутреннем судоходстве ВВП Европы в частности [6].

Принципиально все возможные методы мониторинга энергоэффективности в соответствии с Приложением VI к Конвенции МАРПОЛ, применяемые для морских судов, находящихся в эксплуата-

ции [1], с определенными допущениями справедливы и для судов внутреннего плавания.

Вместе с тем, на ВВП Европы еще с середины 90-х годов начались серьезные исследования проблемы снижения не только CO_2 , но и других вредных выбросов (CO , HC , NO_x , PM) в выпускных газах судовых двигателей, что значительно усложнило исследования в поисках рациональных технологий управления энергоэффективностью.

Основными результатами этих исследований по установлению предельных норм выбросов NO_x являются [3]:

- требования *IMO* – Технический кодекс по NO_x , приложение VI «Правила предотвращения загрязнения атмосферы с судов» к Конвенции МАРПОЛ 73/78 (рис. 1, сплошная линия);

- Глава 8А «Выбросы дизельными двигателями выхлопных газов и загрязняющих частиц» Резолюции № 61 Европейской Экономической Комиссии ООН (ЕЭК ООН);

- Глава 8А «Выбросы дизельными двигателями выхлопных газов и загрязняющих частиц» «Рекомендаций, касающихся технических предписаний для судов внутреннего плавания» Дунайской Комиссии;

- Правила Центральной Комиссии Судоходства по Рейну, базирующиеся на Директиве Европейского Союза 97/68/ЕС для двигателей недорожных транспортных средств «*Non-Road Mobile Machinery (NRMM)*», которыми для NO_x устанавливаются фазы I, II, III (рис. 1).

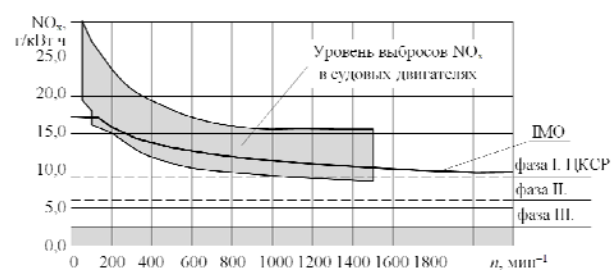


Рис. 1. Уровень выбросов NO_x в выполненных судовых ДВС в спектре рабочих частот вращения в сравнении с нормативами (данные 2010 г.)

Кроме того, директивой 2004/26/ЕС установлены требования, предъявляемые к процедуре отбора проб газов, к применяемым газоанализаторам, к процедуре измерений, а также определен срок, в течении которого значения вредных выбросов должны поддерживаться ниже предельно допустимого уровня.

В июле 2016 г. объявлено, что Европейский парламент и Совет Европейского союза приняли новое предложение о пересмотре стандартов выбросов ЕС для *NRMM*, этап V. В 2019-2020 годах эти стандарты вступят в силу (табл. 2)

Очевидно, что для международного морского судоходства *IMO* реализован подход к нормированию, планированию и управлению энергоэффективностью путем применения, в то время как во внутреннем судоходстве большее внимание уделяется

количественным ограничением вредных выбросов на единицу мощности силовой установки. При этом проблема снижения общих выбросов CO_2 обременена дополнительным введением норм выбросов NO_x и твердых частиц РМ.

Таблица 2

Предельные уровни выбросов судовых дизелей, этап V

Номинальная мощность N_n , кВт	Предельные уровни выбросов судовых дизелей			
	Оксид углерода CO , г/кВтч	Углеводороды HC , г/кВтч	Оксид азота NO_x , г/кВтч	Твердые частицы РМ, г/кВтч
1	2	3	4	5
$19 \leq N_n < 75$	5,0	$\text{HC} + \text{NO}_x \leq 4,70$	0,30	0,30
$75 \leq N_n < 130$	5,0	$\text{HC} + \text{NO}_x \leq 5,40$	0,14	0,14
$130 \leq N_n < 300$	3,5	1,00	2,10	0,10
$N_n \geq 300$	3,5	0,19	1,80	0,015

Локальные ограничения и последующие конвенциональные ужесточение норм по вредным выбросам дизелей привело к тому, что все дизелестроительные фирмы, еще в 90-х годах приступили к исследовательским работам по направлениям:

- формирование малотоксичных рабочих процессов: *первичные методы*;
- разработка эффективных систем очистки выпускных газов: *вторичные методы*.

Первичные методы можно разделить на две группы:

- требующие изменения конструкции двигателя и его элементов, которые практически возможны только при разработке новых моделей;
- не требующие существенного изменения конструкции и реализация которых возможна путем модернизации двигателя и его систем.

Наиболее сложной в практической реализации как мировом морском судоходстве, так и для ВВП, оказалась проблема снижения NO_x .

Исследованиями установлено [3] два принципиальных метода уменьшения выбросов NO_x в дизелях. Первичный метод преследует цель уменьшения NO_x , образующегося в процессе собственно сгорания топлива, а вторичный метод преследует цель удаления NO_x из отработавших газов.

Считается, что оксиды азота могут образовываться только при высокой температуре в камере сгорания, порядка 1800...2800 К, но за фронтом пламени и в зоне продуктов сгорания. Соответственно, все варианты *первичного метода* направлены на уменьшение максимальной температуры цикла, например, за счет раннего закрытия впускных органов (цикл Миллера – *Miller Cycle*), однако это влечет за собой и уменьшение максимального давления сгорания, а значит и уменьшение термического КПД цикла и соответственное увеличение удельного расхода топлива.

Таким образом определяется зона рационального выбора режима работы судовой силовой установки (так называемая дизельная дилемма – «*Diesel Dilemma*», рис.2) [4; 8].

Активный поиск эффективных технологий очистки выпускных газов путем применения фильтров и так называемых катализаторов топлив при понимании значимости мероприятий по снижению расходования топливных ресурсов продолжается. При этом их применение не исключается также и при работе судовой силовой установки на режимах, соответствующих зоне рационального выбора, как она показана на рис. 2.

Примерные соотношения степени снижения выбросов окиси азота NO_x и соответственного изменения удельного эффективного расхода топлива b_e при некоторых методах, возможных к применению на судах внутреннего плавания, приведены в таблице 3.

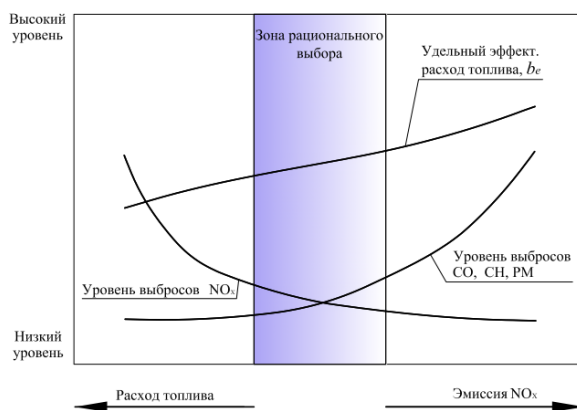


Рис. 2. Диаграмма «Diesel Dilemma»

Таблица 3

Методы снижения уровней выбросов NO_x

Метод снижения выбросов	Оксид азота NO_x снижение %	Эффективный расход топлива b_e увеличение %
Водотопливная эмульсия (ВТЭ), 20% H_2O	15%	1,4%
Водотопливная эмульсия (ВТЭ) и поздний впрыск	30%	2,9%
Прямой впрыск воды (50%)	40%	3,0%
Перепуск газов	12%	2,1%
Селективные катализаторы с сажевым фильтром (SCR + DPF)	98%	7% MDO 14% HFO

Из всех приведенных методов наиболее перспективным с точки зрения снижения NO_x является применение на выпуске системы на базе селективных катализаторов с сажевым фильтром (SCR catalysts and DPF – diesel particulate filter). При этом качество топлива должно соответствовать требованиям Директивы 2009/30/ЕС с ограничением по со-

держанию серы 10 мг/кг (вступило в силу с 1 января 2011 г.).

Однако, эти системы являются достаточно габаритными для размерений машинных отделений судов внутреннего плавания, требуют особого техобслуживания и имеют достаточно высокую стоимость (до 15% стоимости новой СЭУ).

Для судов внутреннего плавания значительное число исследователей рекомендуют применение водотопливной эмульсии (ВТЭ) в том числе для судов в эксплуатации.

Для судов в эксплуатации уменьшение угла опережения подачи топлива приводит к снижению NO_x , но влечет за собой увеличение удельного расхода топлива в таком соотношении: 10%-ное снижение уровня NO_x этим методом вызывает 2%-ное увеличение удельного расхода топлива b_e .

Рациональным вариантом признан способ подачи воды в зону горения топлива, чем обеспечивается испарительное охлаждение наддувочного воздуха и понижение температуры сгорания: оптимальным подбором количества воды, а также угла опережения подачи топлива можно снизить концентрацию NO_x в 1,5...2 раза по сравнению со схемой обычного впрыска топлива. Изменение параметров наддувочного воздуха, а именно уменьшение температуры и повышение давления наддува на существующих двигателях также приводит к снижению уровня NO_x , но предписываемых норм величины выбросов как правило не достигают.

3. Цель и задачи исследования. Целью работы является исследование соотношения показателей энергоэффективности и количества вредных выбросов в атмосферу во внутреннем судоходстве.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- определение показателя энергоэффективности для судов внутреннего плавания;
- сопоставление количественных показателей вредных выбросов в атмосферу по составляющим;
- определение наиболее рационального способа соотношения показателей энергоэффективности и количества вредных выбросов в атмосферу.

4. Исследование взаимосвязи показателей энергоэффективности и экологичности во внутреннем судоходстве, а также возможных методов их рационального сочетания. Если компонентам вредных выбросов условно присвоить численные индексы и ввести для каждого обозначения EM_i , г/ч, то общая эмиссия EM , г/ч, определится как

$$EM = \sum_{i=1}^k EM_i, \quad (1)$$

где k – общее количество компонентов вредных выбросов в атмосферу.

В общем случае массовая доля выброса в атмосферу каждого компонента зависит от ряда z факторов: химического состава топлива (комплекс факторов 1 – F_1), состава силовой установки (комплекс

факторов 2 – F_2), характеристик рабочего цикла (комплекс факторов 3 – F_3), характеристики расхода топлива (комплекс факторов 4 – F_4) и т.д.:

$$EM_i = f(F_1, F_2, F_3, \dots, F_z), \quad (2)$$

при этом для каждого из компонентов вредных выбросов соблюдается зависимость:

$$EM_i = f(n), \quad (3)$$

где n – частота вращения двигателя.

Для оценки энергоэффективности во внутреннем судоходстве рассмотрим подход, предлагаемый ИМО. Индекс энергоэффективности

$$EEI = \frac{P \cdot SFC \cdot C_F}{Capacity \cdot v}, \quad (4)$$

где P – мощность главного двигателя (ГД), кВт; SFC – удельный расход топлива, г/(кВт·ч); C_F – коэффициент выбросов CO_2 (безразмерный конверсионный фактор между потреблением топлива и выбросом CO_2); $Capacity$ – дедвейт для грузовых судов или валовая вместимость, для пассажирских судов, т; v – скорость судна, узлы.

В числителе формулы (4) – суммарная эмиссия вредных веществ в атмосферу, приведенная к CO_2 , г/ч, т.е.

$$P \cdot SFC \cdot C_F = EM. \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что коэффициент выбросов CO_2 – C_F – это фактор приведения всех компонентов вредных выбросов в атмосферу к эквиваленту CO_2 , а также то, что определить его можно следующим образом:

$$C_F = \frac{EM}{P \cdot SFC}, \quad (6)$$

т.е. делением суммарной эмиссии всех вредных веществ на произведение мощности и удельного расхода топлива.

При этом, учитывая формы (3), (5), следует

$$EM_i = P \cdot SFC \cdot C_{Fi}; \quad (7)$$

$$C_{Fi} = \frac{EM_i}{P \cdot SFC}, \quad (8)$$

где C_{Fi} – коэффициент выбросов i -го компонента, зависящий от марки применяемого топлива

Если принять в качестве мощности эффективную мощность, т.е. $P = N_e$, а в качестве удельного расхода топлива SFC – удельный эффективный расход топлива b_e , то

$$P \cdot SFC = N_e \cdot b_e = B_q. \quad (9)$$

Для условий плавания на внутренних водных путях в общем случае часовой расход топлива явля-

ется функцией не только частоты вращения n , но и скорости течения v_t ; скорости лобового ветра $v_{вт}$; глубины и ширины фарватера, соответственно H и B ; его извилистости (русла рек); локальных ограничений, т.е.

$$B_q = f(n; v_m; v_{вт}; H; B; r). \quad (10)$$

Работа судов во внутреннем судоходстве технологически отличается от морского судоходства в связи с ограничениями по внешним условиям плавания – участки мелководья, «узкие» места, извилистость фарватера, проходящего по руслам рек, разная скорость течения реки на различных участках, пр. Кроме того, например, в дунайском судоходстве большая часть перевозок осуществляется барже-буксирными составами до 9 несамоходных судов, приводимых в движение буксиром-толкачом. Такая технология речных перевозок на большие (до 2000 км) расстояния оправдана экономически и технически. Однако большие составы при движении по речному руслу сталкиваются с необходимостью осуществления проводок, при которых состав расформируется и буксир совершает маневры, поочередно переводя несамоходные единицы флота в узкостях. Кроме того, у каждой несамоходной единицы

может быть свой порт назначения. В связи с этим определение транспортной работы (знаменатель формулы (4) $A_{тр} = Capacity \cdot v$, т·км/ч) должно быть адаптировано для грузовых караванов. В качестве *Capacity* предлагается, например, принимать суммарную массу перевозимого состава груза.

Вредные выбросы в атмосферу от внутреннего судоходства в эквиваленте CO_2 [6, 11] в сравнении с общим количеством таких выбросов от судоходства в целом и с глобальными выбросами приведены в табл. 4.

Динамика изменения количества вредных выбросов в атмосферу в эквиваленте CO_2 по годам свидетельствует о том, что за период с 2007 по 2015 год меньшие значения соответствуют периодам спада перевозок при общей тенденции к снижению на фоне роста глобальных выбросов.

Если оценивать долю отдельных компонентов (выбросы CO , HC , NO_x , PM), то данные [6] свидетельствуют о наличии устойчивой тенденции к снижению количества каждого из них, при этом наихудшие показатели наблюдаются по выбросам NO_x , затем SO_x (табл. 5).

Таблица 4

Вредные выбросы в атмосферу в эквиваленте CO_2 , млн. т

Годы	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Внутреннее судоходство	133	139	75	83	110	87	73	78	78
% от глобальных выбросов	0,4%	0,4%	0,2%	0,2%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
Судоходство в целом	1100	1135	977	914	1021	942	910	930	932
% от глобальных выбросов	3,5%	3,5%	3,1%	2,7%	2,9%	2,6%	2,5%	2,6%	2,6%
Глобальные выбросы	31959	32133	31822	33661	34726	34968	35672	36084	36062

Таблица 5

Вредные выбросы в атмосферу, млн. т

Годы		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Внутреннее судоходство	CO	0,099	0,103	0,060	0,072	0,082	0,076	0,063	0,067	0,068
	% ¹	9,92%	9,91%	6,51%	8,06%	8,41%	8,12%	7,90%	8,28%	8,35%
	НМЛОС ²	0,076	0,078	0,038	0,051	0,059	0,053	0,057	0,060	0,062
	%	9,19%	9,09%	5,14%	7,47%	7,96%	7,61%	7,30%	7,63%	7,80%
	NO_x	1,564	1,639	0,930	1,114	1,323	1,171	1,030	1,093	1,238
	%	6,86%	6,93%	4,48%	5,94%	6,51%	6,16%	5,59%	5,94%	6,49%
Судоходство в целом	SO_x	0,278	0,331	0,202	0,251	0,358	0,268	0,0909	0,0941	0,0954
	%	2,40%	2,78%	1,73%	2,38%	3,15%	2,62%	0,88%	0,91%	0,91%
	PM	0,051	0,058	0,033	0,041	0,056	0,044	0,030	0,032	0,031
	%	3,14%	3,45%	2,10%	2,86%	3,58%	3,14%	2,03%	2,13%	2,08%
	CO	0,998	1,039	0,921	0,893	0,975	0,936	0,797	0,809	0,814
	НМЛОС	0,827	0,858	0,739	0,683	0,741	0,696	0,781	0,786	0,795
	NO_x	22,801	23,639	20,756	18,756	20,310	19,002	18,426	18,398	19,062
	SO_x	11,581	11,892	11,646	10,550	11,362	10,240	10,355	10,361	10,457
	PM	1,622	1,679	1,574	1,432	1,563	1,402	1,475	1,504	1,492

¹ В таблице 5 указаны % от выбросов соответствующего вещества от судоходства в целом, включая международное морское судоходство, внутреннее и рыболовное

² НМЛОС (*NM/OC* – англ.) – неметановые летучие органические соединения

5. Результаты исследований. Полученные в ходе исследований зависимости (8) при их соотношении с индексом энергоэффективности (его эксплуатационным значением, определенным в соответствии с требованиями ИМО) дадут возможность оценить соотношение экологичности и энергоэффективности во внутреннем судоходстве по каждому из компонентов вредных выбросов с целью последующего анализа достижимости установленных требований, топливной экономичности и применения для существующего возрастного флота. В ходе исследования решены все поставленные задачи:

- определен показатель энергоэффективности для судов внутреннего плавания с учетом особенности технологии их работы и фактически выполняемой транспортной работы;
- определен механизм сопоставления количественных показателей вредных выбросов в атмосферу по составляющим;
- определен наиболее рациональный способ соотношения показателей энергоэффективности и количества вредных выбросов в атмосферу по компонентам.

В то же время, необходимо отметить, что исполнение предписаний по ограничению выбросов стали основной проблемой для последующей политики использования судов постройки до 2003 г. (свыше 83% действующего флота на ВВП Европы в 2017 г.).

Сложность проблемы заключается в том, что стоимость внедрения дорогостоящих технологий снижения уровней выбросов для судовых энергетических установок с небольшими мощностями или с малым остаточным ресурсом будет составлять значительную долю его общей остаточной стоимости и возможно при этом признать необходимость полной замены СЭУ. Рекомендуемые в проекте «*Stage V*» предельные уровни выбросов при применении известных методов (прежде всего *SCR catalysts and DPF – diesel particulate filter*) даже для новых судов возможно будут достигаться, если будут введены специальные методы экономического стимулирования.

В настоящее время коллектив авторов уже располагает экспериментальными данными по проведенным исследованиям на судах частного акционерного общества «Украинское Дунайское пароходство» (материалы готовятся к публикации). Снижение выбросов CO₂ путем уменьшения расхода топлива для судов-толкачей толкаемых составов, возможно в различных пропорциях, при этом основной процент снижения может быть достигнут за счет рационального менеджмента: рациональным планированием рейса и оперативным управлением во время движения (переформирование состава и изменение скоростного режима) в зависимости от текущих навигационных условий.

Основные критерии при оценке эффективности принимаемых решений должны быть следующие:

- затраты на топливо в установленный жизненный цикл;
- принятый предельный уровень выбросов;

– себестоимость модернизации или полной замены СЭУ.

Флот европейских ВВП составил в 2015 г. около 18 тыс. судов, из них «активных» судов с двигателями со средней мощностью от 190 до 3200 кВт – около 11 тыс. единиц.

Самоходные одиночные суда грузового флота составляет около 75% флота, работающего на Рейне и европейских каналах и имеет разные размерения – от средних (менее 55 м по длине) до больших: «европейское судно» ($L \times B = 110 \text{ м} \times 11,3 \text{ м}$), «большое европейское судно» ($L \times B = 135 \text{ м} \times 11,4 \text{ м}$) с относительным средним возрастом до 25 лет и ежегодным пополнением от 60 до 80 новых судов.

В то же время, на Нижнем и Среднем Дунае около 60% процентов перевозок осуществляется большегрузными (до 15 тыс. т) составами, при этом на Дунае 27% транспортного флота – это суда с двигателями (толкачи и буксиры возрастом свыше 35 лет) и 73% – баржевый флот.

Естественно для отдельных ВВП Европы со слабым рынком, включая Дунай, встает вопрос о выборе стратегии использования флота с небольшим остаточным ресурсом при выходе на другие бассейны (на Рейн), а также применения технологий для новых судов, учитывая их значительную стоимость и уменьшения при этом соотношения *cost/ benefit*.

В этом случае возможно обратить внимание (как переходной период) на применение для судов внутреннего плавания биодизеля (*Biodiesel, Biodiesel Blend*), присадок к топливу в качестве донорно-акцепторных веществ для интенсификации его сгорания, а также на возможности специальной обработки топлива перед впрыском.

6. Выводы. Введение и последующее ужесточение норм вредных выбросов судовых СЭУ на ВВП Европы ставит дополнительную задачу разработки методики экономико-экологической оценки эффективности производства транспортной продукции (т·км) в сочетании с методами повышения энергоэффективности судоходства.

Учитывая реальные действия по общей интеграции ВВП Европы как транспортных коридоров в единую сеть, следует интенсифицировать исследования по разработке специальных технологий снижения норм вредных выбросов для судов в эксплуатации с учетом их остаточного ресурса жизненного цикла, что позволит обеспечить им продолжение работы на реках с режимами специального контроля.

Л и т е р а т у р а

1. Горб, С.И. Мониторинг энергоэффективности судов [Электронный ресурс]. / С.И. Горб // Автоматизация судовых технических средств, 2015, 21: с. 48-53. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN /asts_2015_21_11
2. Суворов, П.С. Оценка основных факторов, определяющих энергоэффективность судов внутреннего плавания [Текст] / П.С.Суворов, Т.В.Тарасенко, В.І.Залож // Автоматизация судовых технических средств: научн.-

техн. сб. – Одесса: ОНМА, 2018. – Вып. 24. – С. 94 – 102. – ISSN 1819-3293.

3. Суворов, П.С. Судовые двигатели внутреннего сгорания [Текст] / П.С.Суворов. – Одесса: ОНМА, 2011. – 608 с. – ISBN 966-7591-14-1.
4. Abschlussbericht des BMVBS F&E-Vorhabens: "Erprobung von Partikelfiltern für den Einsatz in der Binnenschifffahrt" [Электронный ресурс]. – GL, 2006. – 121 p. – Режим доступа 07.10.18: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Wasser/projektbericht_partikelfilter.pdf?__blob=publicationFile
5. Bond, T. C. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. [Электронный ресурс] / T.C. Bond, S. J. Doherty, D. W. Fahey, P. M. Forster, T. Berntsen, B. J. DeAngelo, M. G. Flanner, S. Ghan, B. Kärcher, D. Koch, S. Kinne, Y. Kondo, P. K. Quinn, M. C. Sarofim, M. G. Schultz, M. Schulz, C. Venkataraman, H. Zhang, S. Zhang, N. Bellouin, S. K. Guttikunda, P. K. Hopke, M. Z. Jacobson, J. W. Kaiser, Z. Klimont, U. Lohmann, J. P. Schwarz, D. Shindell, T. Storelvmo, S. G. Warren, and C. S. Zender. // JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: ATMOSPHERES, VOL. 118, doi:10.1002/jgrd.50171, 2013. – p. 5380–5552 – Режим доступа 07.10.18: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jgrd.50171>
6. Bond, T. C. Greenhouse gas emissions from global shipping, 2013–2015 [Электронный ресурс] / Naya Olmer, Bryan Comer, Biswajoy Roy, Xiaoli Mao, And Dan Rutherford. – International Council on Clean Transportation, 2017. – 38 p. – Режим доступа 07.10.18: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Global-shipping-GHG-emissions-2013-2015_ICCT-Report_17102017_vF.pdf
7. Environmentally friendly inland waterway ship design for the Danube River [Электронный ресурс] / World Wide Fund For Nature International. Danube-Carpathian Programme (WWF-DCP); рук. Dejan Radojcic. – Project №: 9E0726.04. – Republic of Serbia, 2009. – 121 с. – Библиогр. с. 95-98. – Режим доступа 07.10.18: http://assets.panda.org/downloads/iww_danube_ship_design_final_december_2009.pdf
8. Jose, E. Exhaust Gas Recirculation in CI Engines [Электронный ресурс]. / Edwin Jose, Muhammed Muhais A., V. Ravikumar // International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). Vol. 3 Issue III doi:10.22214/ijraset, 2015. – p. 763-767. – Режим доступа 07.10.18: <https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=1930>
9. Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in der Binnenschifffahrt [Электронный ресурс]. – Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, 2012. – 99 p. – Режим доступа 07.10.18: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/rapports/Thg_ber_de.pdf
10. Second IMO GHG Study 2009 [Электронный ресурс]. – IMO, 2009. – 240 p. – Режим доступа 07.10.18: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>
11. Third IMO GHG Study 2014 [Электронный ресурс]. – IMO, 2014. – 331 p. – Режим доступа 07.10.18: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf>

References

1. Horb, S.Y., (2015). Monitorynh enerhoeffektyvnosty sudov. Avtomatyzatsiya sudovykh tekhnicheskikh sredstv, 21, 48-53. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/asts_2015_21_11
2. Suvorov, P.S., Tarasenko, T.V., Zalozh, V.I., (2018). Otsenka osnovnykh faktorov, opredeliaushchykh enerhoeffektyvnost sudov vnutrenneho plavaniya. Avtomatyzatsiya sudovykh tekhnicheskikh sredstv, 24, 94-102.
3. Suvorov, P.S., (2011). Sudovye dvigately vnutrenneho shoraniya. Odessa: ONMA, 608. ISBN 966-7591-14-1.
4. (2006). Abschlussbericht des BMVBS F&E-Vorhabens: "Erprobung von Partikelfiltern für den Einsatz in der Binnenschifffahrt" . – GL, 121 p. Access mode: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Wasser/projektbericht_partikelfilter.pdf?__blob=publicationFile
5. Bond, T. C., Doherty S. J., Fahey D. W., Forster P. M., Berntsen T., DeAngelo B. J., Flanner M. G., Ghan S., Kärcher B., Koch D., Kinne S., Kondo Y., Quinn P. K., Sarofim M. C., Schultz M. G., Schulz M., Venkataraman C., Zhang H., Zhang S., Bellouin N., Guttikunda S. K., Hopke P. K., Jacobson M. Z., Kaiser J. W., Klimont Z., Lohmann U., Schwarz J. P., Shindell D., Storelvmo T., Warren S. G., Zender C. S., (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: ATMOSPHERES, 118, 5380–5552, doi:10.1002/jgrd.50171. Access mode: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jgrd.50171>
6. Bond, T. C., Naya Olmer, Bryan Comer, Biswajoy Roy, Xiaoli Mao, And Dan Rutherford (2017). Greenhouse gas emissions from global shipping, 2013–2015. International Council on Clean Transportation, 38. Access mode: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Global-shipping-GHG-emissions-2013-2015_ICCT-Report_17102017_vF.pdf
7. Dejan Radojcic, (2009). Environmentally friendly inland waterway ship design for the Danube River. World Wide Fund For Nature International. Danube-Carpathian Programme (WWF-DCP), Project №: 9E0726.04, Republic of Serbia, 121. Access mode: http://assets.panda.org/downloads/iww_danube_ship_design_final_december_2009.pdf
8. Jose, E., Edwin Jose, Muhammed Muhais A., Ravikumar V., (2015). Exhaust Gas Recirculation in CI Engines. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 3/III, 763-767. doi:10.22214/ijraset. Access mode: <https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=1930>
9. (2012). Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in der Binnenschifffahrt. Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, 99. Access mode: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/rapports/Thg_ber_de.pdf
10. (2009). Second IMO GHG Study 2009. IMO, 240. Access mode: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>
11. (2014). Third IMO GHG Study 2014. IMO, 331. Access mode: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf>

Суворов П.С., Тарасенко Т.В., Залож В.І., Максимов С.Б. Про співвідношення енергоефективності та екологічності у внутрішньому судноплаванні

У проведеному дослідженні розглянуті питання нормування шкідливих викидів до атмосфери у судноплаванні на європейських внутрішніх водних шляхах. Показані відмінності технологій перевезень в міжнародному морському, європейському внутрішньому і дунайському судноплаванні. Виконано аналіз показників енергоефективності, встановлених в міжнародному морському судноплаванні, а також особливості їх застосування у внутрішньому судноплаванні. Визначено принципи застосування показників енергоефективності до оцінки екологічних показників роботи суден у внутрішньому судноплаванні з урахуванням специфіки навігаційних умов та інших факторів, що визначають режими роботи суднового пропульсивного комплексу.

Таким підходом, зокрема пропонується вирішити практичну задачу, сформульовану встановленням нормативних обмежень по компонентам шкідливих викидів, які ставлять в однакові умови судовласників різних за характеристиками і технологіям роботи суден, які працюють в різних навігаційних умовах.

Сучасний стан дунайського судноплавання відрізняється недостатньою забезпеченістю навігаційних умов, віковим складом флоту, а також специфікою самого флоту - його здатністю працювати протягом усього Дунаю (більше 2000 км) при завантаженні важкими караванами з суден несамохідного флоту. Така специфіка значно відрізняє дунайське судноплавання від судноплавання по іншим внутрішніми водними шляхами Європи, на яких цілий рік забезпечені прохідні глибини, дальність переходів в десятки разів менше, а роботу здійснюють здебільшого самохідні суховантажні і наливні судна.

Відповідно, є підстави стверджувати, що судовласники існуючого дунайського тягового і самохідного флоту без суттєвої його модернізації та оновлення зможуть виключно управляти показниками енергоефективності, показано співвідношення характеристик енергоефективності та екологічності та визначено умови, в яких можливе досягнення підвищення енергоефективності при одночасному зниженні кількості шкідливих викидів в атмосферу.

Ключові слова: шкідливі викиди, енергоефективність, екологічні показники, судноплавання, склад суден, несамохідне судно, штовхач

Suvorov P., Tarasenko T., Zalozh V., Maksymov S. About ratio of energy efficiency and ecological compatibility for inland navigation vessels

Present state of the Danube shipping is differed by insufficient provision of navigation conditions, age composition of the fleet, as well as the fleet specifics – its ability to work throughout the Danube (over 2000 km) when loaded with heavy caravans from non-self-propelled vessels. This specificity significantly differentiates the Danube navigation from navigation on other inland waterways in Europe, which provided

year-round through depths, range of transitions to ten times less, and the work carried out for the most part self-propelled dry cargo and tanker vessels.

The study deals with the build a common model for managing energy efficiency and environmental performance of a self-propelled river towing and traction fleet. The differences in transportation technologies in international maritime, European inland and Danube shipping are shown. The issues of rationing of harmful emissions into the atmosphere in shipping on European inland waterways are considered. The analysis of energy efficiency indicators established in international maritime shipping, as well as the peculiarities of their use in inland navigation, was carried out. The principles of the application of energy efficiency indicators to the assessment of environmental indicators of ships in inland navigation have been determined, taking into account the specifics of navigation conditions and other factors determining the operating modes of the ship propulsion complex.

Innovative approach in the study lies in the fact that in the known studies carried out earlier, were considered the Danube fleet operating on the upper sections of the Danube. According to this, the practical solution to the problem of determining the potential to reduce harmful emissions for the existing fleet as well as the formation of the concept of energy efficiency management in the shipping industry is unresolved.

Consequently, the ways of achieving energy efficiency while reducing the amount of harmful emissions into the atmosphere were identified. A possibility of controlling characteristics of energy efficiency of existing Danube traction and self-propelled fleet without significant modernization and upgrades is presented

Keywords: emissions, energy efficiency, environmental performance, shipping, ships, composition of ships, dumb vessel, pusher.

Суворов Петро Семенович – Академік ТАУ, доктор технічних наук, професор, Кафедра судових енергетичних установок і систем, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», E-mail: petr.s.suvorov@gmail.com

Тарасенко Тетяна Владиславівна – кандидат технічних наук, кафедра інженерних дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», вул. Фанагорійська 9, м. Ізмаїл, Україна, 68607 E-mail: sergeysunnysat@gmail.com

Залож Віталій Іванович – здобувач, кафедра інженерних дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія» E-mail: zalozh@ukr.net

Максимов Сергій Борисович – здобувач, кафедра інженерних дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія» E-mail: maksimov15477@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

Стаття подана 03.03. 2019

УДК 621.389: 621.317

МЕТОД СИНТЕЗУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО СИГНАЛУ З БУДЬ-ЯКОЮ КІЛЬКІСТЮ ТОЧОК ПЕРЕМИКАННЯ

Тимошук О.М., Дакі О.А.

METHOD OF SYNTHESIS OF THE MEASUREMENT SIGNAL WITH ANY QUANTITY OF THE CIRCUMFERENCE POINT

Tymoshchuk O.M., Daki O.A.

В статті наведено протиріччя, яке є у практиці контролю технічного стану складних систем. Забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку. З іншого боку спостерігається відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього.

Реалізація традиційного підходу до вимірювання характеристик амплітудно-частотного спектру динамічних об'єктів, потребує значної трудомісткості вимірювань. Уникнути даного недоліку можна за рахунок використання вимірювальних сигналів. Постановка задачі отримання оптимальних параметрів вимірювальних сигналів передбачає визначення конкретних критеріїв синтезу.

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

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

Вступ. Актуальність дослідження, проведеного у статті, обумовлена зростанням ролі та значення засобів контролю сучасних і перспективних радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту у підтриманні їх готовності до функціонування за призначенням та загальною тенденцією підвищення вимог до своєчасного виявлення відмов за рахунок автоматизації (підвищення точності та оперативності контролю) контрольно-діагностичних робіт при експлуатації радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту [1–4].

Постановка проблеми. Наукова проблема, що буде розв'язуватися у подальших дослідженнях, полягає в розробленні методології синтезу параметрів полігармонійних вимірювальних сигналів, яка дозволяє отримувати перешкодозахищені вимірювальні сигнали з потрібними показниками спектра, зокрема, коефіцієнтами корисної потужності та нерівномірності, середнього значення гармонік у корисному діапазоні частот.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Провідними закордонними фахівцями в даній галузі, зокрема, Ван Схонвелд, Ван Оудер, А. Томпсон, І. Коллар, Т. Уїлсон, а також відомими вітчизняними вченими, такими як М.Я. Мінц, Д.В. Корольков, Ю.М. Парійський, Ю.Ф. Павленко, В.К. Волосюк, В.М. Чинков, П.А. Шпаньон В.Г. Алексишин, Л.А. Козырь, С.В. Симоненко Л.Л. Вагушенко, Н.Н. Цымбал та ін. розроблено ряд робіт, які доказують можливість використання складних вимірювальних сигналів, окрім періодичних синусоїдних і прямокутних, для контролю технічного стану технічних систем [3–7].

Проте лише оглядово розглянуто методи синтезу параметрів полігармонійних вимірювальних сигналів, які дозволяють отримувати перешкодозахищені вимірювальні сигнали з потрібними показниками спектра.

Мета статті. Таким чином, метою статті є розроблення аналітичного апарату (методу), що пов'язує амплітудний спектр полігармонійного сигналу з набором значень точок перемикання.

Результати досліджень. Реалізація традиційного підходу до вимірювання характеристик амплітудно-частотного спектру динамічних об'єктів, що ґрунтується на застосуванні генераторів синусоїдних коливань, потребує значної трудомісткості вимірювань, оскільки потрібно послідовно задавати на генераторі контрольні частоти об'єкту, що досліджується. Уникнути даного недоліку можна за ра-

хунок використання вимірювальних сигналів. Постановка задачі отримання оптимальних параметрів вимірювальних сигналів передбачає визначення конкретних критеріїв синтезу, основними з яких є максимізація коефіцієнта використання потужності, досягнення задовільного рівня найменшої за амплітудою корисної гармоніки у спектрі, мінімізація розкиду амплітуд спектральних складових на частотах аналізу тощо [4–6].

Крім наведених показників спектра сигналів, метод синтезу вимірювальних сигналів може так само враховувати інші показники, наприклад, коефіцієнт амплітуди, який визначається як відношення максимального за модулем значення сигналу до його середньоквадратичного значення. Оптимізація таких сигналів з метою мінімізації коефіцієнта амплітуди приводить до збільшення "відношення сигнал / шум" та, відповідно, забезпечує підвищену перешкодозахищеність вимірювань характеристик амплітудно-частотного спектру динамічних об'єктів [6,7].

Періодичні сигнали складної форми, що мають нормовані параметри амплітудного спектра, знаходять широке застосування в метрологічній практиці [7,8]. Вибір таких сигналів як вимірювальних впливів для ідентифікації технічного стану динамічних об'єктів у частотній області дозволяє отримати високу перешкодозахищеність контролю, оскільки у кожен момент часу сигнали приймають значення або F_0 , або $-F_0$, забезпечуючи при будь-якому рівні перешкоди високий показник "відношення сигнал / шум". Крім того, апаратна реалізація калібраторів сигналів є найпростішою, що забезпечує їм економічну ефективність [8].

Найбільшими функціональними можливостями з управління спектральним складом володіють сигнали зі складним законом модуляції тривалості імпульсів, коли отримання необхідного спектру сигналу досягається за рахунок зміни моментів перемикання його рівнів [9].

Аналітичне завдання сигналу з метою подальшого його спектрального аналізу класичним апаратом перетворення Фур'є вже при кількості точок перемикання, більшому 10-ти, представляє досить трудомістке завдання навіть для сучасних систем комп'ютерної математики [10]. Крім того, деякі ітераційні алгоритми оптимізації сигналів передбачають багаторазове перебування амплітуд гармонік при різних значеннях моментів перепаду рівнів. Як вирішення завдання пропонується знайти залежність, що дозволяє обчислювати спектр амплітуд сигналу за відомим набором його точок перемикання.

Серед сигналів найбільш відомими є меандр, прямокутні імпульси та їх комбінації у пакетах, а так само послідовності максимальної довжини [9,10]. Однак їх застосування під час вимірювання характеристик амплітудно-частотного спектру динамічних об'єктів обмежується значною нерівномірністю гармонік та неефективним розподілом поту-

жності сигналів, оскільки значна її частина знаходиться поза зоною аналізу. Кращі результати можна досягти, якщо оптимізувати складний вимірювальний сигнал з довільним набором точок переключення [10,11], який наближується в середньоквадратичному відношенні в часовій області до заданого сигналу. Але, як і в попередніх аналізованих роботах, низька гнучкість управління спектральним складом, яка обумовлена у даному випадку залежністю цільової функції оптимізації від фаз гармонічних складових, не дозволяє отримати бажані значення нерівномірності гармонік і корисної потужності.

Більшість джерел з питань радіотехнічних ланцюгів і сигналів розглядають найпростіші види сигналів, такі, як послідовність прямокутних імпульсів з довільної скважністю або меандр, і призводять кінцеві співвідношення для визначення їх спектральних складових [11]. У роботі [12] наведені розрахункові формули перетворення Фур'є для деяких класів функцій. Огляд різних адаптивних квадратур для обчислення певних інтегралів від довільних функцій проведено в [13].

Розглянемо сигнал $f(\alpha)$, має довільний закон модуляції тривалості імпульсів. На інтервалі одного періоду $T=2\pi$ він має M точок перемикання $\{\alpha_i\}$, де $\alpha=\omega_0 t$; ω_0 – основна частота сигналу; $i=1, M$, причому $\alpha_{i-1} < \alpha_i < \alpha_{i+1}$, $\alpha_1=0$, $\alpha_M=2\pi$. Мінімальне значення кількості точок перемикання $M=3$, що справедливо для послідовності прямокутних імпульсів або меандру.

Отримаємо залежність амплітудного спектра даного сигналу від вектора точок його перемикання $\{\alpha_i\}$ для двох різних випадків: при парному та непарному значенні M .

Запишемо аналітичний вираз для визначення сигналу $f(\alpha)$, коли M – будь-яке непарне число:

$$f_1(\alpha) = \begin{cases} F_0, & \text{якщо } \alpha_1 \leq \alpha < \alpha_2, \dots, \alpha_{M-2} \leq \alpha < \alpha_{M-1}; \\ -F_0, & \text{якщо } \alpha_2 \leq \alpha < \alpha_3, \dots, \alpha_{M-1} \leq \alpha < \alpha_M. \end{cases} \quad (1)$$

Форма сигналу (1) представлена на рис. 1.

Аналогічно аналітичний запис складного сигналу, у якого M – парне число, буде мати вигляд:

$$f_2(\alpha) = \begin{cases} F_0, & \text{якщо } \alpha_1 \leq \alpha < \alpha_2, \dots, \alpha_{M-1} \leq \alpha < \alpha_M \\ -F_0, & \text{якщо } \alpha_2 \leq \alpha < \alpha_3, \dots, \alpha_{M-2} \leq \alpha < \alpha_{M-1}, \end{cases} \quad (2)$$

а його форма показана на рис. 2.

Знайдемо комплексні коефіцієнти Фур'є сигналів (1) і (2), використовуючи наступну рівність [12–14]

$$d_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\alpha) e^{-jn\alpha} d\alpha = \frac{1}{2} c_n e^{j\psi_n}, \quad \text{при } n \neq 0, \quad (3)$$

де c_n і ψ_n – амплітуда та початкова фаза n -й гармоніки.

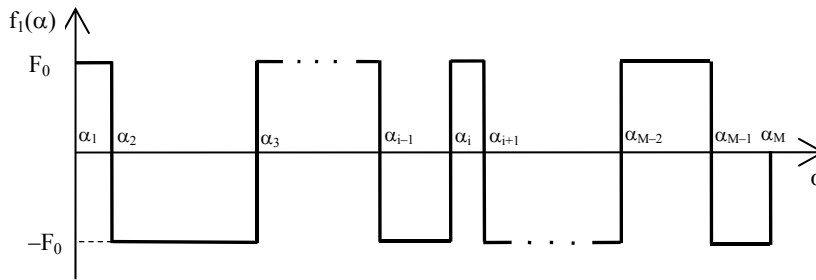


Рис. 1. Вимірювальний сигнал з непарною кількістю точок перемикавання

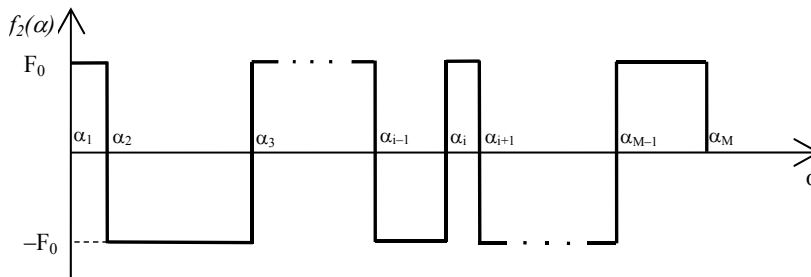


Рис. 2. Вимірювальний сигнал з парною кількістю точок перемикавання

Із виразу (3) після перетворення [12] випливає, що амплітуда n -ї гармоніки визначається як

$$c_n = 2|d_n| = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} |f(\alpha) e^{-jn\alpha} d\alpha|. \quad (4)$$

Постійна складова сигналу c_0 дорівнює

$$c_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\alpha) d\alpha. \quad (5)$$

Квадратурні формули (4) і (5) визначають амплітудний спектр складного сигналу з довільним законом модуляції тривалості його імпульсів, однак при відомому векторі точок перемикавання сигналу $\{\alpha_i\}$ безпосереднє використання співвідношень (4) і (5) неможливо. Тому доцільно перейти від інтегралів до записів з використанням кінцевих сум.

Для цього, підставляючи в формулу (4) вирази (1) і (2), отримуємо відповідно амплітудний спектр сигналу $f_1(\alpha)$

$$c_{1n} = \frac{2F_0}{\pi n} |e^{-jn\alpha_1} - e^{-jn\alpha_2} + e^{-jn\alpha_3} - \dots - e^{-jn\alpha_{M-1}}| = \frac{2F_0}{\pi n} \left| \sum_{i=1}^{M-1} (-1)^{i+1} e^{-jn\alpha_i} \right|. \quad (6)$$

і амплітудний спектр сигналу $f_2(\alpha)$

$$c_{2n} = \frac{2F_0}{\pi n} |-e^{-jn\alpha_2} + e^{-jn\alpha_3} - \dots - e^{-jn\alpha_{M-1}}| = \frac{2F_0}{\pi n} \left| \sum_{i=2}^{M-1} (-1)^{i+1} e^{-jn\alpha_i} \right|. \quad (7)$$

Різниця між формулами (6) і (7) складається лише у нижніх межах індексу підсумовування. Для непарної кількості точок перемикавання величина та приймає значення від 1 до $M-1$, а для парного кількості – від 2 до $M-1$. З метою узагальнення рівності (6) і (7) наведемо універсальну формулу для розра-

хунку нижньої межі індексу підсумовування, позначивши його M_0 , що дозволить для будь-яких M (парних або непарних) отримувати відповідні значення нижніх меж сум:

$$M_0 = \frac{|(-1)^{M+1}-1|}{2} + 1. \quad (8)$$

Елемент $(-1)^{i+1}$ у співвідношеннях (6) і (7), визначає знакозмінний ряд, запишемо у вигляді $(-1)^i$, оскільки збереження показника ступеня, рівного $(i+1)$, необхідно тільки при обчисленні фаз гармонічних складових ψ_n .

Розклавши комплексні експоненти виразів (6) і (7) за формулою Ейлера [15] і з урахуванням виразу (8), отримаємо аналітичне співвідношення, що зв'язує спектр амплітуд сигналу з набором його точок перемикавання $\{\alpha_i\}$:

$$c_n = \frac{2F_0}{\pi n} \cdot \sqrt{\left[\sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \cos(n\alpha_i) \right]^2 + \left[\sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \sin(n\alpha_i) \right]^2}. \quad (9)$$

Відзначимо, що формула (9) справедлива й у разі $f_1(\alpha) = -f_1(\alpha)$, $f_2(\alpha) = -f_2(\alpha)$.

У той же час перетворення формули (10) для обчислення постійної складової сигналу вимагають обліку значення, а точніше знаку $f(\alpha)$ на першому інтервалі аналізу ($\alpha_1 \leq \alpha < \alpha_2$).

Наведемо кінцеве вираз для розрахунку величини c_0 :

$$c_0 = \frac{F_0}{2\pi} \sum_{i=1}^{M-1} (-1)^{i+1} (\alpha_{i+1} - \alpha_i) \sin(f(\alpha)) \quad \left| \alpha_1 \leq \alpha < \alpha_2. \right. \quad (10)$$

У статті запропоновано та досліджено методологію синтезу параметрів полігармонійних вимірювальних сигналів, які дозволяють отримувати перешкодозахищені вимірювальні сигнали з потрібними показниками спектра, зокрема, коефіцієнтами корисної потужності та нерівномірності, середнього значення гармонік у корисному діапазоні частот.

Висновки.

У статті запропоновано та досліджено методологію синтезу параметрів полігармонійних вимірювальних сигналів, які дозволяють отримувати перешкодозахищені вимірювальні сигнали з потрібними показниками спектра, зокрема, коефіцієнтами корисної потужності та нерівномірності, середнього значення гармонік у корисному діапазоні частот.

Також поставлена та вирішена задача знаходження аналітичного апарату, що пов'язує амплітудний спектр полігармонійного сигналу, що має довільний закон модуляції тривалості імпульсів, з набором значень точок перемикавання. Причому, амплітуди гармонік з номерами 1 і вище однозначно визначаються вектором точок перемикавань $\{\alpha_i\}$ і значенням рівня сигналу F_0 , а обчислення постійної складової вимагає, крім цього, додаткового знання про знак сигналу на першому інтервалі аналізу (знаку першого імпульсу).

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

Література

1. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море СОЛАС. С-Пб.: ЦНИИМФ, 2008. 984 с.
2. Беляевський Л.С. Глобальні супутникові системи навігації та зв'язку на транспорті. Навчальний посібник для ВУЗів транспортного профілю / [Беляевський Л.С., Ткаченко А.М., Левковець П.Р. та інші.]. – К.: В-во «Даж Бог», 2009. – 216 с.
3. В.І. Богомья, А.В. Горбань, М.А. Павленко, О.І. Тимошко, О.М. Тимошук. За заг. ред. О.М. Тимошук. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання. Київ. ДУІТ. 2018. 305 с.
4. Алексишин В.Г., Козыр Л.А., Симоненко С.В. Обеспечение навигационной безопасности плавания: учебное пособие. Одесса: Феникс. 2009. 518 с.
5. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. Одесса. Феникс, 2007. 367 с.

6. Баранов Г.Л. Р-моделирование сложных динамических систем / [Баранов Г.Л., Брайловский М.М., Засыдько А.А. та інші.]. – К.: ДУИКТ, 2008. – 131 с.
7. Mozeson E., Levanon N. (2003). Multicarrier radar signals with low peak-to-mean envelope power ratio. IEE Proc.-Radar Sonar Navig. Vol. 150, № 2. P. 71-77.
8. O'Neill C.R., Arena A.S.Jr. (2005). Time-domain training signals comparison for computational fluid dynamics based aerodynamic identification. Journal of Aircraft. Vol. 42, № 2. P. 421-428.
9. Recio A., Rhode W.S. (2000). Basilar membrane responses to broadband stimuli. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 108, № 5. – P. 2281-2298.
10. Даки О.А. Автоматичні прилади контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту. Новітні технології: збірник наукових праць. 2019. Вип. 1 (8). С. 95-104. DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.12.
11. Даки О.А. Розробка автомата контролю лінійних і нелінійних систем управління та навігації засобів водного транспорту / О.А. Даки, Ф.О. Кривошей, С.Л. Панов // Наукоємні технології. – 2018. – №4(40). – С. 458-463. – DOI: 10.18372/2310-5461.40.13272.
12. Измерительные информационные системы. Под общей ред. Н.А. Рубичева. М.: Дрофа, 2010. 334 с.
13. Доронин В.В. Радионавигационные приборы и системы / В.В. Доронин В.В. – К.: КГАВТ, 2006. – 472 с.
14. Богомья В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В. (2012). Навігаційне забезпечення управління рухом суден. К.:ДВВП «Компас». 336 с.
15. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс / А.Э. Фридман. – С.Пб.: НПО «Профессионал», 2008. – 284 с.

References

1. International Convention for the Safety of Life at Sea SOLAS. С-Пб.: ЦНИИМФ, 2008. 984 с.
2. Belyaevsky L. Global satellite navigation and communication systems for transport. Educational manual for universities of transport profile / [Belyaevsky LS, Tkachenko AM, Levkovets PP and other.]. – K.: In "Dazh God", 2009 - 216 p.
3. VI Bogomya, AV Gorban, MA Pavlenko, OI Timochko, O.M. Tymoshchuk Per unit ed. O.M. Tymoshchuk. Features of a systematic approach to solving scientific problems of the operation of marine equipment. Kiev. DUIT 2018. 305 p.
4. Aleksyshyn VG, Kozyr L.A., Simonenko SV Providing navigational navigation safety: a manual. Odessa: Phoenix. 2009. 518 p.
5. Vagushchenko L.L., Tsymbal H.H. Systems for automatic control of vessel movement. Odessa Phoenix, 2007. 367 p.
6. Baranov G.L. P-modeling of complex dynamical systems / [Baranov GL, Brailovsky MM, Zasyadko AA those others.]. – K.: DUKT, 2008. - 131 p.
7. Mozeson E., Levanon N. (2003). Multicarrier radar signals with low peak-to-mean envelope power ratio. IEE Proc.-Radar Sonar Navig. Vol. 150, № 2. P. 71-77.
8. O'Neill C.R., Arena A.S.Jr. (2005). Time-domain training signals comparison for calculating fluid dynamics based aerodynamic identification. Journal of Aircraft. Vol. 42, No. 2. P. 421-428.
9. Recio A., Rhode W.S. (2000). Basilar membrane responses to broadband stimuli. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 108, No. 5. - P. 2281-2298.

10. Daki O.A. Automatic devices for controlling the parameters of navigation and navigation systems for water transport. Newest technologies: a collection of scientific works. 2019. Vip. 1 (8). Pp. 95-104. DOI: 10.31180 / 2524-0102 / 2019.1.08.12.
11. Doronin VV Development of automatic control of linear and nonlinear systems of navigation and navigation of water transport vehicles / O.A. Daki, FO Krivoshey, SL Panov // Knowledge technologies. - 2018 - No. 4 (40). - P. 458-463. - DOI: 10.18372 / 2310-5461.40.13272.
12. Measuring information systems. Under the general ed. ON. Rubicheva M. : Drofa, 2010. 334 p.
13. Doronin VV Radio navigation equipment and systems / VV Doronin VV - To: KGAVT, 2006. - 472 p.
14. Bogomya V.I., Davydov VS, Doronin V.V., Pashkov D.P., Tikhonov I.V. (2012). Navigation support for controlling the movement of ships. K.: DVVP "Compass". 336 s.
15. Friedman AE Fundamentals of Metrology. Modern course / AE Friedman - S.Pb. : NGO "Professional", 2008. - 284 p.

Тимошук Е.Н., Дакі Е.А. Метод синтеза измерительных сигналов с любым количеством точек переключения

В статье обозначено противоречие, которое существует в практике контроля технического состояния сложных систем. Обеспечение заданной достоверности информации о техническом состоянии радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта требует увеличения объема и точности измерений при оценке их характеристик с одной стороны. С другой стороны наблюдается отсутствие методов автоматизации процессов синтеза измерительных сигналов и обработки откликов на них для этого.

Реализация традиционного подхода к измерению характеристик амплитудно-частотного спектра динамических объектов, требует значительной трудоемкости измерений. Избежать данного недостатка можно за счет использования измерительных сигналов. Постановка задачи получения оптимальных параметров измерительных сигналов предусматривает определение конкретных критериев синтеза.

Предлагается разработка оптимального метода синтеза измерительных сигналов с нужным спектром и проведения экспериментальной проверки полученных теоретических результатов и разработка рекомендации по их внедрению для автоматизированного контроля технического состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта.

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

Tymoshchuk O.M., Daki O.A. Method of synthesis of the measurement signal with any quantity of the circumference point

The article presents the contradiction that exists in the practice of controlling the technical condition of complex systems. Provision of the given reliability of the information on the technical state of the radionavigation complexes of the traffic control of water transport means requires an increase in the scope and accuracy of measurements when evaluating their characteristics on the one hand. On the other hand, there is a lack of methods for automating the synthesis of measurement signals and processing responses to them for this.

Implementation of the traditional approach to measuring the characteristics of the amplitude-frequency spectrum of dynamic objects, requires a considerable complexity of measurements. Avoid this disadvantage due to the use of measuring signals. The statement of the problem of obtaining optimal parameters of measuring signals involves the definition of specific synthesis criteria.

It is proposed to develop an optimal method for synthesizing measuring signals with the required spectrum and conduct an experimental verification of the theoretical results and develop recommendations for their implementation for the automated control of the technical state of the radionavigation complexes for controlling the movement of water transport vehicles.

Key words: operation, radionavigation complexes, traffic control, means of water transport, methods, measuring signals, automation of control.

Тимошук О.М. – д.т.н., доцент, директор інституту, Київський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, вулиця Кирилівська, 9, Київ, 02000, E-mail: mnielena7@gmail.com

Дакі О.А. – кандидат філологічних наук, доцент, декан факультету, Дунайський факультет морського і річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, 68606, г. Ізмаїл, вул. Іванівська, 44, E-mail: df_duit@ukr.net.

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

Стаття подана .05.04.2019

УДК 629.463

ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ВАГОНІВ ПІД ЧАС ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ

Федосов-Ніконов Д.В., Стринжа А.М., Шамшей Д.О.,
Полулях В.М., Федоров В.В., Шушмарченко В.О.

THE STUDY OF CORROSION DAMAGE TO CAR COMPONENTS DURING TECHNICAL DIAGNOSTICS

Fedosov-Nikonov D.V., Strynzha A.A., Shamshei D.A.,
Poluliakh V.N., Fedorov V.V., Shushmarchenko V.A.

У статті розглянуто питання щодо дослідження корозійних пошкоджень елементів конструкції напіввагонів, впливу вантажів, що перевозяться у вагонах, на швидкість корозійних процесів. Визначено середню швидкість корозійних процесів конструкційних елементів напіввагонів. Розглянуто питання щодо захисту від корозії елементів конструкції в залежності від товщини захисного покриття.

Ключові слова: вантажні вагони, міцність елементів, корозія, напруження.

Вступ. Останні роки в Україні актуальна проблема дефіциту вантажних вагонів. Ця проблема виникла у зв'язку зі зношеністю та застарілістю рухомого складу. Складна економічна ситуація не дозволяє оновити парк вантажних вагонів та на 100 % задовольнити потреби перевізників вантажів. Парк вантажних вагонів потребує оновлення фактично більше 80 % рухомого складу. В такій ситуації власники вагонів та АТ «Укрзалізниця», за допомогою наукових та спеціалізованих підприємств, проводять технічне діагностування стану вантажних вагонів для продовження строку їх експлуатації. Продовжують строк експлуатації тим вагонам, стан яких після проведення необхідних ремонтів дозволяє експлуатувати їх ще деякий час. Такі вагони, за рідкісним винятком, мають значні корозійні пошкодження як несучих елементів рами, так і елементів кузова. Виникає питання щодо безпеки експлуатації таких вагонів та їх захисту від подальшого розповсюдження корозії. Тому дане питання є актуальним та своєчасним.

Мета статті. Впливу агресивних середовищ на несучу здатність елементів різних промислових конструкцій присвячено безліч робіт. У цих роботах описані різні підходи щодо оцінки впливу корозійно-активних середовищ на конструкційні матеріали. Однак методики, що використовуються при дослі-

дженні будівельних, суднових та інших розрахунків не враховують специфіку і умови роботи рухомого складу. Дослідження навантаження конструкції вагона з корозійними пошкодженнями відноситься до складних завдань, що вимагають побудови розрахункових моделей та опису поведінки конструктивних елементів, які мають корозійні пошкодження в поєднанні з високими ударними і циклічними навантаженнями протягом усього життєвого циклу вагона.

Питання захисту рухомого складу від корозії та проблеми впливу корозійних пошкоджень на напружено-деформований стан (міцність) вагонів почали інтенсивно досліджувати на початку 80 років, а перші дослідження датуються ще 60 роками. Дані питання розглянуті в роботах Смольянинова О.В. [1], Бачурина М.С. [1], Лапшина В.Ф. [1-2, 7], Конохова О.Д. [3-6], Вербищука Г.Я. [8-9], Зайнуллина Р.С. [10], Котуранова В.Н. [11], Мироненко Е.И. [11], а також закордонних вчених Л.В. Хока [11, 12], Д. Армстронга [13], Г.Г. Ули [14], Р.У. Реві [14].

На даний час проблема впливу корозійних пошкоджень на напружено-деформований стан (міцність) вагонів неодноразово розглядалася як в Україні, так і в країнах СНД. Роботи проводилися в Білоруському державному університеті транспорту (БелДУТ), Державному підприємстві "Український науково-дослідний інститут вагонобудування" (ДП «УкрНДІВ»), Петербурзькому державному університеті шляхів сполучення (ПДУШС) та інших науково-дослідних та спеціалізованих закладах.

У статті розглянуто питання оцінки напружено-деформованого стану елементів конструкції вагонів які мають корозійні пошкодження та можливості конструкції витримувати навантаження, з урахуванням зменшення товщини металу несучих елементів, відповідно до вимог "Норм" [15]. Проведений аналіз антикорозійного покриття для захисту металу та ре-

зультати його використання. За результатами проведених досліджень отримані практичні рекомендації щодо підвищення строку експлуатації вагонів та скорочення експлуатаційних витрат на ремонт.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Багато років ДП «УкрНДІВ» проводить роботи по діагностуванню технічного стану вантажних вагонів. За ці роки був накопичений великий обсяг інформації щодо корозійного пошкодження конструкцій вантажних вагонів. Аналіз отриманої інформації дозволяє визначати елементи конструкції, які найбільш схильні до корозії, прогнозувати розвиток пошкоджень, досліджувати ступінь корозії елементів конструкції в залежності від роду вантажу, який перевозять та стану антикорозійного покриття. Також за допомогою аналізу є можливість виявляти типи та моделі вагонів різних років виготовлення, які в залежності від застосованих при виробництві марок сталей мають найбільші корозійні пошкодження.

Для обстеження вагонів були розроблені програми та методики проведення технічного діагностування: вагонів-цистерн [16], вагонів хопер-дозаторів [17], вагонів-хоперів критих для зерна [18], вагонів-хоперів критих для мінеральних добрив [19], напіввагонів [20], платформ та інших типів вагонів. Аналіз результатів технічного діагностування вагонів показав, що найбільшу кількість корозійних пошкоджень мають напіввагони. За даними АТ «Укрзалізниця» встановлено, що після 7-8 років експлуатації кожен напіввагон в середньому 7-10 разів на рік надходить в ремонт. Пошкодження вказують на те, що значна частка відмов кузовів напіввагонів пов'язана з інтенсивними корозійними процесами, викликаними впливом вантажу, що перевозиться. За даними власників напіввагонів, які використовуються для перевезення корозійно-активних вантажів, вже через 2-3 роки експлуатації напіввагони мають тріщини корозійно-втомного характеру в нижній зоні кузова. Найбільша кількість пошкоджень в експлуатації доводиться на вузли з'єднання елементів рами і стійок бокових стін (рис. 1).



Рис. 1. Характерні пошкодження у вузлах з'єднання елементів рами і стійок бокових стін

Згідно з результатами технічного діагностування напіввагонів, термін експлуатації яких вичерпаний, мають наступний розподіл кількості несправностей по кузову:

- тріщини в вузлах з'єднання стійок бокових стін, зона приварювання до нижньої обв'язки;
- корозія вертикального листа шворневої балки в місці з'єднання з хребтовою;
- тріщини верхнього листа кінцевої балки, зона приварювання до двотаврів хребтової балки;
- тріщини (обриви) верхньої обв'язки, в зоні кутової стійки;
- тріщини в листі кутової стійки, в зоні приварювання до нижньої обв'язки;
- розрив зварного шва між листами обшиви, по торцевій стіні;
- наскрізна корозія двотавра хребтової балки по всій довжині.

Дослідження впливу корозійного середовища на рухомий склад був досконало розглянутий у роботах А.Д. Конюхова [2-3], де показано, що наявність дефектів корозійного характеру є вагомим чинником, який треба враховувати при оцінці міцності елементів конструкції вагонів. З часом, в елементах конструкції, пошкоджених корозією, відбуваються процеси перерозподілу локальних напружень. Це призводить як до послідовного зростання рівня напружень в елементах конструкції і зварних швах, так і до виникнення тимчасових зон локальної концентрації зі збільшенням рівня локальних напружень в 2-3 рази. Зростання напружень досягає величин, що значно перевищують межу текучості металу.

Згідно з вимогами «Норм...» [15], повинна виконуватися умова:

$$\sigma_{\text{експ}} \leq [\sigma], \text{ де}$$

$\sigma_{\text{експ}}$ – сумарні напруження, що виникають в елементах конструкції вагона при експлуатації, МПа;

$[\sigma]$ – допустимі напруження в елементах вагона згідно «Норм...» [15].

Основні марки сталі, що застосовуються в даний час для виготовлення кузовів і рам вагонів це: 09Г2, 09Г2Д, 09Г2С, 09Г2Ф і 10ХНДП. У цих сталей не має підвищених антикорозійних властивостей [21] і тому вони вимагають захисту від корозії. Клас міцності застосованих сталей, в залежності від товщини металу, складає 295 – 390 МПа. Локальні напруження, які виникають в пошкоджених корозією елементах конструкції, складають від 200 до 600 МПа. Виникають залишкові деформації та з часом, при дії циклічних навантажень, відбувається руйнування з'єднання елементів.

Використовуючи результати аналізу корозійного пошкодження елементів конструкції вагонів, отримані при проведенні технічного діагностування, можна на стадії проектування підсилити перераховані вище елементи конструкції.

Також, за результатами проведеного аналізу умов експлуатації напіввагонів виявлено, що швидкість корозійного зношування елементів конструкції напіввагонів під час перевезення корозійно-активних вантажів в 1,3-2,5 рази вище, ніж при загальномережевій експлуатації напіввагонів. Значення швидкості корозійного зношування елементів конструкції склали: вертикального листа шкворневої балки в місці з'єднання з хребтовою - 0,36 мм/рік, опорної полки стійок бічної стіни - до 0,49 мм/рік, середня полка профілю стійки - 0,25 мм/рік, вертикальні листи проміжних балок - 0,35 мм / рік, горизонтального листа проміжних балок - 0,25 мм/рік, нижньої обв'язки бічної стіни - 0,24 мм/рік.



Рис. 2. Залишки вантажу на несучих елементах конструкції напіввагона

Характерно, що в місцях, де є залишки агресивно-активного вантажу (рисунок 2), швидкість корозійного зношування елементів конструкції мають тенденцію к значному збільшенню, а у сукупності з впливом підвищеної вологості та атмосферними опадами збільшується кратно.

При такої швидкості корозійного зношування елементів конструкції напіввагонів виникає питання надійного захисту від корозії. В роботах [22-23] приведені приклади захисту від корозії рухомого складу та вантажних вагонів окремо. Проведені науково-дослідними організаціями випробування вагонів з товщиною захисних покриттів від 100 до 300 мкм, з метою оцінки впливу експлуатаційних факторів на стійкість покриттів і вибір їх параметрів, показали наступні результати.

На вагонах з товщиною захисних покриттів 100 - 149 мкм, вже після 6 місяців експлуатації, спостерігалися численні виступи продуктів корозії металу через плівку покриття та її спучування. У вагонів із захисним покриттям, з товщиною від 200 до 250 мкм, спостерігався найкращий результат. Подальше збільшення товщини покриттів до 300 - 400 мкм, призводить до зниження в експлуатації міцності зчеплення покриття з металом, численним відшаруванням і відколам при ударних навантаженнях. Захисне покриття з товщиною від 200 до 250 мкм забезпечує надійний захист кузовів вагонів протягом 5,5 - 6 років за умовами його правильного нанесення. Товщинна залишкового захисного покриття на напіввагонах, визначена при проведенні технічного діагностування, складає

приблизно 200 мкм, що підтверджує результати досліджень.

Висновки. На підставі аналізу результатів теоретичних та експериментальних досліджень встановлено:

- перші ознаки корозії проявляються у нових напіввагонів після 7-8 років експлуатації, кількість надходжень їх в ремонт становить 7-10 разів на рік;
- напіввагони, які використовуються для перевезення корозійно-активних вантажів, мають тріщини корозійного характеру вже через 2-3 роки експлуатації та швидкість корозійного зношування елементів конструкції в 1,3-2,5 рази вище, ніж при загальномережевій експлуатації;
- визначена середня швидкість корозії;
- дослідженням підтверджено що захисне покриття з товщиною від 200 до 250 мкм забезпечує максимально довший захист кузовів вагонів.

Л і т е р а т у р а

1. Смольянинов А.В., Бачурин Н.С., Лапшин В.Ф., Буткин М.Г. Коррозия элементов вагонов при перевозке минеральных удобрений // Ж.-д. Трансп. Сер. Вагоны и вагонное хозяйство. Ремонт вагонов. ОИ / ЦНИИТЭИ МПС, 1999.-Вып. 1.-С. 1 -29.
2. Бачурин Н.С., Лапшин В.Ф. К вопросу о коррозии вагонов для перевозки минеральных удобрений // Железнодорожный транспорт сегодня и завтра: Материалы юбилейной научно-технической конференции. Часть 2. Екатеринбург, 1999. - С. 21 - 38.
3. Конюхов А.Д. Коррозия и надежность железнодорожной техники // Железнодорожный транспорт, 1997. № 1. - С. 42 - 47.
4. Конюхов А.Д. Предупреждение коррозионных повреждений вагонов // Железнодорожный транспорт, 1979. -№ 4.-С.58-61.
5. Конюхов А.Д. Снижение надежности технических средств в результате коррозии // Методы защиты от коррозии подвижного состава и металлоконструкций железнодорожного транспорта: Сб. науч. трудов ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1988. - С. 5 - 19.
6. Методы защиты от коррозии подвижного состава и металлоконструкций железнодорожного транспорта / Под. ред. А.Н. Буше, А.Д. Конюхова — М: Транспорт, 1988. -136 с.
7. Лапшин В.Ф., Жулин С.Л., Каменских И.В. Опыт противокоррозионной защиты вагонов для перевозки минеральных удобрений // Новые материалы и технологии в машиностроении: Сб. науч. трудов. Брянск: Изд-во БГИТА, 2002.-Вып. 1.-С. 56-61.
8. Вербишук Г.Я. Подбор антикоррозионных лакокрасочных материалов для железнодорожного транспорта: Тезисы докладов международной научно-практической конференции. Гомель: БелГУТ, 2000. - С. 202.
9. Вербишук Г.Я. Повышение надежности подвижного состава за счет создания антикоррозионных лакокрасочных покрытий // Проблемы безопасности на транспорте: Тезисы докладов международной научно-практической конференции. Гомель: БелГУТ, 2000. - С. 201 - 202.

10. Зайнуллин Р.С. К методике коррозионных испытаний металла при двухосном напряженном состоянии / Ред. журнала ФХММ. Львов, 1983. — 10 с. Деп. в ВИНТИ 02.02.83, № 695.
11. Котуранов В.Н., Мироненко Е.И., Смазанов С.И., Ле Ван Хок. Динамические напряжения в хребтовой балке полувагона при продольном соударении с учетом коррозии стержневых элементов. М.: МИИТ, 1991. - 15 с. - Деп. В ЦНИИТЭИ МПС.
12. Ле Ван Хок. Напряженное состояние кузовов полувагонов железных дорог СРВ с учетом влияния коррозионных износных их элементов — Дисс.канд. техн. наук. — М: МИИТ, 1991.- 128 с.
13. Армстронг Д. Защитные покрытия для грузовых вагонов // Железные дороги мира, 1988. № 10. - С. 19 - 22.
14. Ули Г.Г., Реве Р.У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику / Под ред. М.А. Сухотина. Пер. с англ. JL: Химия, 1985. -456 с.
15. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ГосНИИВ-ВНИИЖТ - М., 1996 г.
16. Программа-методика обследования технического состояния вагонов-цистерн, используемых для перевозки агрессивных грузов, на коррозионные повреждения (16КО. 635. 02 ПМ). Екатеринбург: УрГАПС, 1999. - 13 с.
17. «Вагоны хоппер-дозаторы. Программа и методика технического диагностирования (обследование технического состояния и контрольные испытания)» ПМ 08.168-2014 зі зміною № 1, ДП «УкрНДІВ», 2014,
18. «Вагоны-хопперы крытые для зерна. Программа и методика технического диагностирования (обследование технического состояния и контрольные испытания)» ПМ 08.171-2014 зі зміною № 1, ДП «УкрНДІВ», 2014.....
19. «Вагоны-хопперы крытые для минеральных удобрений. Программа и методика технического диагностирования (обследование технического состояния и контрольные испытания)» ПМ 08.174-2014 зі зміною № 1, ДП «УкрНДІВ», 2014.
20. «Полувагоны. Программа и методика технического диагностирования (обследование технического состояния и контрольные испытания)» ПМ 08.169-2014 зі зміною № 1, ДП «УкрНДІВ», 2014.
21. Коррозионные свойства низколегированных строительных сталей марок 09Г2 / Отчет по лабораторным коррозионным испытаниям. Екатеринбург: УрГАПС, 1999.-17 с.
22. Защитное покрытие грузовых вагонов // Железные дороги мира, 1985. -№ 3. С. 71-72.
23. Системы покрытий для подвижного состава // Железные дороги мира, 1998. -№ 10.-С. 18-21.
4. Konyukhov A.D. Prevention of corrosion damage to wagons // Railway Transport, 1979. -№ 4. -P.58-61.
5. Konyukhov A.D. Reducing the reliability of technical equipment as a result of corrosion // Methods of corrosion protection of rolling stock and metal structures of railway transport: Coll. of scientific works VNIIZhT. M.: Transport, 1988. - P. 5 - 19.
6. Methods of corrosion protection of rolling stock and metal structures of railway transport / eds. A.N. Bouche, A.D. Konyukhova - M: Transport, 1988. -136 p.
7. Lapshin V.F., Zhulin S.L., Kamenskikh I.V. Experience of corrosion protection of cars for the transportation of mineral fertilizers // New materials and technologies in mechanical engineering: Coll.of scientific works. Bryansk: Publishing house BGITA, 2002.-Vol. 1.-P. 56-61.
8. Verbishchuk G.Ya. Selection of anticorrosive paintwork materials for railway transport: Abstracts from the international scientific-practical conference. Gomel: BelSUT, 2000. - 202 p.
9. Verbishchuk G.Ya. Improving the of rolling stock reliability by creation of anti-corrosion coatings // Problems of transport safety: Theses of reports of the international scientific-practical conference. Gomel: BelSUT, 2000. - 201 - 202 p.
10. Zainullin P.C. Concerning the corrosion test method of metal under biaxial stress state / Eds. FHMM magazine. Lviv, 1983. - 10 p. Dep. in VINITI 02.02.83, No. 695.
11. Koturanov V.N., Mironenko E.I., Smazanov S.I., Le Van Hawk. Dynamic stresses in the center sill of a gondola car under longitudinal impact, taking into account the corrosion of rod elements. M.: MIIT, 1991. - 15 p. - Dep. In TSNIITEI MPS.
12. Jle Van Hawk. The stress state of the gondola car bodywork of the NRW railways, taking into account the effect of the corrosive wear of their elements - Diss. tech. sciences. - M: MIIT, 1991.- 128 p.
13. Armstrong D. Protective coatings for freight cars // World Railways, 1988. No. 10. - p. 19 - 22.
14. Uli GG, Revie R.U. Corrosion and fight with it. Introduction to corrosion science and technology / Ed. M.A. Sukhotina. Trans.from Eng. JL: Chemistry, 1985. - 456 p.
15. Standards for calculating and designing railroad cars of 1520 mm MPS railways (not self-propelled). GosNIIV-VNIIZhT - M., 1996.
16. Program-methodology for the inspection of the technical condition of tank wagons used to transport corrosive goods for corrosion damage (16КО. 635. 02 ПМ). Yekaterinburg: UrGAPS, 1999. - 13 p.
17. "Hopper-dispensers cars. Program and methods of technical diagnostics (inspection of the technical condition and control tests) "PM 08.168-2014, with Amend.1, DP" UkrNDIV ", 2014.
18. "Covered hopper wagons for grain. Program and methods of technical diagnostics (inspection of the technical condition and control tests) "PM 08.171-2014, with Amend.1, DP" UkrNDIV ", 2014.
19. "Covered hopper wagons for mineral fertilizers. Program and methods of technical diagnostics (inspection of the technical condition and control tests) "PM 08.174-2014, with Amend. 1, DP" UkrNDIV ", 2014.
20. "Gondola car. Program and methods of technical diagnostics (inspection of the technical condition and control tests) "PM 08.169-2014, with the number 1, DP" UkrNDIV ", 2014,

References

1. Smolyaninov A.B., Bachurin N.S., Lapshin V.F., Butkin M.G. Corrosion of car components during transportation of mineral fertilizers // Railway Transport. Ser. Wagons and wagon economy. Car repair. OI / TsNIITEI MPS, 1999.-Vol. 1.-P. 1-29.
2. Bachurin N.S., Lapshin V.F. On the issue of corrosion of cars for the transportation of mineral fertilizers // Railway transport today and tomorrow: Materials of the anniversary scientific and technical conference. Part 2. Ekaterinburg, 1999. - P. 21 - 38.
3. Konyukhov A.D. Corrosion and reliability of railway equipment // Railway transport, 1997. № 1. - P. 42 - 47.

21. Corrosion properties of low-alloyed construction steels of grades 09Г2 / Report on laboratory corrosion tests. Ekaterinburg: UrGAPS, 1999.-17 p.
22. Protective coating of freight cars // Railways of the world, 1985. -№ 3. P. 71-72.
23. Beam systems for rolling stock // Railways of the world, 1998. -№ 10.- P. 18-21.

Федосов-Никонов Д.В., Стринжа А.Н., Шамшей Д.А., Полулях В.Н., Федоров В.В., Шушмарченко В.А., «Исследование коррозионных повреждений элементов вагонов при техническом диагностировании».

В статье рассмотрены вопросы исследования коррозионных повреждений элементов конструкции полувагонов, влияния грузов, перевозимых в вагонах, на скорость коррозионных процессов. Определены среднюю скорость коррозионных процессов конструктивных элементов полувагонов. Рассмотрен вопрос о защите от коррозии элементов конструкции в зависимости от толщины защитного покрытия.

Ключевые слова: грузовые вагоны, прочность элементов, коррозия, напряжение.

Fedosov-Nikonov D.V., Strynzh A.A., Shamshei D.A., Poluliakh V.N., Fedorov V.V., Shushmarchenko V.A., «The study of corrosion damage to car components during technical diagnostics».

The article focuses on key research on anticorrosion protection of freight wagons and effects of corrosion damage on the stress-strain state (strength) of wagons. This paper deals with the state of the freight rolling stock of JSC "Ukrzaliznytsia" and shows the results of research on corrosion damage to structural components of the open wagon, the effect of cargoes transported by wagons on corrosion rate. The nature and distribution of damages on the body of open wagons caused by corrosion are determined. The average speed of corrosion processes to structural elements of open wagons is calculated. Anticorrosion protection of structural elements depending on thickness of the protective coating and the specified duration of protective action of the anticorrosive coating,

depending on its thickness is considered. The paper presents the conclusions on corrosion protection of rolling stock and corrosion damage effect on the stress-strain state (strength) of wagons.

Key words: freight cars, components strength, corrosion, stresses.

Федосов-Никонов Дмитрий Вячеславович – к.т.н., старший научный сотрудник, Государственное предприятие «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», E-mail: dima.nikonov@outlook.com

Стринжа Андрій Миколайович – завідувач науково-дослідної лабораторії вантажного та спеціального рухомого складу, Государственное предприятие «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», E-mail: strijhaa@gmail.com

Шамшей Дмитрий Александрович – заступник завідувача науково-дослідної лабораторії вантажного та спеціального рухомого складу, Государственное предприятие «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», E-mail: shdmilo20@gmail.com

Полулях Віталій Миколайович – старший научный сотрудник науково-дослідної лабораторії вантажного та спеціального рухомого складу Государственное предприятие «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» E-mail: vitalet1977@gmail.com

Шушмарченко Василь Александрович – научный сотрудник науково-дослідної лабораторії вантажного та спеціального рухомого складу, Государственное предприятие «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», E-mail: vasylkremen77@gmail.com

Федоров Владимир Владимирович –научный сотрудник науково-дослідної лабораторії вантажного та спеціального рухомого складу, Государственное предприятие «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», E-mail: f.vladimir.ua@gmail.com

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

Статья подана 05.04.2019

УДК 629.463.001.63

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОЇ ПРАВКИ
БАЛКИ ХРЕБТОВОЇ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ-ПЛАТФОРМ****Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В., Шелест Д.А., Фоміна А.М.****MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF THERMAL EDITING
OF THE RACK OF RACKS CARGO WAGONS-PLATFORMS****Fomin O.V., Logvinenko O.A., Burlutskyi O.V., Shelest D.A., Fomina A.M.**

Виділено роль залізничного транспорту в транспортній системі України. Відмічено, що одним із ключових моментів забезпечення високого рівня продуктивності роботи залізниць є застосування більш економічних технологій виробництва та ремонту вантажних вагонів. Зазначена актуальність використання методу термічної правки для усунення експлуатаційних деформацій хребтової балки вагонів-платформ. Наведені 3D моделі балки хребтової, які було побудовано в програмному комплексі SolidWorks. Представлений математичний план досліджень та отримана відповідна математична модель. Наведені результати моделювання процесу термічної правки балки хребтової, яке було проведено за допомогою спеціалізованого модуля Cosmos що входить до складу програмного комплексу SolidWorks.

Ключові слова: залізничний транспорт, вагон-платформа, балка хребтова, експлуатаційні деформації, термічна правка, математична модель, 3D моделювання.

Вступ. Особлива роль в транспортній системі України відводиться залізничному транспорту, який є однією з важливих базових галузей економіки країни та забезпечує її внутрішні та зовнішні транспортно-економічні зв'язки і потреби населення у перевезеннях. Діяльність залізничного транспорту як частини єдиної транспортної системи країни сприяє нормальному функціонуванню всіх галузей суспільного виробництва, соціальному і економічному розвитку та зміцненню обороноздатності держави, міжнародному співробітництву України. Він поєднує у собі важливі техніко-економічні показники: регулярність руху і високу швидкість перевезень, велику пропускну і провізну спроможність [1 - 3].

Постановка проблеми. Збереження провідного місця залізниць при перевезеннях вантажів вимагає постійного поліпшення ефективності їх функціонування. Одним із ключових моментів забезпечення високого рівня продуктивності роботи залізниць є застосування більш економічних технологій виробництва та ремонту вантажних вагонів [3,4 - 6]. Це пов'язано з тим, що найбільший відсоток усіх пере-

везень, які здійснюються залізничним транспортом, припадає на вантажні перевезення. Тому особливої уваги заслуговують питання щодо підтримки існуючого вантажного вагонного парку в належному працездатному стані [7 - 9]. Вказане можливо досягнути за рахунок створення нових або модернізації існуючих вантажних вагонів. Отже особливої актуальності заслуговують питання стосовно підвищення технічного рівня вантажних вагонів за рахунок застосування нетрадиційних матеріалів з більш високими стійкими характеристиками, нових методів зварювання, а також прогресивних технологічних процесів, як при їх виготовленні так і експлуатації [10 - 14].

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що на етапах життєвого циклу вантажних вагонів (при виготовленні, ремонтах та експлуатації) їх конструкції є недосконалими та зазнають різних видів деформацій [15 - 17].

Пошук шляхів протидії виникненню деформацій конструкцій вантажних вагонів (зокрема і вагонів-платформ, які забезпечують перевезення великотоннажних вантажів, а також вантажів що мають велику довжину і не потребують укриття та захисту від дії атмосферного середовища) та ефективного їх виправлення є важливою науково-прикладною проблемою. Сказане обґрунтовується прямим зв'язком зменшення деформацій вагонних конструкцій з підвищенням рівня безпеки руху та збереження вантажів при транспортуванні [18]. Тому цим питанням приділяється особлива увага як в науковій діяльності так і при практичній реалізації її результатів. Відповідно постійно проводяться науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи скеровані на удосконалення методів виправлення деформацій елементів одиниць рухомого складу за рахунок впровадження різних технологічних підходів та технічних рішень.

Як показав проведений авторами аналіз експлуатаційних пошкоджень несучих елементів вагонів-

платформ основними з них є експлуатаційні деформації хребтових балок, які виникають внаслідок перевищення допустимих навантажень з боку вантажів, що перевозяться. На даний час традиційним способом усунення зазначених деформацій є холодна правка, яка полягає в пластичному деформуванні деталей в холодному стані та вимагає великих зовнішніх зусиль. Але однією з найбільш раціональних та економічно-доцільних з точки зору стабілізації форм елементів конструкції вагонів 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 виникаючих прогинів. 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 металоконструкцію, яка має складну конфігурацію та габарити (наприклад хребтову балку вагону-платформи).

Метою статті є викладення результатів, щодо математичного моделювання процесу термічної правки балки хребтової вантажних вагонів-платформ.

Викладення основного матеріалу. Проведені авторами пошукові наукові дослідження в напрямку вибору найбільш економічного та ефективного методу стабілізації форм каркасних елементів вантажних вагонів та отримані при цьому результати, підтвердили доцільність застосування термічної правки для виправлення прогинів, що виникають в процесі виготовлення та експлуатації вагонів, зокрема вагонів-платформ. Щоб дослідити процеси які відбуваються при експлуатації каркасних елементів вагонів-платформ авторами було побудовано в програмному комплексі SolidWorks 3D модель балки хребтової (рис. 1). В ході експлуатації вагонів-платформ внаслідок перевищення допустимих навантажень на хребтову балку з боку вантажів, що перевозяться, на ній фіксується викривлення осової осі (тобто з'являється експлуатаційний прогин Δy) (див. рис. 2).

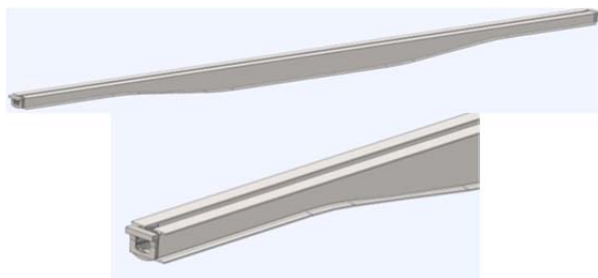


Рис. 1. Балка хребтова

На рис. 4 та рис. 5 в якості прикладу наведені математичний план дослідження (з визначеними коефіцієнтами відповідних макромоделей) для нормованих та дійсних параметрів, який було отримано з

використанням методу математичного планування експерименту, а також допоміжний графік з нанесеними на ньому ізолініями відповідних значень прогинів.

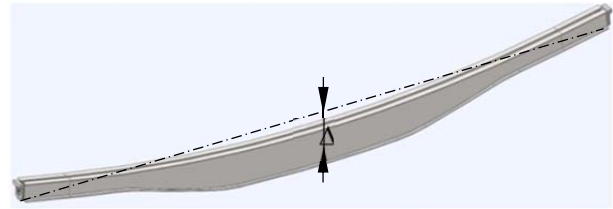


Рис. 2. Балка хребтова з експлуатаційною деформацією

Виконані авторами дослідження показали, що для усунення прогинів балки хребтової (які виникають в процесі її експлуатації) доцільно використовувати поперечне скорочення металу, а в якості форми плям нагріву обрати «клин».

На рис. 3 представлені результати моделювання процесу термічної правки балки хребтової яке було проведено за допомогою спеціалізованого модуля Cosmos що входить до складу програмного комплексу SolidWorks. Як видно з рисунку використання процедури термічної правки дозволяє усунути прогини, які виникають в процесі експлуатації. В свою чергу основною складністю використання вищезначеного методу правки є обґрунтований вибір оптимальних розмірів плям та режимів нагрівання. Для їх визначення авторами було проведено математичне моделювання процесу термічної правки балки хребтової та розроблені відповідні математичні моделі.

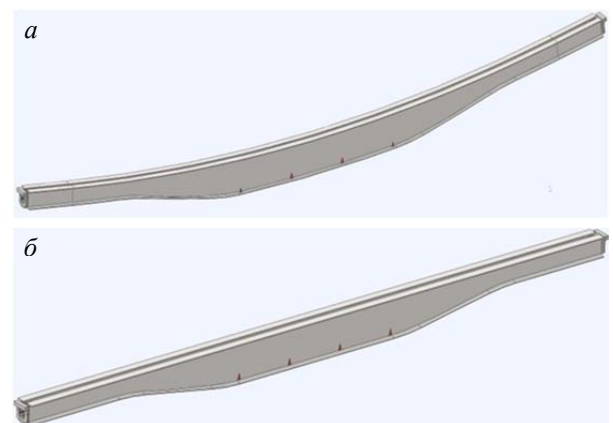


Рис. 3. Балка хребтова до процедури термічної правки (а) та після (б)

Також нижче наведена розроблена авторами трифакторна узагальнена математична модель (представлена у вигляді поліному другого ступеня та отримана з використанням методу математичного планування експерименту), яка описує зміну основного показника (прогину Δy балки хребтової) в залежності від варіювання керованих змінних (геомет-

- «Укрспецвагон» // 36. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ. – 2008. – С. 72-81.
4. Ловська А.О. Моделювання навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі / А. О. Ловська // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – 2018. – Вип. 33. – С. 28 – 32.
 5. Ловська А.О. Дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі / А. О. Ловська // 36. наук. праць. Київ: ДУІТ. – 2018. – Вип. 32, Т. 1. – С. 71 – 80.
 6. Gevorkyan E., Lavrynenko S., Rucki M., Siemiatkowski Z., Kisliitsa M. Ceramic cutting tools out of nanostructured refractory compounds. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 2017. Vol. 68. P. 142–144.
 7. Research on the safety factor against derailment of railway vehicles / S. Sapronova, V. Tkachenko, O. Fomin, V. Gatchenko, S. Maliuk // *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 6, Issue 7 (90). P. 19-25.
 8. High speed stability of a railway vehicle equipped with independently rotating wheels / O. Kyryl'chuk, J. Kalivoda, L. Neduzha // *Proc. of 24th Intern. Conf. «Engineering Mechanics 2018»*. – P. 473-476.
 9. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., Kyryl'chuk, O. Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. *Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf.*, 2017, P. 973-976.
 10. Фомін О.В. Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів / О.В. Фомін // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – Харків. – 26/2012. – С.29-33.
 11. O. Fomin, I. Kulbovskiy, E. Sorochinska, S. Sapronova, O. Bambura, Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, 1 (89), 11-19, (2017).
 12. 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. – Северодонецьк: СХУ ім. В.Даля, 2017. – № 5(235) – С. 88-99.
 13. Фомін О.В. Варіаційне описання конструкції виконання вантажних вагонів [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gostra // *Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies."* - Kyiv: DETUT, 2015. - Vyp.26-27. - S.137-147.
 14. Мороз В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоємності. // 36. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – С. 121 – 131.
 15. Fomin A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building / A. V. Fomin // *East European journal of advanced technologies*. – Kharkiv. – № 3/7(57), 2012. – 32-35 p.
 16. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів / О.В. Фомін // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». – Кременчук: КДПУ, 2013. - Вип. 6(83). – С. 87-91.
 17. Фомін О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності / О.В. Фомін // Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 4/1(24) – С. 83-89.
 18. Fomin O.V., Lovska A.O., Plakhtii O.A., Nerubatskyi V. P. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties // *Scientific Bulletin of National Mining University*, 6, 89 – 96. (2017).

References

1. Kelrikh M.B., Moroz V.I. Structural-functional description of the body module design of modern universal on-semi-cars // *Bulletin of the East-Ukrainian National University named after. V. Dahl - Lugansk: SNU them. V. Dahl* - 2014. - No. 2. - P. 210.
2. Makarenko M. V. Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola // *Naukovo-praktychnyizhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy»*. – Kyiv: DNDTs UZ. – 2014. – №. 5. – С. 107.
3. Moroz V.I. Determination of promising directions for the construction of gondola wagons produced by SE "Ukrspetsvagon" // *Sb. sciences works - Kharkiv: UkrDazt.* - 2008. - P. 72-81.
4. Lovs'ka A. O. Modeling of load-carrying capacity of container-tank-containers during transportation in a combined train on a railway ferry / A.O. Lovs'ka // *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Dynamics and durability of machines.* - 2018. - Vyp. 33. – P. 28-32.
5. Lovs'ka A.O. Investigation of the durability of the bearing structure of the gondola body during transportation on the railway ferry / A.O. Lovs'ka // *Sb. sciences works Kyiv: DUIT.* - 2018. – Vyp. 32, T. 1 - P. 71-80.
6. Gevorkyan E., Lavrynenko S., Rucki M., Siemiatkowski Z., Kisliitsa M. Ceramic cutting tools out of nanostructured refractory compounds. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 2017, №68, P. 142–144.
7. Sapronova S., Tkachenko V., Fomin O., Gatchenko V., Maliuk S. Research on the safety factor against derailment of railway vehicles. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2017, №6,7 (90), P. 19-25.
8. Kyryl'chuk O., Kalivoda J., Neduzha L. High speed stability of a railway vehicle equipped with independently rotating wheels. *Engineering Mechanics: Proc. of 24th Intern. Conf.*, 2018, P. 473-476.
9. Myamlin S., Lunys O., Neduzha L., Kyryl'chuk O. Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. *Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf.*, 2017, P. 973-976.
10. Fomin O.V. Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars / O.V. Fomin // *Bulletin of the National Technical University "KhPI".* - Kharkiv - 26/2012. - P. 29-33.
11. Fomin O., Kulbovsky I., Sorochinska E., Sapronova S., Bambura O. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, №5 (1 (89)), P. 11–18.
12. Fomin O.V. Improvement of the carrier capacity of the hopper car to transport the grain in order to increase re-

- sistance to dynamic effort / Fomin O.V., Prokopenko P.M., Gorbunov M.I. Sapronova S.Yu. // Scientific Journal - The Bulletin of the Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University. - Severodonetsk: SNU them. V. Dalya, 2017. - No. 5 (235) - P. 88-99.
13. Fomin, O.V. Variations describe the structural designs of freight cars / O.V. Fomin, A.V. Gostra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies." - Kyiv: DETUT, 2015. - Vyp.26-27. - P.137-147.
 14. Moroz V.I. Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capacity // Collection of scientific papers. Kharkiv. Ukrainian State University of Railway Transport. 2009. No 111, P. 121-131.
 15. Fomin A.V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building / A.V. Fomin // East European journal of advanced technologies. - Kharkiv. - № 3/7(57), 2012. - P. 32-35.
 16. Fomin O.V. Theoretical foundations of the software complex for the determination and use of mathematical models of freight wagons components / O.V. Fomin // Scientific journal "Bulletin of the Kremenchuk Mykhaylo Ostrogradsky National University". - Kremenchuk: KDPU, 2013. - Vip. 6 (83). - P. 87-91.
 17. Fomin O.V. Providing round pipes in unsupported systems and wagons on rational shows / O.V Fomin // Science journal - "Technological audit and production reserves". - Kharkiv, 2015. - № 4/1 (24) - P. 83-89.
 18. Fomin O.V., Lovska A.O., Plakhtii O.A., Nerubatskyi V.P. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties. Scientific Bulletin of National Mining University, 2017, № 6, P. 89 – 96.

Фомин А.В., Логвиненко А.А., Бурлуцкий А.В., Шелест Д.А., Фомина А.Н. Математическое моделирование процесса термической правки балки хребтовой грузовых вагонов-платформ.

Выделена роль железнодорожного транспорта в транспортной системе Украины. Обоснована актуальность повышения технического уровня грузовых вагонов за счет использования прогрессивных технологических процессов их изготовления и ремонта. Отмечена целесообразность использования метода термической правки для устранения эксплуатационных деформаций конструктивных элементов вагонов-платформ. Представлены 3D модели балки хребтовой вагона-платформы, построенный математический план исследований, полученная математическая модель, а также результаты моделирования процесса термической правки балки хребтовой

вагона-платформы, который проводился с использованием специализированного модуля Cosmos программного комплекса SolidWorks.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, вагон-платформа, балка хребтовая, эксплуатационные деформации, термическая правка, математическая модель, 3D моделирование.

Fomin O.V., Logvinenko O.A., Burlutskyi O.V., Shelest D.A. Fomina A.M. Mathematical modeling of the process of thermal editing of the rack of racks cargo wagons-platforms.

The role of railway transport in the transport system of Ukraine is highlighted. It was noted that one of the key points in ensuring a high level of productivity of railways is the use of the most cost-effective technologies for the production and repair of freight cars. In this regard, special attention is paid to the maintenance of the existing car fleet in proper working condition. The relevance of raising the technical level of freight cars through the use of advanced technological processes of their manufacture and repair is substantiated. The expediency of using the method of thermal dressing to eliminate the operational deformations of the structural elements of platform cars is noted. The 3D models of the ridge car platform wagon, the constructed research plan, the obtained model, and the simulation results of the thermal editing of the ridge car platform wagon, which was carried out using the specialized Cosmos module, are presented. SolidWorks.

Keywords: railway transport, platform car, spine beam, operational deformations, thermal straightening, mathematical model, 3D modeling.

Фомін Олексій Вікторович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри вагони та вагонне господарство, Державний університет інфраструктури та технологій, e-mail: fomin1985@list.ru.

Логвіненко Олександр Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механіки і проектування машин, Український державний університет залізничного транспорту, e-mail: dragondaewoo@gmail.com.

Бурлуцький Олексій Вікторович – завідувач навчальними лабораторіями кафедри механіки і проектування машин, Український державний університет залізничного транспорту, e-mail: leha200681@mail.ru.

Шелест Дмитро Андрійович – інженер-розробник ВО ОВЕН, м. Харків, e-mail: shelllogist@gmail.com.

Фомина Анна Миколаївна – аспірант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет ім. В.Даля, e-mail: anyta220885@gmail.com

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

Стаття подана 20.03.2019

УДК 629.463.65

**АНАЛІЗ РУЙНІВНИХ НАПРУЖЕНЬ НАДРЕСОРНОЇ БАЛКИ ВІЗКА
ВАНТАЖНОГО ВАГОНУ ТИПОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ (ЧАСТИНА 2)****Фомін О.В., Осьмак В.Є., Лебедєв В.С., Цимбалюк А.В.****ANALYSIS OF RELATED STRESSES OF THE NADRASON STEERING WIRE
OF VEHICLE WAGON OF THE TYPE CONSTRUCTION (PART 2)****Fomin O., Osmak V., Lebedev V., Tsymbaliuk A.**

У статті (частина 1 та частина 2) розглянуто питання щодо дослідження напруженого стану конструкцій дослідних зразків надресорної балки типової конструкції двовісного візка вантажних вагонів під час випробувальних навантажень. Визначення можливості збереження несучої здатності під час дії руйнівного навантаження та виконаний усереднений розрахунок напружень у симетричних точках однієї деталі, виконано перерахунок усереднених напружень від дослідних навантажень на напруження від розрахункових навантажень, визначені сумарні навантаження за розрахунковими режимами. Застосований метод дослідження теоретичного і експериментального характеру та статистичного аналізу.

Ключові слова: візок двовісний, балка надресорна, випробування статичні, міцність, випробувальні та руйнівні навантаження, розрахункові режими, напруження що допустимі, перерізи, розміри елементів конструкції.

Вступ. На сьогоднішній день велику увагу приділяється безпеці руху, яка в першу чергу залежить від стану ходових частин вагонів.

Постійне зростання осьових навантажень, швидкостей руху, інтенсифікації маневрових операцій збільшує навантаження, яке прикладається до деталей, що викликає потребу у вдосконаленні конструкції та технології виготовлення. Надресорна балка візка вантажного вагона є складною і відповідальною литою деталлю, від надійної роботи якої залежить безпека руху. Оцінка її напруженого стану повинна виконуватися з високою точністю, так як недостатня міцність надресорної балки створить загрозу безпеці руху поїздів, а зайва - збільшить масу цієї частини вагона, що призведе як до збільшення витрат на виробництво, так і до додаткового динамічного впливу на букси, колеса і рейкову колію.

Постановка проблеми. Безпека перевезень є пріоритетним напрямком діяльності залізниць. Створення нових та удосконалення вже існуючих конструкцій ходових частин вантажних вагонів є основним завданням наукових та виробничих підп-

приємств галузі. У теперішній час більшість вагонів вантажного рухомого складу країн СНД обладнана візками моделі 18-100 та їх аналогами. При цьому, як показують досвід експлуатації та чисельні дослідження, залишається актуальним питання зниження пошкоджуваності литих деталей візків вантажних вагонів. За результатами аналізу експлуатації було доведено, що надресорні балки мають низку експлуатаційних і конструктивних недоліків, найбільшу кількість яких бракують через тріщини і ливарні дефекти.

Чинна методика стендових випробувань на міцність дозволяє оцінити величину навантажень до втрати несучої здатності надресорної балки.

В умовах ринкового виробництва необхідно не тільки виготовляти продукцію високої якості, але й мати можливість випускати її з найменшими витратами при мінімальних строках проектування, випробувань та освоєння виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Стан конструкції візка безпосередньо впливає на безпеку руху по залізничним коліям та визначає придатність вагона до експлуатації в цілому. Комплексні роботи над елементами вантажних візків їх розрахунки на статичну і динамічну міцність проводяться у ДП «УкрНДІВ», ДНУЗТ, ДЕГУТ, УкрДУЗТ, ТОВ «ГСКБВ ім. В.М. Бубнова», Крюківському, Маріупольському вагонобудівних заводах, ПАТ «Кременчуцький сталеливарний завод», ТОВ «Спецвагон», та у ряді інших організацій [1-5, 8-12].

Великий внесок у розвиток цієї галузі внесли вітчизняні та зарубіжні вчені: Ю.П. Бороненко, А.С. Бітоцький, Є.П. Блохін, В.М. Бубнов, М.Ф. Веріго, С.В. Вершинський, А.В. Донченко, М.Б. Кельріх, В.В. Кобіщанов, В.А. Лазарян, С. В. Мямлін, М.М. Соколов, Ханін, М.І., Л.А. Шадур, Г. Шеффель, та ін.

Роботи таких вчених як В. Д. Данович, М. М. Соколов, Е. П. Блохін, С. В. Мямлін та ін. [7-8],

пов'язані з удосконаленням конструкції візків вантажних вагонів, в частині поліпшення динамічних характеристик вагонів за рахунок визначення раціональних параметрів ресорного підвішування.

Дослідженням динаміки рейкових екіпажів з метою оцінки можливості руху рейкових екіпажів з безпечними швидкостями присвячені праці В. А. Лазаряна, Л. А. Длугача, Г. І. Богомаза, Н. Ю. Науменко, О. М. Маркової [9-13] та ін.

Дослідженнями, спрямованими на вирішення проблеми зносу ходових частин візків, займалися такі вчені: М.Ф. Вериги, Є.П. Блохін, В.Ф. Ушкалов, В.С. Коссов, В.С. Лисюк, В.Д. Данович, В.М. Данилов, В.Д. Хусідов, Г. І. Петров, В.М. Белоусов. В результаті розробки заходів щодо збільшення ресурсу деталей, що труться, були розроблені і впроваджені різні модернізації візків вантажних вагонів.

Істотний внесок у розвиток методів розрахунку напружено-деформованого стану вніс Л.А. Шадур [6, 18].

Результати аналізу відповідних літературних джерел засвідчили необхідність оприлюднення належних даних випробувань напруженого стану надресорної балки для розгляду ефективності використання двовісних візків вантажного вагону.

Мета статті (частина 1 та частина 2). Дати оцінку відповідності дослідних зразків надресорної балки чинній нормативній документації щодо подальшого їх використання.

Об'єкт дослідження – дослідний зразок надресорної балки двовісного візка вантажного вагону.

Предмет дослідження – визначення і оцінка величини навантажень що діють на надресорну балку при статичних випробуваннях.

Основний зміст.

Обробка дослідних даних проводилася обмірюванням в місцях установки тензорезисторів відносні деформації - ϵ балки надресорної перераховувалися в напруження - σ , МПа за формулою

$$\sigma = E \cdot \epsilon, \quad (1)$$

де E - модуль пружності першого роду, для стали $E = 2,1 \cdot 10^5$, МПа;

ϵ - відносна деформація.

Отримані напруження від випробувальних навантажень осередненою за кожною схемою прикладання випробувальних навантажень по трьох зразках балки надресорної і по симетричним точкам однієї деталі. Осереднені напруження від випробувальних навантажень перераховувалися на напруження від розрахункових навантажень пропорційно співвідношенню величин розрахункового навантаження до випробувальної - $K = P_{\text{расч}} / P_{\text{исп}}$, після чого визначалися сумарні напруження від розрахункових навантажень при їх поєднаннях по I і III розрахунковим режимам - $\sigma_{\text{расч}}^{\Sigma I, III}$, МПа. Оцінка напружено-

го стану конструкції балки надресорної проводилася шляхом порівняння сумарних напружень по I і III розрахунковим режимам з допущеними напруженнями. При цьому, сумарні напруження по розрахунковим режимам не повинні перевищувати допустимих напружень, більш ніж на 3%.

$$\sigma_{\text{расч}}^{\Sigma I, III} \leq [\sigma]^{I, III}, \quad (2)$$

Першому режиму відповідає осаджування і зрушення з місця завантаженого вагону, зіткнення вагонів при маневрах, в тому числі під час розпуску з гірок, екстрене гальмування в поїздах при малих швидкостях руху. При цьому режимі розглядається три варіанти поєднання навантажень I-1, I-2, I-3.

При першому поєднанні розрахункових навантажень по I режиму (I-1) враховувалися напруження:

- від сили тяжіння кузова вагону брутто, що діє на підп'ятникові місце $P_{\text{СТ}} - \sigma P_{\text{СТ}}$, МПа; вертикальної добавки від дії поздовжньої сили інерції кузова $P_{\text{ІН}}^I - \sigma P_{\text{ІН}}^I$, МПа.

При другому поєднанні розрахункових навантажень по I режиму (I-2) враховувалися напруження:

- від сили тяжіння кузова вагону брутто, що діє на підп'ятникове місце

$P_{\text{СТ}} - \sigma P_{\text{СТ}}$, МПа; 50% вертикальної добавки від дії поздовжньої сили інерції кузова $0,5P_{\text{ІН}}^I - \sigma 0,5P_{\text{ІН}}^I$, МПа; поперечної складової поздовжньої квазістатической сили $H - \sigma H$, МПа; сили інерції візка, $P_{\text{Х}} - \sigma P_{\text{Х}}$, МПа

При третьому поєднанні розрахункових навантажень по I режиму (I-3) враховувалися напруження:

- від сили тяжіння кузова вагону брутто, що діє на підп'ятникове місце $P_{\text{СТ}} - \sigma P_{\text{СТ}}$, МПа; 50% вертикальної добавки від дії поздовжньої сили інерції кузова $0,5P_{\text{ІН}}^I - \sigma 0,5P_{\text{ІН}}^I$, МПа; сили взаємодії підп'ятника з кузовом вагону, що виникає при гальмуванні навантаженого вагону гіркова вагоноуповільнювачів $P_{\text{Х}} - \sigma P_{\text{Х}}$, МПа.

Третьому режиму відповідають випадки руху вагону в складі поїзда за прямими і кривих ділянках колії і стрілочних переводах з допустимою швидкістю, аж до конструкційної, при періодичних службових регулювальних гальмуваннях, періодичних поїздах ривках і поштовхах, при цьому режимі розглядається одне поєднання навантажень.

При поєднанні розрахункових навантажень по III режиму (III) враховувалися напруження:

- від сили тяжіння кузова вагону брутто, що діє на підп'ятникове місце $P_{\text{СТ}} - \sigma P_{\text{СТ}}$, МПа; вертикального динамічного навантаження, $P_{\text{ДІН}}^{III} - \sigma P_{\text{ДІН}}^{III}$, МПа; сили інерції візка $P_{\text{Х}} - \sigma P_{\text{Х}}$, МПа; відцентрової сили, що виникає при русі вагону в кривій $P_{\text{ЦБ}} - \sigma P_{\text{ЦБ}}$, МПа; вертикальної добавки від відцентрової сили $P_{\text{ЦБНБ}} - \sigma P_{\text{ЦБНБ}}$, МПа.

Таблиця 1

Розрахунковий режим	Комбінація навантажень	Навантаження, кН (напруження за розрахунковим режимом)	Навантаження, кН (напруження за випробувальною схемою)	Співвідношення розрахункових навантажень до випробувальних $P_{рр} / P_n$	Сумарні напруження від розрахункових напружень при їх комбінації за I і III розрахунковими режимами, $\sigma_{расч}^{\Sigma I-III}$, МПа	Напруження що допускаються, МПа
1	2	3	4	5	6	7
I-1	Сила тяжіння кузова вагона брутто, $P_{СТ}$	$P_{СТ} = 414,5$ ($\sigma P_{СТ}$)	$P_n = 920$ (σP_n^1)	$P_{СТ} / P_n = 414,5/920 = 0,451$	$\sigma_{расч}^{\Sigma I-1} = \sigma P_{СТ} + \sigma P_{ИН}^1 = 0,451 \cdot \sigma P_n^1 + 0,581 \cdot \sigma P_n^1$	[σ] = 250*
	Вертикальна добавка від дії повздовжньої сили інерції кузова, $P_{ИН}^1$	$P_{ИН}^1 = 534,6$ ($\sigma P_{ИН}^1$)	$P_n = 920$ (σP_n^1)	$P_{ИН}^1 / P_n = 534,6/920 = 0,581$		
I-2	Сила тяжіння кузова вагона брутто, $P_{СТ}$	$P_{СТ} = 414,5$ ($\sigma P_{СТ}$)	$P_n = 920$ (σP_n^1)	$P_{СТ} / P_n = 414,5/920 = 0,451$	$\sigma_{расч}^{\Sigma I-2} = \sigma P_{СТ} + \sigma 0,5 P_{ИН}^1 + \sigma H + \sigma P_X = 0,451 \cdot \sigma P_n^1 + 0,291 \cdot \sigma P_n^1 + \sigma H_n^5 + 0,513 \cdot \sigma P_n^4$	[σ] = 250*
	Половина вертикальної добавки від повздовжньої сили інерції, $0,5 P_{ИН}^1$	$0,5 P_{ИН}^1 = 268$ ($\sigma 0,5 P_{ИН}^1$)	$P_n = 920$ (σP_n^1)	$0,5 P_{ИН}^1 / P_n = 268/920 = 0,291$		
	Поперечна складова повздовжньої квазістатичної сили, H	$H = 291$ (σH)	$H = 291$ (σH_n^5)	$H / H = 291/291 = 1,0$		
	Сила інерції візка, P_X	$P_X = 177$ (σP_X)	$T = 345$ (σP_n^4)	$P_X / T = 177/345 = 0,513$		
I-3	Сила тяжіння кузова вагона брутто, $P_{СТ}$	$P_{СТ} = 414,5$ ($\sigma P_{СТ}$)	$P_n = 920$ (σP_n^1)	$P_{СТ} / P_n = 414,5/920 = 0,451$	$\sigma_{расч}^{\Sigma I-3} = \sigma P_{СТ} + \sigma 0,5 P_{ИН}^1 + \sigma P_X = 0,451 \cdot \sigma P_n^1 + 0,291 \cdot \sigma P_n^1 + 1,391 \cdot \sigma P_n^4$	[σ] = 250*
	Половина вертикальної добавки від повздовжньої сили інерції, $0,5 P_{ИН}^1$	$0,5 P_{ИН}^1 = 268$ ($\sigma 0,5 P_{ИН}^1$)	$P_n = 920$ (σP_n^1)	$0,5 P_{ИН}^1 / P_n = 268/920 = 0,291$		
	Сила взаємодії під'їзника з кузовом вагона, виникаюча при гальмуванні завантаженого вагона гірочним вагонсповільнювачем, P_X	$P_X = 480$ (σP_X)	$T = 345$ (σP_n^4)	$P_X / T = 480/345 = 1,391$		
III	Сила тяжіння кузова вагона брутто, $P_{СТ}$	$P_{СТ} = 414,5$ ($\sigma P_{СТ}$)	$P_n = 920$ (σP_n^1)	$P_{СТ} / P_n = 414,5/920 = 0,451$	$\sigma_{расч}^{\Sigma III} = \sigma P_{СТ} + \sigma P_{дин}^III + \sigma P_X + \sigma P_{цб} = 0,451 \cdot \sigma P_n^1 + 0,147 \cdot \sigma P_n^4 + 0,229 \cdot \sigma P_n^1 + 0,114 \cdot \sigma H_n^5 + 0,115 \cdot \sigma P_n^3$	[σ] = 140*
	Сила інерції візка, P_X	$P_X = 50,6$ (σP_X)	$T = 345$ (σP_n^4)	$P_X / T = 50,6/345 = 0,147$		
	Вертикальна динамічне навантаження, $P_{дин}^III$	$P_{дин}^III = 210,85$ ($\sigma P_{дин}^III$)	$P_n = 920$ (σP_n^1)	$P_{дин}^III / P_n = 210,85/920 = 0,229$		
	Центробіжна сила, виникаюча при русі вагона в кривій, $P_{цб}$	$P_{цб} = 31,1$ ($\sigma P_{цб}$)	$H = 291$ (σH_n^5)	$P_{цб} / H = 31,1/291 = 0,114$		
	Вертикальна добавка від центробіжної сили, $P_{цбнб}$	$P_{цбнб} = 26,5$ ($\sigma P_{цбнб}$)	$P_{ск} = 230$ (σP_n^3)	$P_{цбнб} / P_{ск} = 26,5/230 = 0,115$		

*Припускається перевищення припустимих напружень не більш ніж на 3% відповідно [3].

Величини випробувальних, розрахункових навантажень, відношення величин розрахункових навантажень до випробувальних, сумарні напруження від розрахункових навантажень при їх поєднаннях по I і III розрахунковим режимам і допустимі напруження для надресорної балки наведені в таблиці 1.

При одноосовому напруженому стані сумарні напруження по I і III розрахунковим режимам є еквівалентними і в формулі 2 наводяться по абсолютній величині. Напруження від випробувальних навантажень в елементах конструкції балок надресорних наведені на рисунку 1.

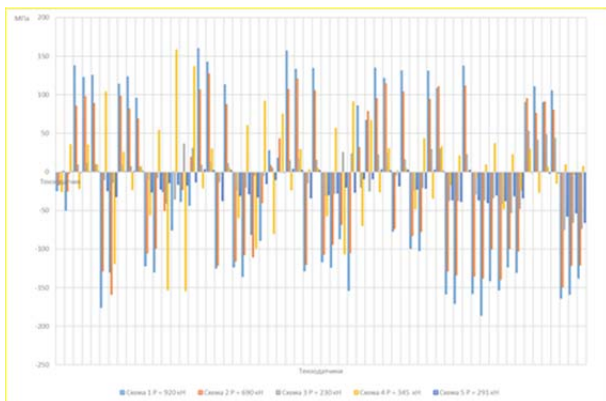


Рис. 1 Напруження від випробувальних навантажень в елементах конструкції надресорної балки

Осередненні напруження від випробувальних навантажень в елементах конструкції надресорних балок за трьома дослідних зразках наведені на рисунку 2.



Рис. 2 Осередненні напруження від випробувальних навантажень в елементах конструкції надресорних балок

Осередненні напруження від випробувальних навантажень в елементах конструкції надресорних балок за симетричними точками однієї деталі наведені на рисунку 3.

Напруження від розрахункових навантажень при їх поєднаннях за I і III розрахунковим режимам в елементах конструкції надресорних балок наведені на рисунку 4.

Сумарні напруження від розрахункових навантажень при їх поєднаннях по I і III розрахунковим режимам в елементах конструкції надресорних балок наведені на рисунку 5.

Максимальні сумарні напруження за розрахунковим режимом отримані в наступних перетинах і зонах надресорної балки:



Рис. 3. Осередненні напруження від випробувальних навантажень в елементах конструкції надресорних балок по симетричним точкам однієї деталі

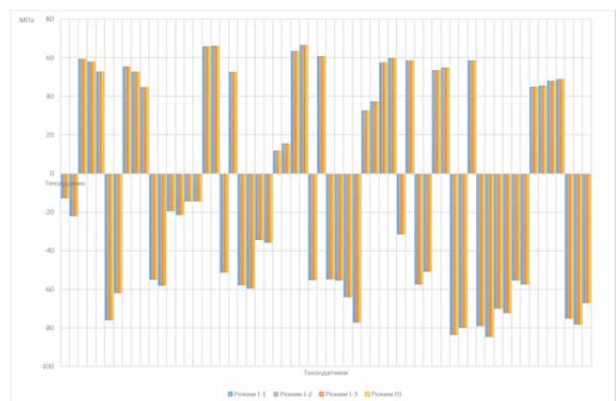


Рис. 4. Напруження від розрахункових навантажень при їх поєднаннях за I і III розрахунковим режимам в елементах конструкції надресорних балок

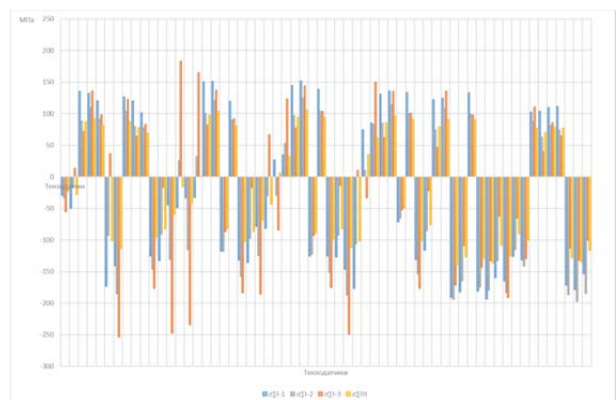


Рис. 5. Сумарні напруження від розрахункових навантажень при їх поєднаннях по I і III розрахунковим режимам в елементах конструкції надресорних балок

В інших точках і перетинах надресорної балки напруження нижче наведених.

Таблиця 2

центральный перетин	
перетин (0-0) точка 3 $\sigma_{расч}^{\Sigma I-1} = 135,41$ МПа точка 4 $\sigma_{расч}^{\Sigma I-2} = 109,58$ МПа $\sigma_{расч}^{\Sigma I-3} = 136,09$ МПа $\sigma_{расч}^{\Sigma III} = 92,45$ МПа	
зона підп'ятника	
перетин I-I (0I-0I) точка 6 (106) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-1} = 173,63$ МПа точка 7 (107) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-2} = 185,52$ МПа $\sigma_{расч}^{\Sigma I-3} = 254,00$ МПа $\sigma_{расч}^{\Sigma III} = 113,79$ МПа	
зона вікон бічних стінок	
перетин II-II (0II-0II) точка 18 (118) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-1} = 150,95$ МПа точка 11 (111) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-2} = 146,56$ МПа точка 13 (113) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-3} = 247,75$ МПа точка 18 (118) $\sigma_{расч}^{\Sigma III} = 103,94$ МПа перетин IV-IV (0IV-0IV) точка 34 (134) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-1} = 176,17$ МПа точка 33 (133) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-2} = 187,21$ МПа $\sigma_{расч}^{\Sigma I-3} = 248,56$ МПа $\sigma_{расч}^{\Sigma III} = 111,44$ МПа	перетин III-III (0III-0III) точка 28 (128) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-1} = 152,04$ МПа точка 21 (121) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-2} = 157,41$ МПа точка 23 (123) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-3} = 185,82$ МПа точка 28 (128) $\sigma_{расч}^{\Sigma III} = 106,09$ МПа
зона вікон верхньої стінки	
перетин V'-V' (0V'-0V') точка 49 (149) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-1} = 193,38$ МПа сечение V-V (0V-0V) точка 45 (145) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-2} = 194,03$ МПа $\sigma_{расч}^{\Sigma III} = 139,64$ МПа перетин V''-V'' (0V''-0V'') точка 51 (151) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-3} = 190,73$ МПа	
зона кронштейнів ковзунів	
перетин VI-VI (0VI-0VI) точка 53 (153) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-1} = 131,27$ МПа $\sigma_{расч}^{\Sigma I-2} = 141,43$ МПа $\sigma_{расч}^{\Sigma I-3} = 129,28$ МПа $\sigma_{расч}^{\Sigma III} = 100,23$ МПа	перетин VII-VII (0VII-0VII) точка 59 (159) $\sigma_{расч}^{\Sigma I-1} = 178,49$ МПа $\sigma_{расч}^{\Sigma I-2} = 197,15$ МПа $\sigma_{расч}^{\Sigma I-3} = 131,54$ МПа $\sigma_{расч}^{\Sigma III} = 134,08$ МПа

Випробуванням за визначенням граничної величини руйнівного навантаження піддавався один дослідний зразок надресорної балки. Після навантаження надресорної балки випробувальною навантаженням, $P_1 = 250$ тс, що перевищує допустиме навантаження до втрати несучої здатності деталі, $[P_{ннс}] = 235$ тс, більш ніж на 5% залишкова деформація (прогин) в середньому перетині складала 9 мм, при цьому руйнування конструкції, зламів, тріщин на

надресорної балці виявлено не було. Надресорна балка, після випробувань по визначенню величини навантаження до втрати несучої здатності, була використана для розрізання по перетинах з метою контролю розмірів елементів конструкції. Виміряні фактичні розміри елементів конструкції в перетинах надресорної балки які відповідають конструкторській документації.

Висновок. На підставі виконаного аналізу результатів, отриманих при проведенні типових випробувань надресорної балки, можна зробити наступні висновки:

- всі досліджені зони надресорних балок при статичних випробуваннях на міцність сумарні напруження по I і III розрахунковим режимам, не перевищують допустимих «Нормами ...» [1,2,4,14];

- результати випробувань надресорної балки руйнівним навантаженням свідчить про її достатню міцність;

- отримані фактичні значення товщини елементів в перетинах випробуваної надресорної балки відповідають вимогам затвердженого креслення;

- конструкція балки надресорної по міцностним характеристикам відповідає вимогам «Норм ...» [1,2,4,14], нормативної документації і може бути рекомендована до подальшого використання.

Л і т е р а т у р а

1. Фомін О.В. Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів [Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars] / O.V. Fomin // Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «NPI». – Kharkiv. – 26'2012 P.29-33.
2. O. Fomin, I. Kulbovskiy, E. Sorochinska, S. Sapronova, O. Bambura, Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 5, 1 (89), 11-19, (2017) doi: 10.15587/1729-4061.2017.109588
3. Gevorkyan E., Lavrynenko S., Rucki M., Siemiatkowski Z., Kislitsa M. Ceramic cutting tools out of nanostructured refractory compounds. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials. 2017. Vol. 68. P. 142–144.
4. Фомін, О.В. Поліпшення несучої здатності вагонахопера 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. – Северодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2017. – № 5(235) – С. 88-99.
5. Research on the safety factor against derailment of railway vehicles / S. Sapronova, V. Tkachenko, O. Fomin, V. Gatchenko, S. Maliuk // Eastern-European journal of enterprise technologies. 2017. Vol. 6, Issue 7 (90). P. 19-25 doi: 10.15587/1729-4061.2017.116194
6. Fomin, O.V. Варіаційне описання конструкції виконання вантажних вагонів [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gos-tra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and

- Science of Ukraine series "Transport systems and technologies." - Kyiv: DETUT, 2015. - Vyp.26-27. - S.137-147.
7. High speed stability of a railway vehicle equipped with independently rotating wheels / O. Kyryl'chuk, J. Kalivoda, L. Neduzha // Proc. of 24th Intern. Conf. «Engineering Mechanics 2018». – P. 473-476. doi: 10.21495/91-8-473.
 8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
 9. Мороз, В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності. // 36. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – С. 121 – 131.
 10. Кельріх М. Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів //Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.—Луганськ: ЧНУ ім. В. Даля. – 2014. – №. 2. – С. 210.
 11. Макаренко М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону //Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України».–К.: ДНДЦ УЗ. – 2014. – №. 5. – С. 107
 12. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» //36. наук. праць.-Харків: УкрДАЗТ. – 2008. – С. 72-81.
 13. Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties // Scientific Bulletin of National Mining University, 6, 89 – 96. (2017).
 14. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text] / A. V. Fomin // East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. – № 3/7(57), 2012. – 32-35 p. - access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3\(7\)_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
 15. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів / О.В. Фомін // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». – Кременчук: КДПУ, 2013. - Вип. 6(83). – С. 87-91.
 16. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності [Текст]/ О.В Фомін // Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 4/1(24) – С. 83-89.
 17. Ловська А. О. Моделювання навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі / А. О. Ловська // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – 2018. – Вип. 33. – с. 28 – 32.
 18. Ловська А. О. Дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі / А. О. Ловська // 36. наук. праць. Київ: ДУІТ. – 2018. – Вип. 32, Т. 1. – с. 71 – 80.
 19. Fomin O.V. Rozrobka metodiki vprovadnennja riznih profiliv v jacosti skladovih elementiv nesuchih system vantageh vagoniv [Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars] / O.V. Fomin // Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI». – Kharkiv. – 26'2012 P.29-33.
 20. Fomin, O., Kulbovsky, I., Sorochinska, E., Sapronova, S., Bambura, O. (2017). Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (1 (89)), 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>
 21. Gevorkyan E., Lavrynenko S., Rucki M., Siemiatkowski Z., Kisliitsa M. (2017). Ceramic cutting tools out of nanostructured refractory compounds. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials. 68. 142–144.
 22. Fomin O.V., Prokopenko P.M., Horbunov M.I. Sapronova S.YU. (2017). Polipshennya nesuchoyi zdutnosti vahonakhopera dlya perevezennya zerna z metoyu pidvyshchennya oporu dynamichnym zusylyam. // Naukovyy zhurnal – Visnyk Shkhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalia. – Syverodonets'k: SNU im. V.Dalia, – № 5(235) – S. 88-99
 23. Sapronova S., Tkachenko V., Fomin O., Gatchenko V., Maliuk S. (2017). Research on the safety factor against derailment of railway vehicles. Eastern-European journal of enterprise technologies. 6, 7 (90), 19-25 doi: 10.15587/1729-4061.2017.116194
 24. Fomin, O.V. Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnyh vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gostra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies." - Kyiv: DETUT, 2015. - Vyp.26-27. - S.137-147.
 25. Kyryl'chuk O., Kalivoda J., & Neduzha L. (2018). High speed stability of a railway vehicle equipped with independently rotating wheels. Engineering Mechanics: Proc. of 24th Intern. Conf., 473-476. doi: 10.21495/91-8-473.
 26. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
 27. Moroz V.I. Matematychnyy zapys zadachi optymizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noyi materia-loyemnosti [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capacity]. // Zbirnyk naukovykh prats [Collection of scientific papers]. Kharkiv. Ukrainian State University of Railway Transport. 2009. No 111, pp. 121-131.
 28. Kelrikh M. B., Moroz V. I. Struktorno-funktsionalne opysannja konstrukttsii modulja kuzova suchasnykh universalnykh napivvahoniv //Visnyk Shkhidnoukrainskoho natsionalnogo universytetu im. V. Dalia, 2 (210). – 2014. – С. 94-103.
 29. Makarenko M. V. Kompleksnyi analiz ekonomichnogo efektu vid zhyttievoho tsyклу suchasnoho napivvahonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola] //Naukovo-praktychnyizhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy».– Kyiv: DNDTs UZ. – 2014. – №. 5. – С. 107.
 30. Moroz, V.I. (2008). Vyznachennia perspektivnykh napriamkiv udoskonalennia konstrukttsii napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon»[Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE "Ukrspetsvagon"]. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu, 72-81.

References

13. Fomin, O. V., Lovska, A. O., Plakhtii, O. A., Nerubatskyi, V. P. (2017). The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties. Scientific Bulletin of National Mining University, 6, 89 – 96.
14. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. – № 3/7(57), 2012. – 32-35 p. - access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3\(7\)_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
15. Fomin O.V. Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv / O.V. Fomin // Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremen-chuts'kohonatsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho». – Kremenchuk: KDPU, 2013. - Vyp. 6(83). – S. 87-91.
16. Fomin, O. V. Vprovadzhennya of cruglic pipes in NESC systems napowan W zabezpieceny razvaliny pokaznikiv mcnct [Text]/ O. In Fomn // [the journal "Technology audit and production reserves". – Kharkiv, 2015. – № 4/1(24) – S. 83-89.
17. Lovs'ka A. O. Modelyuvannya navantazhenosti konteynera-tsysterny pry perevezenni u skladi kombinovanoho poyizda na zaliznychnomu poromi / A. O. Lovs'ka // Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPi». Seriya: Dynamika i mitsnist' mashyn. – 2018. – Vyp. 33. – s. 28 – 32.
18. Lovs'ka A.O. Doslidzhennya mitsnosti nesuchoyi konstruktsiyi kuzova napivvahona pry perevezenni na zaliznychnomu poromi / A.O. Lovs'ka // Zb. nauk. prats'. Kyiv: DUIT.– 2018. – Vyp. 32, T. 1.–s.71 – 80.

Фомин А.В., Осьмак В.Е. Лебедев В.С., Цымбалюк А.В. Анализ разрушающих напряжений наддрессорных балок тележки грузового вагона типовой конструкции (Часть 2).

В статье (Часть 1 и часть 2) рассмотрены вопросы исследования напряженных состояния конструкций опытных образцов наддрессорной балки типовой конструкции двухосной тележки грузовых вагонов во время испытательных нагрузок. Определение возможности сохранения несущей способности во время действия разрушающей нагрузки и выполнен усредненный расчет напряжений в симметричных точках одной детали, выполнено перерасчет усредненных напряжений от исследовательских нагрузок на напряжение от расчетных нагрузок, определенные суммарные нагрузки по расчетным режимам. Примененный метод исследования теоретического и экспериментального характера и статического анализа.

Ключевые слова: тележка двухосная, балка наддрессорная, испытания статические, прочность, испытательные и разрушающие нагрузки, расчетные режимы, напряжения что допускаются, сечения, размеры элементов конструкции.

Fomin O., Osmak V., Lebedev V., Tsybaliuk A. Analysis of related stresses of the nadrason steering wire of vehicle wagon of the type construction (Part 2).

The article (PART 1 and PART 2) deals with the issue of studying the elastic state of structures of prototype sketches of a superstring beam of a typical construction of a two-axle trolley for freight wagons during test loads. Determination of the possibility of maintaining the load bearing capacity during the destructive load and an average calculation of stresses at the symmetric points of one part was performed; the recalculation of the average stresses from the experimental loads to the stresses from the calculated loads was performed, the total loads were calculated according to the calculated modes. The applied method of studying the theoretical and experimental nature and static analysis is applied.

Based on the analysis of the results obtained during the typical tests of the overhead beam, we can draw the following conclusions: all investigated areas of superstring beams at static tests for the strength of total stresses under I and III settlement regimes, do not exceed permissible; results of tests of a superstructure with a destructive load indicate its sufficient strength; the actual values of the thickness of the elements obtained in the sections of the tested superstructure beams meet the requirements of the approved drawing; the construction of the superstrong beams according to the strength characteristics meets the requirements of normative documentation and can be recommended for further use.

Key words: biaxial carriage, superstrong beam, static tests, strength, test and destructive loads, calculation modes, permissible voltages, cross sections, dimensions of structural elements.

Фомін О.В. – д.т.н., професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ, м. Київ.
(fominaleksejviktovovic@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.

Цимбалюк А.В. – аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство», ДУІТ, м. Київ.

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 20.03.2019

УДК 629.4.027.2

КОНЦЕПТ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕЛЕЖКИ ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА С УМЕНЬШЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ПУТЬ

Хаусер В., Кравченко Е., Ноженко Е.

THE INNOVATIVE TRACKFRIENDLY TRAM BOGIE CONCEPTION

Hauser V., Kravchenko K., Nozhenko O.

При эксплуатации подвижного состава в условиях городского железнодорожного движения происходит значительное напряжение рельсового полотна, что приводит к возникновению и развитию дефектов геометрии пути, износу головок рельс, увеличению ширины колеи и, соответственно, увеличению силового воздействия в контакте колесо-рельс. Описываемая ситуация является логическим результатом эксплуатации вагонов, конструкции тележек которых не предназначены для специфических условий городского движения. В статье описана предлагаемая авторами концепция инновационной тележки для условий городского движения. Разработанная тележка отличается креплением рамы на две колёсные пары только через три буксовые узла. Конструкция тележки содержит механизм радиальной установки колёсных пар. Оценку концепции инновационной тележки проведено с помощью имитационного моделирования кинематики тележки и динамики движения вагона. Согласно полученных результатов предлагаемая конструкция тележки позволяет продлить срок службы как тележки, так и пути в несколько раз, уменьшить износ контакта колесо-рельс, и улучшить взаимодействие, именно, в кривых участках пути.

Ключевые слова: тележка с тремя буксовыми узлами, износ, контакт колесо-рельс, взаимодействия колеса с рельсом.

Введение. Тележка является одной из основных частей рельсового подвижного состава, от конструкции которой в значительной степени зависит динамика вагона, плавность хода и условия взаимодействия колёсной пары с рельсовой колеёй. Усовершенствование конструкции тележки позволит продлить срок службы как вагона, так и рельсового пути, снизить эксплуатационные расходы. Разработка новой конструкции требует анализа условий эксплуатации и специфичности участков пути, для прохождения которых предназначен предлагаемый подвижной состав.

Анализ проблемы. На Европейских городских путях наблюдаются различные дефекты колеи. В условиях магистральной железной дороги на состо-

яние пути обращается более значительное внимание. Регулярно производится осмотр пути. При выявлении отклонений геометрии пути от значений, требуемых стандартами, производится их ремонт. Однако городские железные дороги специфичны. Для разных городов требования к геометрии железнодорожного пути разные [1]. Кроме того, состоянию пути в городских условиях движения не обращено должное внимание. Важной проблемой является недостаточное финансирование. Таким образом возникают идеальные условия для развития дефектов пути до значительно большего размера, чем на магистральных железнодорожных дорогах.

Одной из основных особенностей городских железных дорог является наличие кривых участков пути с радиусом от 18 метров. С учётом жёсткого закрепления колёсных пар к раме тележки в продольном направлении, взаимодействия колеса с рельсом происходит с большим углом набегания, что в свою очередь приводит к повышению относительных скоростей рабочих поверхностей в контакте, сопровождаемых типичным скрипом, увеличением сопротивления движения и возникновением абразивного износа контакта колесо-рельс [2]. В итоге - увеличение ширины колеи, размер которой достигает несколько десятков миллиметров (Рис. 1а). Так как подвижный состав происходит кривой участок пути в условиях городского движения в заклиненном положении (заклиненное вписывание), величина углов набегания и боковых сил увеличивается.

Следующей особенностью и типичной проблемой железнодорожных путей городского движения является нарушение геометрии стыков рельс. В эксплуатации известны два основных варианта этой проблем. Первый вариант – оба, или чаще всего один из концов соединённых рельсов смещен в горизонтальном или вертикальном направлении. Описываемый дефект в эксплуатации может быть устранён наплавкой материала на поверхность смещённого рельса, как показано на рис. 1б).



Рис. 1 Дефекты колеи в эксплуатации:
а – увеличение ширины колеи в кривом участке,
б – некорректный стык рельс

Второй вариант – образование не нормативной, увеличение зазора в стыке рельс (рис. 2а), возникшего в результате недостаточного технического обслуживания. В эксплуатации встречается отремонтированный вариант данного дефекта, который обеспечивается за счёт удаления концов рельс и добавления дополнительного отрезка рельса длиной 30 - 40 см. Описываемый ремонт приводит к увеличению неровностей пути и вредным колебаниям подвижного состава. В эксплуатации часто встречается ситуация, когда стык правого и левого рельса в разных плоскостях поперечного сечения колеи, что негативно влияет на динамику движения подвижного состава. Описываемый случай показан на рис. 2б).



Рис. 2. Дефекты колеи в эксплуатации:
а – зазор в стыке рельс, б - положение стыков
вне плоскости поперечного сечения колеи

Следующим эксплуатационным дефектом железнодорожного пути является длинные неровности пути в продольном профиле (скрученный путь), которые возникают в результате деформации подрельсового основания. Согласно стандарту (TNŽ 73 63 61 «Геометрическое положение и установка железнодорожного пути с шириной колеи 1000 мм») на длине пути 6 м максимальный продольный уклон одного из рельс колеи составляет 1:250 [3]. Так как требования данного стандарта не распространяются на городское железнодорожное движение, то появляются дефекты, указанные на рис. 3.

Представленный выше дефект (длинные неровности пути в продольном профиле) приводит к статически неопределённому положению тележки и, с учётом высокой жёсткости рессорного подвешивания, происходит неравномерное перераспределение нагрузок колёс ΔQ , что негативно влияет на безопасность подвижного состава против схода с рельсов.



Рис. 3. Длинные неровности пути в продольном профиле в эксплуатации

2. Предпосылки предлагаемого концепта создания инновационной тележки. Увеличение вертикальных сил при движении по скреплениям рельс и длинным неровностям в продольном профиле приводят к повышенному воздействию на путь и его разрушению. В тоже время существенное значение на появление дефектов пути оказывает конструкция тележек подвижного состава. Проведенный анализ движения подвижного состава на компьютерных моделях, спроектированных в программе SIMPACK и эксплуатационных опытах серийного подвижного состав показал, что необходима разработка нового концепта тележки, которая бы удовлетворяла требованиям эксплуатации на «не идеальном» рельсовом пути, который часто встречается в эксплуатации. Для разработки нового концепта создания тележки предлагаются следующие постулаты:

- при эксплуатации рельсового подвижного состава в условиях городского движения концепция тележки должна быть разработана таким образом, чтобы минимизировать вертикальные воздействия на путь при проезде по неровностям пути, которые часто встречаются в условиях городского движения. В данном случае тележка должна занять на неровном пути положение не приводящие к деформации рессорного подвешивания. Это даёт возможность эффективно использовать полезное сжатие подвешивания для динамических прогибов. Это требование в случае предлагаемой тележки обеспечено тем, что рама тележки закреплена на двух колёсных парах только через три буксовые узла. Т.о. даже при условии прохождения по неровностям пути предлагаемая тележка занимает статически определённое положение. Описываемое решение подробно описано в заявках на получение патентов [4, 5].

- Необходимым элементом тележки авторы считают механизм для радиальной установки колёсных пар. Так как планируется его применение в условиях городского движения, требование его корректной работы для широкого диапазона кривых, с радиусом от 18 м. Для тележки с базой 1.9 м необ-

ходимо обеспечить угол установки колёсной пары более 3 градуса. Установление колёсных пар предлагается механическим образом - в зависимости от угла поворота рамы тележки относительно к раме кузова.

- Проезд кривых малого радиуса значительно улучшается при внедрении в конструкцию колеса дополнительной поверхности катания на внешней стороне колёс, с меньшим радиусом, чем радиус поверхности катания колёс. Описываемое решение требует частичное изменение геометрии кривых малого радиуса. Решение описано в статьях [6, 7] и заявках на изобретение [8, 9].

- Для уменьшения воздействия на путь необходимо полностью подрессорить тяговые двигатели и тормозные системы. Предлагается закрепить тормозные диски на оси двигателей, которые установлены на раме тележки, на концах осей колёсных пар. Относительно пути их масса полностью подрессорена первой ступенью рессорного подвешивания. Крутящий момент двигателей предложено переносит

на оси через поводко-шарнирные сцепления. Таким образом обеспечивается полноценная работа как системы подвешивания, так и системы радиальной установки колёсных пар, при чём присутствие сцеплений не создает дополнительные сопротивления работе этих систем.

3. Концепт предлагаемой тележки. Разработка концепции новой тележки требует параметры вагона, для которого она будет проектироваться. В данном случае были приняты параметры трамвайного вагона Т3 для ширины колеи 1000 мм: база трамвайного вагона (расстояние между шкворнями) - 6.3 м, база тележек - 1.9 м, масса порожнего кузова - 15.5 т, полезная нагрузка - 9.3 т.

Соединение тележки с кузовом предложено установить в наиболее низкой точке, чтобы режимы тяги и торможения не приводили к значительным перераспределениям нагрузок от колёсных пар на рельсы. Концепт предлагаемой тележки показан на рис. 4 и 5.

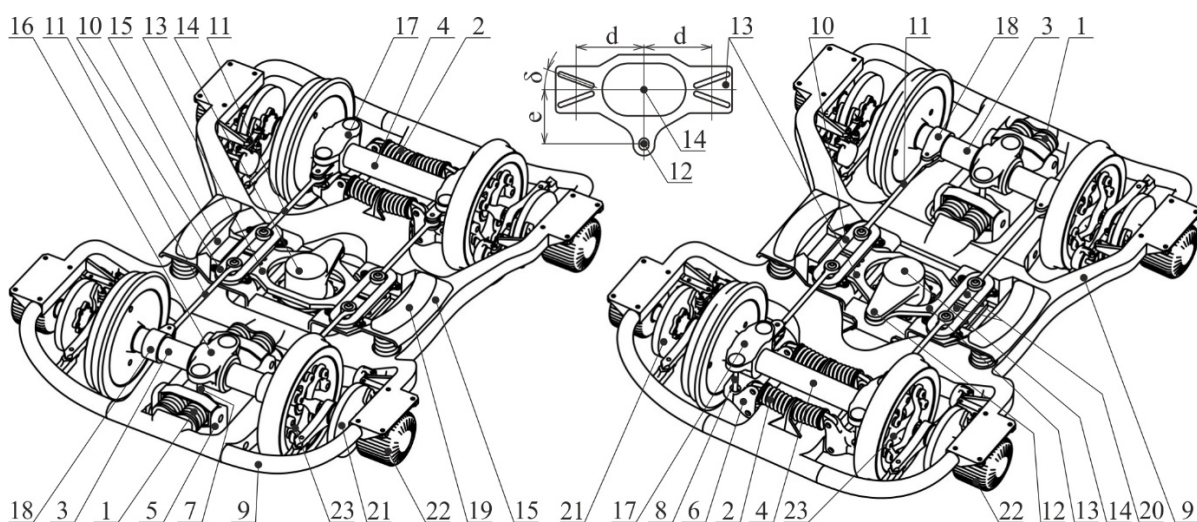


Рис. 4. Концепт предлагаемой тележки - общий вид

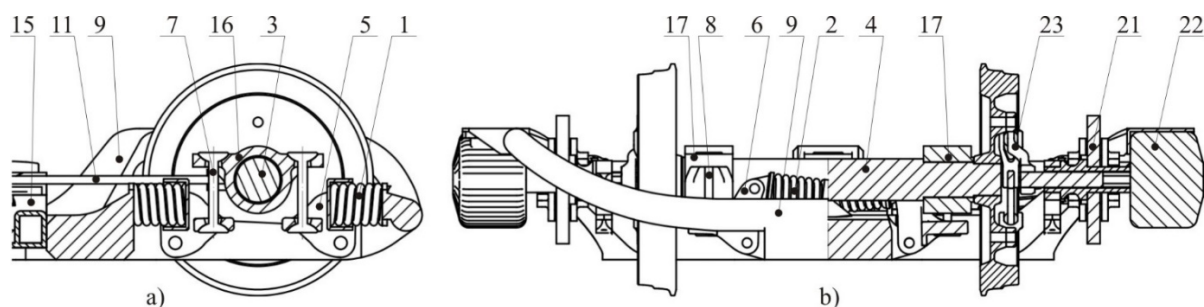


Рис. 5. Концепт предлагаемой тележки:

а – сечение в узле крепления колёсной пары с одним буксовым узлом,
б – сечение в узле крепления колёсной пары с двумя буксовыми узлами

3.1. Система подвешивания предлагаемой тележки. Исходя из допустимого расстояния от сцепки до плоскости вершины рельс [10] получена величина сжатия подвешивания в случае груженого вагона 46.5 мм. В последствии проведен расчет размеров рессор первой и второй ступени. Чтобы опустить центр тяжести и пол кузова ниже, необходимо минимизировать размер высоты рессор первой и второй ступени (1) (2), одновременно необходимо элиминировать воздействия поперечной их жёсткости для механизма радиальной установки колёсных пар (3), (4). Минимизация высоты рессор достигнута за счёт дополнительного элемента (5), (6) шарнирно закреплённого на раму тележки, который позволяет развернуть ось рессор в горизонтальную плоскость, аналогично как в случае тележки вагона чехословацкого дизель-поезда М262. Устранение сопротивления механизма радиальной установки колёсных пар, которое возникает в конструкциях стандартных тележках в результате поперечной жёсткости рессор, достигнута за счёт применения вертикальных тяг (7), (8) концы которых закреплены шаровыми шарнирами.

Вертикальная нагрузка передаётся от кузова через шкворень (14) и скользуны на надресорную балку (15), в которой расположена центральная часть механизма радиальной установки (10), дальше через вторую ступень рессорного подвешивания на раму тележки (9). Рама передаёт нагрузку с помощью кронштейнов и болтов на элементы первой ступени рессорного подвешивания, а именно, рессоры (1), (2), рычаги (5), (6) и вертикальные тяги (7), (8), закреплённые шаровыми шарнирами одним концом на рычаг, вторым концом на буксовый узел. Таким образом одновременно реализовано поперечное подвешивание.

Для расчета жёсткости и, соответственно, размеров рессор подвешивания использованы выражения (6) и (7), где γ – отношение жёсткости первой k_{c1} ступени рессорного подвешивания к второй k_{c2} для порожнего (6) и груженого (7) вагона:

$$\gamma_n = 2 + \frac{2 \cdot M_m}{M_k} = 2.200, [-] \quad (6)$$

$$\gamma_z = 2 + \frac{2 \cdot M_m}{M_k + M_n} = 2.124, [-] \quad (7)$$

где M_m [кг] – предполагаемая масса тележки, M_k [кг] – масса кузова, M_n [кг] – масса полезной нагрузки. Соответственно выражений (6) и (7), полученное значение отношения жёсткости первой ступени рессорного подвешивания ко второй составляет 2.162, то есть первая ступень рессорного подвешивания более жёсткая, чем рессорное подвешивание второй ступени. Общая требуемая жёсткость подвешивания вагона k_c полученная согласно ограничения величины полезного сжатия $c_n = 46.5$ мм (согласно параметров трамвайного вагона ТЗ) составляет:

$$k_c = \frac{M_n \cdot g}{c_n} = 1962000 \text{ [Н} \cdot \text{м}^{-1}] \quad (7)$$

Если общую жёсткость подвешивания вагона принять как жёсткость двух последовательно соединённых подвешиваний, их работу можно описать выражением:

$$k_c = \frac{k_{c1} \cdot k_{c2}}{k_{c1} + k_{c2}}, \text{ [Н} \cdot \text{м}^{-1}] \quad (8)$$

В последствии жёсткость второй ступени подвешивания определяется по выражению:

$$k_{c2} = \frac{(1 + \gamma) \cdot k_c}{\gamma} = 2869493, \text{ [Н} \cdot \text{м}^{-1}] \quad (9)$$

Жёсткость первой ступени подвешивания:

$$k_{c1} = \gamma \cdot k_{c2} = 6203844, \text{ [Н} \cdot \text{м}^{-1}] \quad (10)$$

Так как пространство для установки рессор первой ступени подвешивания ограничено, предложено рессоры развернуть в горизонтальную плоскость, при этом нагрузка будет передаётся через рычаги (5) и (6). Для минимизации сопротивления подвешивания работе механизма радиальной установки колёсных пар необходимо в системе подвешивания использовать вертикальные тяги (7) и (8), переносящие нагрузку от рычагов на буксовый узел с помощью шаровых шарниров.

В первой ступени рессорного подвешивания использовано восемь рессор. Четыре из них для колёсной пары (3) с одним буксовым узлом. Поперечное положение рессор колёсной пары (4) с двумя буксовыми узлами специфичное - предложена конструкция для уменьшения высоты этого узла за счёт того, что уменьшен диаметр рессор (2) и использован рычаг (6) с изменённым на величину 1.416 передаточным числом. Жёсткость и ход рессор (2) соответственно изменены.

3.2 Механизм радиальной установки колёсных пар. Положение колёсных пар в продольном направлении определено тягами (11) механизма радиальной установки. Таким образом механизм также используется для переноса продольных сил от тяги и торможения между колёсными парой и кузовом. Функцию радиальной установки колёсных пар (3) и (4) приводит в действие шарнир (12), размещённый в упругой втулке, скрепляющий точку продольной оси кузова с подвижной (в поперечном направлении) кулисой (13) механизма, смещение которой приводит в продольное движение камней (20) и, соответственно, тяги (11), что приводит к радиальному установлению колёсных пар.

При входе вагона в кривую, угол поворота рамы тележки относительно рамы кузова равен:

$$\beta = \arcsin \frac{B}{2 \cdot (R - v)}, \text{ [рад]} \quad (11)$$

где B [м] – база вагона (расстояние между шкворнями), R [м] – радиус кривой, v [м] – поперечное расстояние между серединой базы тележки и центром колес:

$$v = R - \left[R^2 - \left(\frac{b}{2} \right)^2 \right], \text{ [м].} \quad (12)$$

При использовании в конструкции радиальной установки колёсных пар необходимо соблюдать требование поворота колёсной пары относительно рамы тележки на угол:

$$\alpha = \arcsin \frac{b}{2 \cdot R}, \text{ [рад]} \quad (13)$$

где b [м] – база тележки. Требуемый угол достигается смещением в продольном направлении буксовых узлов (17) и букс механизма установки (18) на расстояние:

$$x_d = d \cdot \sin \alpha, \text{ [м]} \quad (14)$$

где d [м] – расстояние от оси тяги (11) до продольной оси тележки. Для правильной работы механизма необходима связь между углом канавки кулисы механизма δ [рад] и расстоянием от шкворня (14) тележки до болта (12) кулисы механизма. Данная связь описывается выражением:

$$e = \frac{x_d \cdot \sin \beta}{\tan \delta}, \text{ [м].} \quad (15)$$

В случае принятия величины угла канавки $\delta = 20$ градусов для предлагаемой тележки, расстояние $e = 285$ мм.

4. Обоснование предлагаемой концепции.

Для оценки эффективности предлагаемой концепции разработки инновационной тележки проведено имитационное моделирование движения аналога трамвайного вагона ТЗ на участке пути длиной 10 км в программе SIMPACK. При этом количество и радиус кривых, переходных кривых, прямых участков и стрелочных переводов близки к профилю пути в условиях городского движения. Рассмотрены два варианта:

а) трамвайный вагон аналогичный типу ТЗ с тележками серийной концепции (рис. 6);

б) трамвайный вагон аналогичный типу ТЗ с тележками предлагаемой концепции (рис. 6).

Для расчета динамики движения, то есть для получения временной зависимости параметров контакта рельс-колесо, а именно нормальной силы, положение и размеры площади контакта или относительная скорость скольжения профилей использовано программу SIMPACK. Для обработки полученных результатов использована специально разработанная авторами программа, которая согласно модели износа по Арчарду [2] подаёт информацию о величине износа и геометрии изношенного профиля после проезда рассматриваемого участка пути. Координата

временного хода имитации движения пересчитана на горизонтальную координату профиля колеса, в результате чего получена ценная информация о способе формирования износа. Сравнение рассматриваемых вариантов с точки зрения параметров контакта правого колеса первой колёсной пары показано на рис. 6. Серым цветом на рис. 6 выделено место гребнесмазывания.

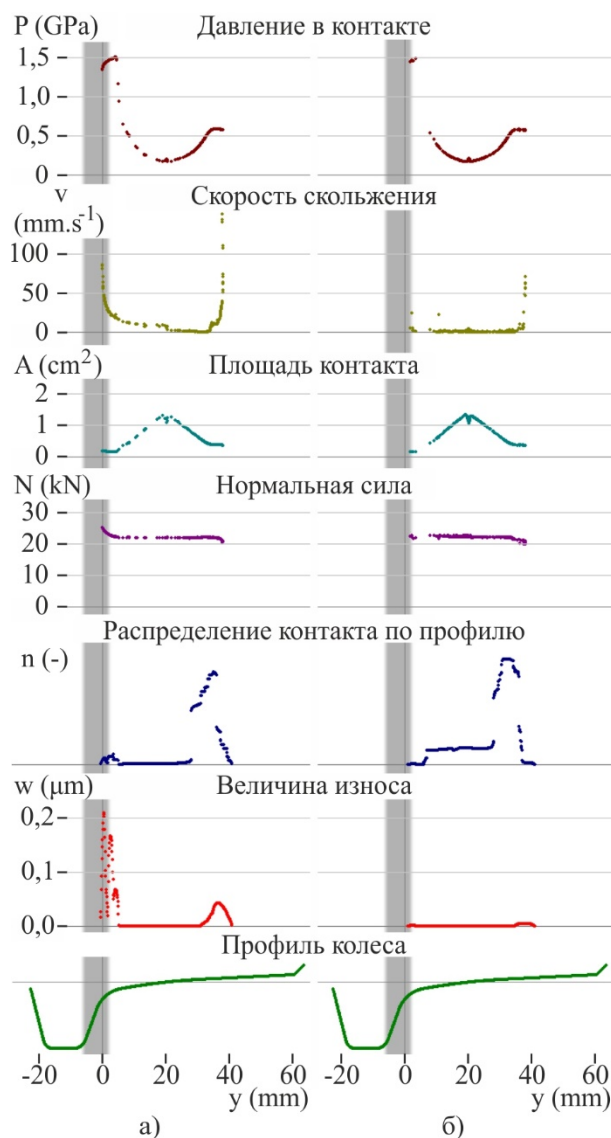


Рис. 6. Распределение износа, контактного давления, скорости скольжения и присутствия контакта по поверхности колеса для
а – вагона с серийными тележками,
б – вагона с предлагаемыми тележками

На основе сравнения распределения контактного давления и относительной скорости скольжения профилей установлено, что минимизация объема изношенного материала колёс происходит благодаря уменьшению скорости скольжения. Как показано на рис. 6, между распределением наличия контакта и распределением износа на поверхности катания нет связи.

Вывод. Предложена концепция инновационной тележки трамвайного вагона, для особенностей железнодорожных путей городского транспорта. Предлагаемое решение обосновано анализом проведенном при имитационном моделировании на участке пути длиной 10 км. Объем изношенного материала правого переднего колеса серийной тележки составил 1.685 мм^3 , для предложенной тележки на том же участке пути – 0.059 мм^3 . В результате установлено, что использование предложенного решения позволит значительно продлить срок службы колёс, уменьшить расход энергии трамвайного вагона, и также значительно снизить шум.

Разработанный концепт тележки позволит проводить широкие исследования силового взаимодействия элементов конструкции тележки и последующего определения финального конструкционного решения узлов тележки. В дальнейшем планируется произвести исследование в области прочностного анализа и уточнить размеры отдельных деталей.

Л и т е р а т у р а

1. Lewis R. Wheel-rail interface handbook / R. Lewis, U. Olofsson // 842 p. 2009. ISBN: 978-1-4398-0146-8.
2. Smetanka L. Wear research of railway wheelset profile by using computer simulation / L. Smetanka, P. Šťastniak, J. Harušinec // MATEC Web of Conferences. Volume 157, 14 March 2018, Article number 03017.
3. Ďurkovský M. Geometrická poloha a usporiadanie koľaje železničných dráh rozchodu 1000 mm / M. Ďurkovský, M. Kubala // TNŽ 73 6361. ŽSR, Bratislava 2007.
4. Gerlici, J., Lack, T., Hauser, V., Loulová, M., Nozhenko, O. S., Kravchenko, K. O. Podvozok vagóna – úžitkový vzor UA 114040 U, Kyjev: Ukrajinský inštitút priemyselného vlastníctva, 2017. 9 p.
5. Loulová, M., Hauser, V., Gerlici, J., Lack, T., Nozhenko, O. S., Kravchenko, O. P., Kravchenko, K. O.: Podvozok vagóna – úžitkový vzor UA 119104 U, Kyjev: Ukrajinský inštitút priemyselného vlastníctva, 2017. 9 p.
6. Nozhenko O. Double treaded wheelset riding regime change in strongly curved track from the derailment-safety point of view / O. Nozhenko, K. Kravchenko, M. Loulová, V. Hauser // In Manufacturing Technology, Vol. 18, Iss. 2, 1 April 2018, pp 303-308. ISSN: 12132489.
7. Hauser V. Innovative wheel tread design aimed to tram-car-track interaction improvement when passing curves of a small radius / Hauser, V., Nozhenko, O. S., Kravchenko, K. O., Loulová, M., Gerlici, J., Lack, T. // 22nd Slovak-Polish Scientific Conference on Machine Modelling and Simulation, 2018. ISSN (online) 2261-236X, 11 p.
8. Hauser, V., Gerlici, J., Gorbunov, M. I., Lack, T., Kravchenko, K. O., Loulová, M., Nozhenko, O. S., Kravchenko, O. P., Nozhenko, V. S.: Zakrivený úsek koľaje. Prihláška patentu č. a 201708423. Kyjev: Ukrajinský inštitút priemyselného vlastníctva, 2017. 11 p.
9. Hauser, V., Gerlici, J., Lack, T., Loulová, M., Nozhenko, O. S., Kravchenko, K. O., Prosivirova, O. V.: Dvojkolesie podvozka koľajového vozidla a úsek zakrivenej koľaje. Prihláška patentu č. a201701589. Kyjev: Ukrajinský inštitút priemyselného vlastníctva, 2017. 11 p.
10. Иванов М.Д. Трамвайные вагоны ТЗ / М.Д. Иванов, А.А. Понамарёв, Б.К. // М. , «Транспорт». 1977, - 240 с.

R e f e r e n c e s

1. Lewis R. Wheel-rail interface handbook / R. Lewis, U. Olofsson // 842 p. 2009. ISBN: 978-1-4398-0146-8.
2. Smetanka L. Wear research of railway wheelset profile by using computer simulation / L. Smetanka, P. Šťastniak, J. Harušinec // MATEC Web of Conferences. Volume 157, 14 March 2018, Article number 03017.
3. Ďurkovský M. Geometrická poloha a usporiadanie koľaje železničných dráh rozchodu 1000 mm / M. Ďurkovský, M. Kubala // TNŽ 73 6361. ŽSR, Bratislava 2007.
4. Gerlici, J., Lack, T., Hauser, V., Loulová, M., Nozhenko, O. S., Kravchenko, K. O. Podvozok vagóna – úžitkový vzor UA 114040 U, Kyjev: Ukrajinský inštitút priemyselného vlastníctva, 2017. 9 r.
5. Loulová, M., Hauser, V., Gerlici, J., Lack, T., Nozhenko, O. S., Kravchenko, O. P., Kravchenko, K. O.: Podvozok vagóna – úžitkový vzor UA 119104 U, Kyjev: Ukrajinský inštitút priemyselného vlastníctva, 2017. 9 r.
6. Nozhenko O. Double treaded wheelset riding regime change in strongly curved track from the derailment-safety point of view / O. Nozhenko, K. Kravchenko, M. Loulová, V. Hauser // In Manufacturing Technology, Vol. 18, Iss. 2, 1 April 2018, pp 303-308. ISSN: 12132489.
7. Hauser V. Innovative wheel tread design aimed to tram-car-track interaction improvement when passing curves of a small radius / Hauser, V., Nozhenko, O. S., Kravchenko, K. O., Loulová, M., Gerlici, J., Lack, T. // 22nd Slovak-Polish Scientific Conference on Machine Modelling and Simulation, 2018. ISSN (online) 2261-236X, 11 r.
8. Hauser, V., Gerlici, J., Gorbunov, M. I., Lack, T., Kravchenko, K. O., Loulová, M., Nozhenko, O. S., Kravchenko, O. P., Nozhenko, V. S.: Zakrivený úsek koľaje. Prihláška patentu č. a 201708423. Kyjev: Ukrajinský inštitút priemyselného vlastníctva, 2017. 11 r.
9. Hauser, V., Gerlici, J., Lack, T., Loulová, M., Nozhenko, O. S., Kravchenko, K. O., Prosivirova, O. V.: Dvojkolesie podvozka koľajového vozidla a úsek zakrivenej koľaje. Prihláška patentu č. a201701589. Kyjev: Ukrajinský inštitút priemyselného vlastníctva, 2017. 11 r.
10. Ivanov M.D. Tramvajnye vagony T3 / M.D. Ivanov, A.A. Ponomarev, B.K. // M. , «Transport». 1977, - 240 s.

Хаусер В. Кравченко К., Ноженко О. Концепт інноваційного візка трамвайного вагону зі зменшенням впливом на колію.

При експлуатації рухомого складу в умовах міського руху на залізничному транспорті відбувається значне напруження рейкового полотна, що призводить до виникнення і розвитку дефектів геометрії колії, зносу головок рейок, збільшенню ширини колії і, відповідно, збільшення силового впливу в контакт колесо-рейка. Описана ситуація є логічним результатом експлуатації вагонів, конструкції візків яких не призначені для специфічних умов міського руху. У статті представлена запропонована авторами концепція інноваційного візка для умов міського руху. Розроблений візок відрізняється закріпленням рами на дві колісні пари тільки через три буксові вузла з використанням механізму радіальної установки колісних пар. Оцінку концепту інноваційного візка проведено за допомогою імітаційного моделювання кінематики візку і динаміки руху вагона. Згідно отриманих результатів запропонована конструкція візка дозволяє продовжити термін служби як візку, так і колії в декілька разів, зменшити

знос контакту колесо-рейка, і поліпшити взаємодію саме в кривих ділянках колії.

Ключові слова: візок с трьома буксовими вузлами, знос, контакт колесо-рейка, взаємодія колеса з рейкою.

Hauser V., Kravchenko K., Nozhenko O. The innovative trackfriendly tram bogie conception.

On the usual vehicle operation on the city railway environment, significant load of the track occurs. This causes track geometry defects formation, rail head wear, track gauge enlargement and correspondingly increasing of force interaction in the rail-wheel contact. Described situation is a logical result of tramcars operation, bogie construction of which are not intended for the specific condition on city lines. In this paper, by authors proposed innovative bogie conception especially for urban lines environment is given. Proposed bogie is characterized by frame-to wheelsets connection only by three axle boxes. Bogie is equipped with mechanism for setting radial position of axles in track curves. Evaluation of the proposed bogie is carried out by simulation analysis of bogie kinematics and tram car ride dynamics. According obtained results, proposed bogie conception make possible to enlarge op-

eration life of both – bogie and track up to several times, minimize rail-wheel contact wear and make the vehicle – track interaction more smooth, especially in curved track sections.

Keywords: three axle boxes boogie, rail-wheel contact wear, rail-wheel interaction.

Хаусер В. – научный сотрудник кафедры «Транспорт и подъёмно-транспортная техника», Жилинский университет.

Кравченко Е. – к.т.н., доц., кафедра железнодорожного, автомобильного транспорта и подъёмно-транспортных машин, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля.

Ноженко О. – к.т.н., доц., кафедра железнодорожного, автомобильного транспорта и подъёмно-транспортных машин, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля.

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

Статья подана 19.03.2019

УДК 656.13

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМ ПЕРЕХОПЛЮЮЧИХ ПАРКІНГІВ У ВЕЛИКИХ МІСТАХ

Холодова О.О., Левченко О.С.

CREATION OF THE SYSTEMS OF PARK AND RIDES IN THE BIG CITIES

Kholodova O., Levchenko O.

Доведена необхідність формування систем паркінгів у великих містах; проведений аналіз розробок та умов формування систем паркінгів, зокрема, перехоплюючих; надані етапи методики формування систем паркінгів та практичні рекомендації з організації роботи перехоплюючих паркінгів; застосування запропонованої методики формування систем паркінгів дозволяє створити таку систему, яка задовільнить потреби усіх центрів тяжіння центральної ділової частини міста в паркувальних місцях.

Ключові слова: перехоплюючий паркінг, вулично-дорожня мережа, центральна ділова частина міста, транспортний засіб, стоянка, маршрутний пасажирський транспорт.

Вступ. Міста, як центри ділового, соціального, культурного життя, привертають дедалі більшу кількість людей, що призводить до збільшення щільності забудови та щільності населення всередині міських територій. Таке зростання міст, в свою чергу, генерує комплекс проблем, що виникають з необхідності створення умов для його функціонування.

Постановка проблеми. Однією з найбільш важливих є проблема, пов'язана з транспортною системою міста, що включає в себе також цілий комплекс питань, які потребують грамотних рішень. Вулично-дорожня мережа (ВДМ) будь-якого міста як один з основних елементів транспортної системи є каркасом будь-якого міста, що забезпечує транспортну доступність до будь-якої його точки. Отже, такі показники, як ступінь розвитку ВДМ, її протяжність і завантаженість, є індикаторами стійкості розвитку міста в цілому, і рівня життя громадян і його ділової активності [1-5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз транспортних ситуацій в найбільших містах світу показує, що міст, які не стикаються з проблемою транспортних заторів, не існує. З точки зору звичайних мешканців міста, одним з головних завдань ВДМ міста є саме те, щоб будь-який мешканець мав можливість проїхати до місця призначення максимально швидко і в комфортних умовах. «Перехоплююча» стоянка, як показує світовий досвід їх

застосування, є одним з елементів транспортної інфраструктури міста, який може, при грамотному проектуванні, знизити навантаження на найбільш завантажені ділянки ВДМ та, як результат, зменшити ризик виникнення транспортних заторів [6-10].

У світовій практиці «перехоплююча» стоянка – це стоянка автомобілів, яка дозволяє власникам транспортних засобів (ТЗ) залишати на ній свої персональні ТЗ і пересідати на будь-який з видів громадського транспорту для продовження поїздки. Тобто, здійснювати комбіновану поїздку, де частина маршруту долається з використанням індивідуального ТЗ, а частина по системі пасажирського транспорту. Основна мета – економія часу на здійснення поїздки. З транспортної точки зору, основною метою «перехоплюючих» стоянок є зниження транспортного навантаження на основних магістралях міста, а також вулицях центральної ділової частини міста (ЦДЧМ). Дана мета може бути досягнута шляхом зниження використання особистих автомобілів тими, хто віддасть перевагу «перехоплюючим» стоянкам і, далі скористається громадським транспортом для досягнення мети своєї поїздки, уникнувши при цьому транспортних заторів на дорогах.

«Перехоплюючі» стоянки можуть грати роль у вирішенні актуальних питань в екологічному, економічному та соціальному житті міста. У зарубіжних дослідженнях фахівцями виділяється широкий ряд завдань, які з різним ступенем ефективності можуть вирішити «перехоплюючі» стоянки [11]. Традиційно, вони розбиваються на чотири типи, в залежності від тієї сфери, для якої формулюється завдання: транспортний (зниження інтенсивності руху на основних магістралях і в ЦДЧМ; зниження кількості заторів на ВДМ та в ЦДЧМ в «пікові» години; зниження розрахункового навантаження на ВДМ міста; зниження кількості неорганізованих стоянок автомобілів безпосередньо в ЦДЧМ; зниження рівня користування автомобільним транспортом, а тим самим підвищення рівня використання громадського транспорту; підвищення пасажирообороту транспорту; покращення рівня безпеки на дорогах), економічний (підвищення ефективності використання

земель в ЦДЧМ; зниження витрат на здійснення поїздки; покращення доступності ЦДЧМ; підвищення кількості економічно привабливих поїздок в ЦДЧМ; створення більш економічної транспортної системи); екологічний (зниження кількості викидів шкідливих речовин в атмосферу від автомобільного транспорту; зниження різних екологічних факторів, наприклад, рівня шуму) чи соціальний (підвищення комунікативних зв'язків; покращення умов поїздок в ЦДЧМ, наприклад, економія часу; вирішення проблеми стоянки в ЦДЧМ; альтернатива при виборі шляху досягнення мети поїздки). Тим більше, в умовах розвитку велосипедної інфраструктури питання зменшення припаркованих автомобілів на проїзній частині ВДМ міст вимагає негайного вирішення.

Мета статті. Тому перед нами постала проблема обґрунтування підходу до формування такої системи перехоплюючих паркінгів у великих містах, яка б задовольняла потреби центрів тяжіння ЦДЧМ в паркувальних місцях. До того ж слід мати на увазі, що використання таких паркувальних систем має ряд недоліків: зростання інтенсивності руху на прилеглій ВДМ (відсутність вільних і безперешкодних під'їздів знижують ефективну роботу стоянки); необхідність проведення організаційних заходів по роботі пасажирського транспорту (збільшення частоти руху, ємності пасажирського транспорту, підвищення його комфортності, планування пішохідних потоків, інформаційне забезпечення і т.п.); збільшення викидів шкідливих речовин як від локального джерела, а також шумового забруднення для житлової забудови, розташованої в безпосередній близькості.

Вивчені умови формування систем перехоплюючих паркінгів в залежності від типу планування міста та проведений аналіз систем розміщення стоянок свідчать, що практика використання перехоплюючих стоянок та існуючий європейський перелік стандартів носять рекомендаційний, але не нормативний характер, відзначаючи загальні закономірності практичного досвіду розміщення стоянок [11].

Результати досліджень. Розроблена методика формування систем паркінгів в ЦДЧМ (кафедра організації і безпеки дорожнього руху, ХНАДУ) [12] передбачає послідовне виконання наступних етапів: на підставі карти міста розробка графу ВДМ міста не лише із зазначенням вершин та дуг графу, а і геометричних характеристик перехресть та перегонів; встановлення меж ЦДЧМ на основі визначення рівнів задоволення попиту на проїзд і паркування; анкетування адміністрації центрів транспортного тяжіння щодо попиту на паркування біля них; дослідження радіальних транспортних потоків в зонах входу умовно-радіальних магістралей в ЦДЧМ для визначення сумарної потрібної місткості системи паркінгів; порівняння результатів дослідження попиту на паркування, отриманих на двох попередніх етапах, для визначення остаточного значення сумарної місткості системи паркінгів; визначення можливостей ВДМ ЦДЧМ з надання місць паркування; призначення місць дислокації, типу та місткості па-

ркінгів; розділення ЦДЧМ на зони обслуговування (ЗО) кожним паркінгом та визначення попиту на паркування в кожній зоні; визначення раціональної системи паркінгів для ЦДЧМ в результаті моделювання схеми розміщення ЗО паркінгів за допомогою програмного продукту підтримки прийняття рішень "Parking Planing System" шляхом перевірки забезпечення попиту на паркування в кожній ЗО паркінгу та у всій ЦДЧМ.

В результаті апробації даної методики в м. Харків були отримані місця, які не обслуговуються жодним із запропонованих паркінгів. В такому випадку вирішення проблеми представляється можливим шляхом додання до вже запропонованих ще перехоплюючих паркінгів, які будуть розташовані на відстані від ЦДЧМ (єдиний недолік при такому влаштуванні) з використанням послуг маршрутного пасажирського транспорту (МПТ), організація роботи якого повинна бути на високому рівні [13].

Таким чином, при формуванні системи паркінгів з'являється ряд завдань, пов'язаних з організацією їх роботи: дослідження впливу на пропускну спроможність ВДМ припаркованих автомобілів з метою визначення їх впливу на транспортний потік під час виїзду з паркінгу; визначення постійної (на весь робочий день) і змінної (на кілька годин) складової в сумарній місткості кожного паркінгу; визначення величини та часу ротації автомобілів для кожного паркінгу; визначення пасажиропотоку (в кожну робочу годину доби) для кожного паркінгу; визначення типу та місткості рухомого складу (РС), що обслуговує клієнтів паркінгу; проектування маршруту руху обслуговуючого транспорту [14].

Найбільш вразливим питанням є зацікавленість власників ТЗ користуватись перехоплюючими парковками. Вирішальним фактором тут є максимальна зручність пішохідної досяжності або мінімальний час пересування від паркінгу до центрів тяжіння МПТ (комфортність пересування) та вартість паркування. Комфортність пересування може бути досягнута шляхом безперебійної роботи як МПТ, так і рухомих складом, що обслуговує перехоплюючу парковку. Удосконалення умов надання послуг МПТ та обґрунтування зручної пішохідної досяжності є темами інших досліджень.

Вибір місця розташування «перехоплюючих» стоянок залежить від двох основних факторів: планувальної структури магістральної ВДМ, що визначає тип міського планування та організації систем громадського транспорту.

Дослідження впливу припаркованих автомобілів на пропускну спроможність ВДМ в центрі міста надасть можливість використовувати ці результати в наданні рекомендацій щодо доцільності місць розташування перехоплюючих парковок, які не погіршать організацію дорожнього руху на основних магістралях міста. Дослідження інтенсивності, складу транспортного потоку (ТП), а також кількості автомобілів, припаркованих вздовж проїзної частини, проводилися на ділянці вул. Ярослава Мудрого в м. Харків (від вул. Чернишевська до вул. Алчевських) з понеділка по п'ятницю з 8⁰⁰ до 9⁰⁰ та з 18⁰⁰ до 19⁰⁰.

Через кожні 10 хвилин фіксувались час виїзду з організованої вуличної парковки на другу смугу руху та інтенсивність ТП на початку, в середині та в кінці парковки по другій смузі, оскільки перша смуга зайнята припаркованими автомобілями. Для отримання коефіцієнтів моделі виїзду автомобілів з парковки в залежності від інтенсивності ТП нами використано програмне забезпечення *Statistica v10.0*. За результатами натурних спостережень за часом виїзду автомобілів встановлено: середній час виїзду автомобіля складає 14,7 с, середнє квадратичне відхилення 8,9 с, гранична помилка вибірки - 0,735, об'єм вибірки - 15 с (тобто проведена достатня кількість спостережень). Нами припущено, що виїзд автомобілів змінюється по показниковому закону, звідси отримані розрахункові статистичні характеристики: виїзд автомобілів в напрямку вул. Чернишевського відповідно на початку та в кінці парковки - критерій Фішера $F=344,47$ та $F=690,54$, рівень значимості $p=0$, коефіцієнт кореляції $r=0,92$ та $r=0,96$; виїзд автомобілів в напрямку вул. Алчевських відповідно на початку та в кінці парковки - критерій Фішера $F=586,61$ та $F=333,75$, рівень значимості $p=0$, коефіцієнт кореляції $r=0,93$ та $r=0,89$ [15].

Отримані теоретичні та фактичні залежності часу виїзду ТЗ з парковки від інтенсивності ТП на другій смузі свідчать, що при незначній інтенсивності час виїзду автомобілів здійснюється за незначний проміжок часу. Це пов'язано з можливістю виїзду з парковки без додаткової складності, так як відстань між слідуючими один за одним автомобілями достатня. Починаючи з моменту, коли інтенсивність по смугах руху суттєво збільшується, в свою чергу швидкість ТП зменшується, а щільність збільшується, і відповідно відстань між слідуючими один за одним автомобілями складає менше 2 метрів, починає діяти психологічний фактор людини. Цей зв'язок є об'єктивним, оскільки водій, не бажаючи чекати, створює аварійну ситуацію на дорозі, вливаючись в ТП, який рухається по другій смузі, що призводить до зниження швидкості руху і відповідно пропускної спроможності дороги. І чим вище стає інтенсивність ТП поведінка водія становиться більш непередбачуваною, відповідно час виїзду практично не змінюється (рисунк 1).

Визначення тривалості паркування автомобілів на існуючій вуличній парковці дозволить визначити частку автомобілів в змінній складовій місткості паркінгу. В результаті спостережень за існуючою стоянкою на м-ні Свободи в м. Харків вдалось встановити кількість автомобілів які перебувають на стоянці до 2 годин (короткотривале паркування), від 2 до 5 годин та до 8 годин (паркування протягом всього дня). Коефіцієнт K_v , що визначає змінну складову, визначений як середньозважене значення для обстежених парковок [14]. Так, нами встановлено, що кількість автомобілів, яка потребує короткотривалого паркування становить 30%, кількість автомобілів, які паркуються на весь робочий день 40 %, інші – 30%.

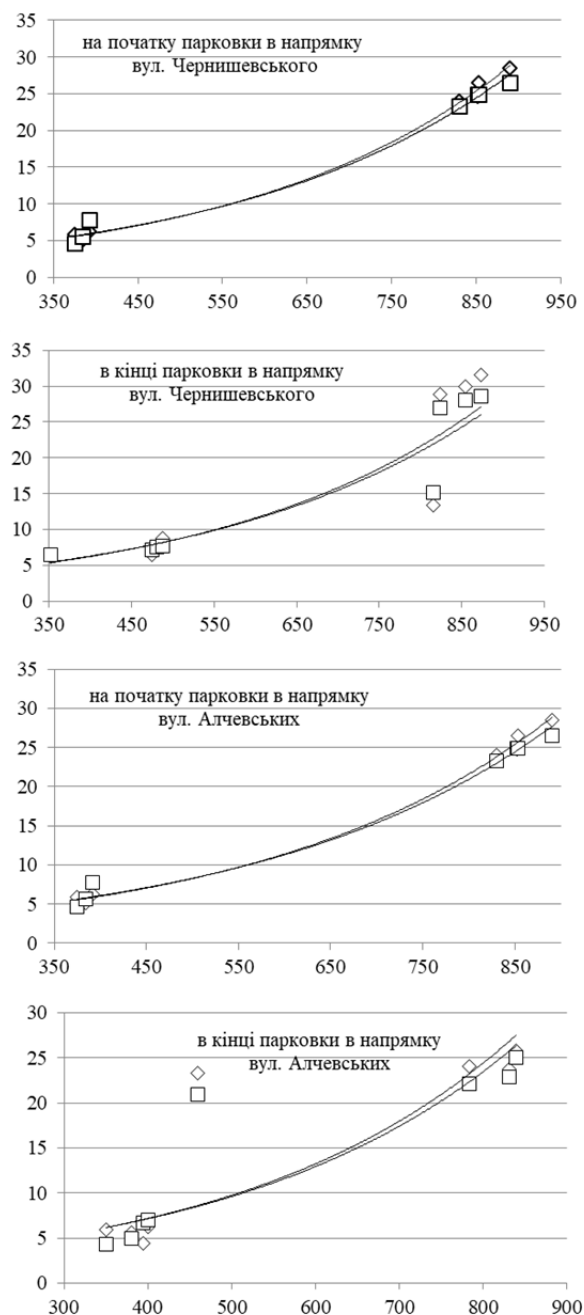


Рис.1. Залежність часу виїзду автомобілів від інтенсивності транспортного потоку
□ - теоретичний час виїзду, с; ◇ - фактичний час виїзду, с

Визначені величина та час ротації автомобілів для кожного паркінгу нададуть можливість скорегувати місткість внутрішніх паркінгів в [12]. Для їх обчислення проводилося обстеження кількості приїхавших та виїхавших протягом доби (з 8^{00} до 20^{00}) з існуючої стоянки в м. Харків (біля станції метро "Майдан Конституції", Бурсацький узвіз). Результати досліджень, які в подальшому будуть використані при визначенні годинних пасажиропотоків від запропонованого паркінгу до місць тяжіння клієнтів, наведені в таблиці 1. Розрахунок коефіцієнта ротації

k_p більш необхідний для корегування місткості внутрішніх паркінгів.

Але залишається не визначеним сам розподіл ТЗ протягом робочого дня в запропонованому паркінгу. Для цього в програмному забезпеченні *Statistica v10.0* побудовані гістограми заповнюваності існуючих стоянок протягом робочого дня (рисунки 2, 3).

Результати побудови графіка теоретичної кривої розподілу випадкових величин на обох стоянках свідчать, що статистична функція відповідає Гамма-розподілу [16]. При цьому розподіл суми квадратів незалежних безперервних величин, що перевіряє гіпотезу про закон розподілення випадкової величини $P(\chi^2) \leq 0,05$, тобто спостережуване значення вважають не випадковим. Тепер можна отримати закономірності зміни кількості припаркованих автомобілів на існуючих стоянках застосовувати і для запропонованих паркінгів.

Таблиця 1

Результати дослідження ротації на стоянці

Година доби	Загальна кількість припаркованих ТЗ, од.	Кількість виїхавших, од.	Коефіцієнт ротації, k_p
8 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	29	11	0,81
9 ⁰⁰ -10 ⁰⁰	56	21	1,55
10 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	53	19	1,47
11 ⁰⁰ -12 ⁰⁰	53	17	1,47
12 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	60	24	1,67
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	66	30	1,83
14 ⁰⁰ -15 ⁰⁰	65	29	1,81
15 ⁰⁰ -16 ⁰⁰	69	33	1,92
16 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	58	22	1,61
17 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	52	16	1,44
18 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	45	9	1,25
19 ⁰⁰ -20 ⁰⁰	33	8	0,92

Отримані значення пасажиропотоків протягом робочого дня дозволять визначитись з типом рухомого складу. При вирішенні даної задачі слід за результатами обстежень роботи парковок спочатку визначити середньоарифметичну кількість пасажирів n_{cp} в автомобілі. Для цього було проведено дослідження кількості ТЗ, які прибули на стоянку. Обстеження проводилось в робочі дні в різні години доби. За результатами натурних спостережень при власно-випадковому неповторному способі відбору отримані значення середньої кількості автомобілів, що прибувають на парковку – 12,6 од., середнє квадратичне відхилення 3,23 од., гранична помилка вибірки - 0,16, об'єм вибірки – 126 од. (тобто проведено достатню кількість спостережень). Середньоарифметичне кількість пасажирів n_{cp} в автомобілі складає 1,44 чол.

Для апробації методики в [14] нами обрана нестача паркувальних місць в Нагорному районі (за результатами наукових розробок [12] в ньому нестача складає 2473 місця). Запропоновано паркінг на 1500 місць поряд з автостанцією №4 «Лісопарк» м.

Харків. Розподіл ТЗ протягом робочого дня в запропонованому паркінгу наведено на рисунку 4.

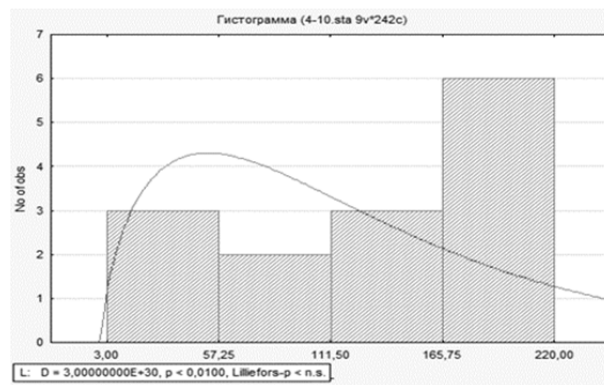


Рис. 2. Результати дослідження розподілу випадкових величин (припарковані ТЗ) на м-ні Свободи м. Харків

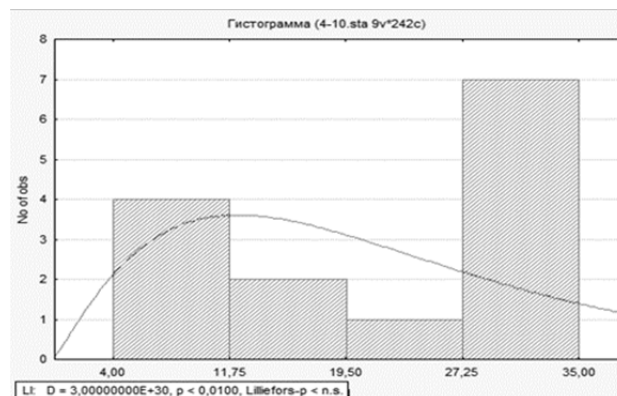


Рис. 3. Результати дослідження розподілу випадкових величин (припарковані ТЗ) на Бурсацькому узвозі м. Харків

При виборі типу РС слід враховувати, що маршрут руху РС в його кільцевій частині проходить в центрі в зоні забудови із щільною ВДМ. Як вже зазначалось, привабливість системи перехоплюючих паркінгів істотно залежить від інтервалу руху обслуговуючого РС. Викладені міркування обґрунтовують доцільність використання для обслуговування клієнтів системи перехоплюючих паркінгів автобусів невеликої пасажиромісткості, а саме 10-15 чол. Такими можуть бути Ford Transit, Mercedes Sprinter, Volkswagen Crafter, Peugeot Boxer, які користуються особливою популярністю за прийнятні технічні характеристики, надійність в експлуатації, ремонтпридатність і налагоджене технічне обслуговування, зручність і комфорт [17]. Досвід експлуатації Mercedes Sprinter свідчить, що ця марка є найбільш витратною в додаток до найвищої вартості нового автомобіля. Окупності мікроавтобуса може сприяти хіба що високий пробіг до капітального ремонту двигуна - 800000 км. У решти мікроавтобусів він значно нижче і не перевищує 350 тис. км. А найбільш економічним за підсумками річної експлуатації виходить Volkswagen Crafter. Але цей рухомий склад доцільний для використання в паркінгах невеликої місткості.

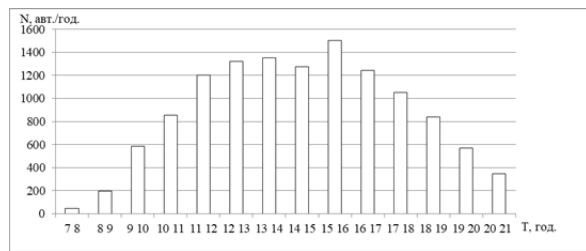


Рис. 4. Зміна середньої кількості припаркованих автомобілів в запропонованому паркінгу протягом робочого дня

Виходячи з розподілу ТЗ на рисунку 4 та середньої кількості пасажирів нами побудовано діаграму зміни пасажиропотоку по годинах доби (рисунк 5).

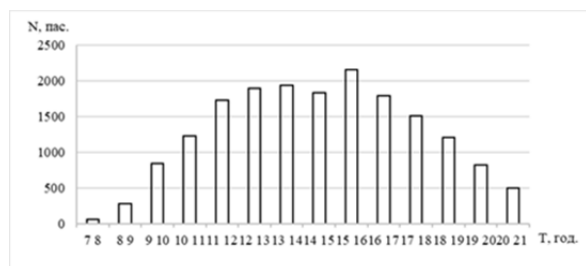


Рис. 5. Зміна добової пасажиронапруженості по робочих годинах доби

Нами запропоновано використовувати відповідність годинної пасажиронапруженості до раціональної місткості автобусів за даними Науково-дослідного автомобільно – моторного інституту (НАМІ) [18]. Дані свідчать, що значні об'єми перевезень реалізують рухомим складом великої місткості. Виходячи з рисунку 5 нами обрано для обслуговування запропонованого перехоплюючого паркінгу автобус марки БАЗ А079.30 («Еталон Сіті») - трьохвісний автобус середнього класу для міських перевезень, пасажиромісткістю 64 людини.

Кільцеву частину маршруту прокладено виходячи з дослідження часу проїзду по ділянках досліджуваної території, а саме вул. Сумська, вул. Миросицька, вул. Чернишевського, вул. Алчевських та вул. Пушкінська. Середній час проїзду на перегонах цих вулиць наведений на рисунку 6. За результатами натурних спостережень, які проводились шляхом реального проїзду ділянки в різні три робочі дні на автомобілі та виміром часу проїзду перегонів, встановлено середній час проїзду на ділянці, наприклад, 3-4 (кількість проведених замірів – 3: 45 с, 49 с, 51 с) складає 48 с, середнє квадратичне відхилення 1,8 с., гранична помилка вибірки – 2,4, об'єм вибірки – 3 заміри (тобто нами проведено достатню кількість спостережень). Аналогічно проводились розрахунки і для інших перегонів мережі.

Зазначена раніше умова проїзду по найбільш широким перегонам для полегшення проїзду і скорочення часу на маршруті недоцільна в умовах історичної забудови ВДМ в ЦДЧМ Харків. Необхідну кількість одиниць РС розраховуємо виходячи з часу обертів на маршруті, який при довжині маршруту 6,4

км, швидкості руху 50 км/год., кількості проміжних зупинок 12 од.

Оскільки маршрут кільцевий, то час обертів (рейсу) становить 25 хв. Так, автобус здійснює за одну годину 2,4 рейсів.

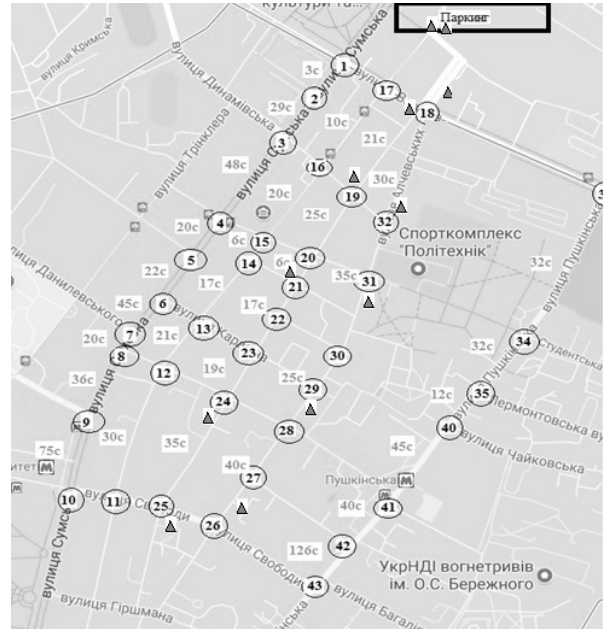


Рис. 6. Середній час проїзду на перегонах
▲ - зупиночний пункт

При коефіцієнті змінності $K_{зм}=1,25$, коефіцієнт використання пасажиромісткості $\gamma=1$, та місткості автобуса 64 чоловік за 1 годину може буде перевезено 191 людину. Звідси будемо діаграму зміни необхідної кількості автобусів для обслуговування в кожну робочу годину доби (рисунк 7). Наприклад, максимальна кількість автобусів з 15⁰⁰ до 16⁰⁰ складає 10 одиниць. Ця кількість автобусів необхідна для обслуговування запропонованого паркінгу з місткістю 1800 ТЗ. Для внутрішніх паркінгів можна провести такий самий розрахунок, але напевно кількість одиниць рухомого складу буде меншою.

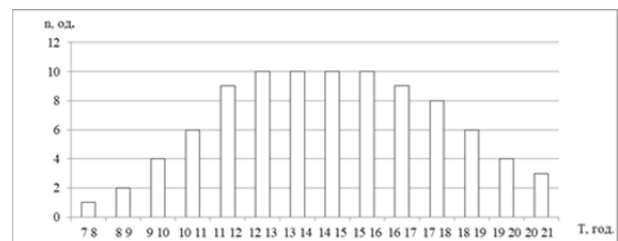


Рис. 7. Діаграма зміни необхідної кількості одиниць рухомого складу для обслуговування паркінгу

Слід також зазначити, що даний паркінг розрахований на обслуговування населення селища Жуковського, Мала Данилівка, Померки, П'ятихатки та інші. Але не всі з них потребують паркування в Нагорному районі. В цьому випадку вони можуть скористатися маршрутами МПТ, який підвозить до ста-

нцій метро «Університет» або «Майдан Конституції», слідуючи по вулиці Сумська.

Друге питання, як бути з мешканцями інших районів м. Харків, що потребують паркування в районі дослідження. Тут вже грає роль досконало налагоджена робота РС на маршруті. Як вже було зазначено, зупинки слід планувати поблизу великих торговельних або розважальних центрів, офісних будівель і т.п., але не рідше ніж через 400-500 м, як це показано на карті Нагорного району на рисунку 6.

Спроектований маршрут, що обслуговує паркінг, який має бути запропонований з розташуванням зупиночних пунктів, забезпечить потенційним клієнтам мінімальний час пересування по ВДМ досліджуваного району та близькість до місць дислокації в ньому центрів тяжіння.

Висновок. Підводячи результати, можна сформулювати основні принципи проектування «перехоплюючих» стоянок: створення єдиної системи «перехоплюючих» стоянок на території міста, в ідеальному випадку - стоянка повинна входити до складу кожного транспортно-пересадкового вузла; забезпечення максимально комфортних умов здійснення поїздки з використанням «перехоплюючої» стоянки; мінімальної кількості затримок при під'їзді до транспортно-пересадочних вузлів; організації в'їзду-виїзду зі стоянки, пошуку паркувального місця, пересадки на пасажирський транспорт і виходу до кінцевої точки маршруту; забезпечення необхідних заходів безпеки, як пасажирів, так і його автомобіля; забезпечення повного інформаційного супроводу; забезпечення високого рівня сервісу і якості обслуговування.

Застосування всіх вище перерахованих рекомендацій і принципів при розробці документації з планування, проектування та організації роботи «перехоплюючих» стоянок дозволить забезпечити ефективну і результативну роботу даного сервісу в сфері вирішення транспортної проблеми великих міст України.

Л і т е р а т у р а

1. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху / Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В. К. та ін. ; під ред. М. Ф. Дмитриченка. – К.: Знання України, 2007. – 452 с. – (5 кн. / Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К. та ін.; кн. 4).
2. Власов Д.Н. Совершенствование транспортной системы крупнейшего города, путем развития системы «перехватывающих» парковок / Д.Н. Власов, Н. В. Данилина // Научно-технический журнал «Вестник МГСУ». – 2010. – №4. – С.49–54.
3. Данилина Н.В. Определение потребности транспортно-пересадочных узлов в «перехватывающих» стоянках / Н.В. Данилина // «Современные проблемы науки и образования» – 2012. – №6. (приложение "Технические науки"). – С. 6 (интернет-издание URL:<http://online.rae.ru/1021>).
4. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов / Е. М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
5. Справочник по безопасности дорожного движения / под ред. проф. В.В. Сильянова. – Осло – Москва – Хельсинки, 2001. – 774 с.

6. Власов Д.Н. «Перехватывающая» стоянка как ключевой элемент транспортно-пересадочного узла/ Д.Н. Власов, Н.В. Данилина // Международный научно-технический журнал «Недвижимость: экономика, управление». – 2011. – №2. – С. 55–58.
7. Данилина Н.В. Научно-методические основы формирования системы «перехватывающих» стоянок в крупнейших городах (На примере города Москвы): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.22 / Данилина Нина Васильевна; Москов. гос. строит. ун-т. – М., 2012. – 20 с.
8. Боровик Е.Н. Формирование парковочных пространств на территории Москвы / Е.Н. Боровик // Транспортная безопасность и технологии. Национальный журнал-каталог. – 2005. – № 2 (3). – С. 58–62.
9. Галкина Н.Г. Зарубежный опыт организации парковок / Н.Г. Галкина, Э. Э. Сафронов // Вестник ХНАДУ. – 2009. – № 47. – С. 24–27.
10. Куприянова А.Б. Оптимизация транспортного обслуживания центра крупного города в условиях приоритета общественного транспорта и системы перехватывающих стоянок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Куприянова Александра Борисовна; Иркутск. гос. техн. ун-т. – Иркутск, 2008. – 20с.
11. Законы и стандарты организации парковок в разных странах [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ecoparcovka.ru/articles/65>. Размещение гаражей и автостоянок в городской застройке. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.allstroy.ru/proectirivanie>
12. Холодова О.О. Формування систем паркінгів в центральних ділових частинах великих та найбільших міст: автореф. дис. ...канд. тех. наук: 05.22.01 / Холодова Ольга Олександрівна; ХНАДУ.- Х., 2013.- 24 с.
13. Дульфан С.Б. Закономірності впливу «перехоплюючих» парковок на формування транспортних потоків (на прикладі м. Харків): автореф. дис. ...канд. тех. наук: 05.22.01 / Дульфан Сергій Борисович; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х., 2016. – 22 с.
14. Холодова О.А. Задача проектирования систем перехватывающих паркингов в крупных городах / Е.М. Гецович, О.А. Холодова, В.В. Шелудченко// Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. Харьковского национального автомобильно-дорожного университета / Министерство образования и науки Украины; редкол.: Туренко А.Н. (гл. ред.) и др. – 2014. - Вып.35. - С. 128-132.
15. Розробка алгоритму визначення пропускної здатності вулично-дорожньої мережі. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://knowledge.allbest.ru/transport>.
16. Галушко В.Г. Вероятностно- статистические методы на автотранспорте/ В.Г. Галушко.- К. : Вища школа, 1976.- 232 с.
17. Mercedes Sprinter или Volkswagen Kraftr - 5 преимуществ! [Электронный ресурс] – Режим доступу: <https://avtomaniya.com/site/publication-full/12084>.
18. Володин Е.П. Организация и планирование перевозок автомобильным транспортом: Учебник/ Е.П. Володин, Н.И. Громов - М.: Транспорт, 1982. - 224 с.

References

1. Sistemologiya na transporti. Organizatsiya dorozhnogo ruhu / Gavrilov E.V., Dmitrichenko M.F., Dolya V. K. ta in. ; pid red. M. F. Dmitrichenka. – K.: Znannya UkraYini, 2007. – 452 p. – (5 kn. / Gavrilov E.V., Dmitrichenko M.F., Dolya V.K. ta in.; kn. 4).

2. Vlasov D.N. Sovershenstvovanie transportnoy sistemy krupneyshego goroda, putem razvitiya sistemy «perehvatyivayuschih» parkovok / D.N. Vlasov, N. V. Danilina // Nauchno-tehnicheskij zhurnal «Vestnik MGSU». – 2010. – #4. – P.49–54.
 3. Danilina N.V. Opredelenie potrebnosti transportno-peresadochnykh uzlov «perehvatyivayuschih» stoyankah / N.V. Danilina // «Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya» – 2012. – #6. (prilozhenie "Tehnicheskie nauki"). – P. 6 (internet-izdanie URL: <http://online.rae.ru/1021>).
 4. Lobanov E.M. Transportnaya planirovka gorodov / E. M. Lobanov. – M.: Transport, 1990. – 240 p.
 5. Spravochnik po bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya / pod red. prof. V.V. Silyanova. – Oslo – Moskva – Helsinki, 2001. – 774 p.
 6. Vlasov D.N. «Perehvatyivayushchaya» stoyanka kak klyuchevoy element transportno-peresadochnogo uzla / D.N. Vlasov, N.V. Danilina // Mezhdunarodnyy nauchno-tehnicheskij zhurnal «Nedvizhimost: ekonomika, upravlenie». – 2011. – #2. – S. 55–58.
 7. Danilina N.V. Nauchno-metodicheskie osnovy formirovaniya sistemy «perehvatyivayuschih» stoyanok v krupneyshih gorodah (Na primere goroda Moskvy): avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.23.22 / Danilina Nina Vasilevna; Moskov. gos. stroit. un-t. – M., 2012. – 20 p.
 8. Borovik E.N. Formirovanie parkovochnykh prostranstv na territorii Moskvy / E.N. Borovik // Transportnaya bezopasnost i tehnologii. Natsionalnyy zhurnal-katalog. – 2005. – # 2 (3). – p. 58-62.
 9. Galkina N.G. Zarubezhnyy opyt organizatsii parkovok / N.G. Galkina, E.H. E.H. Safronov // Vestnik HNADU. – 2009. – № 47. – p. 24–27.
 10. Kupriyanova A.B. Optimizatsiya transportnogo obsluzhivaniya centra krupnogo goroda v usloviyah prioriteta obshchestvennogo transporta i sistemy perehvatyivayushchih stoyanok: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10 / Kupriyanova Aleksandra Borisovna; Irkutsk. gos. tekhn. un-t. – Irkutsk, 2008. – 20 p.
 11. Zakony i standarty organizatsii parkovok v raznykh stranah [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.ecoparcovka.ru/articles/65>. Razmeshchenie garazhej i avtostoyanok v gorodskoj zastroyke. [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.allstroy.ru/proectirivanie/>.
 12. Holodova O.O. Formuvannya sistem parkingiv v central'niy dilovih chastinah velikih ta najbil'shikh misc': avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk: 05.22.01 / Holodova Ol'ga Oleksandrivna; HNADU. – H., 2013. – 24 p.
 13. Dul'fan S.B. Zakonomirnosti vplivu «perehoplyuyuchih» parkovok na formuvannya transportnih potokiv (na prikladi m. Harkiv): avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk: 05.22.01 / Dul'fan Sergij Borisovich; Hark. nac. akad. mis'k. gosp.-va. – H., 2016. – 22 p.
 14. Holodova O.A. Zadacha proektirovaniya sistem perehvatyivayushchih parkingov v krupnykh gorodah / E.M. Gecovich, O.A. Holodova, V.V. SHELUDCHENKO // Avtomobil'nyy transport: sb. nauch. tr. Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta / Ministerstvo obrazovaniya i nauki Ukrainy; redkol.: Turenko A.N. (gl. red.) i dr. – 2014. – Vyp.35. – p. 128-132.
 15. Rozrobka algoritmu viznachennya propusknoyi zdatsnosti vulichno-dorozhnoyi merezhl. [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupu: <https://knowledge.allbest.ru/transport>.
 16. Galushko V.G. Veroyatnostno- statisticheskie metody na avtotransporte/ V.G. Galushko.- K.: Vishcha shkola, 1976.- 232 p.
 17. Mercedes Sprinter ili Volkswagen Kraftr - 5 preimuschestv! [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupu: <https://avtomaniya.com/site/publication-full/12084>.
 18. Volodin E.P. Organizatsiya i planirovanie perevozok avtomobil'nyim transportom: Uchebnik/ E.P. Volodin, N.I. Gromov - M.: Transport, 1982. - 224 p.
- Холодова О.А., Левченко Е.С. Формирование систем перехватывающих паркингов в крупных городах.**
- Доказана необходимость формирования систем паркингов в крупных городах; проведен анализ разработок и условий формирования систем паркингов, в частности, перехватывающих; предоставлены этапы методики формирования систем паркингов и практические рекомендации по организации работы перехватывающих паркингов; применение предложенной методики формирования систем паркингов позволяет создать такую систему, которая удовлетворит потребности всех центров притяжения центральной деловой части города в парковочных местах.*
- Ключевые слова:** перехватывающий паркинг, улично-дорожная сеть, центральная деловая часть города, транспортное средство, стоянка, маршрутный пассажирский транспорт.
- Kholodova O.O., Levchenko O.S. Creation of the systems of park and rides in the big cities.**
- The necessity of creation of the parking systems in the big cities is proved; the analysis of developments and conditions for the creation of parking systems, inter alia, park and rides, is carried out; the stages of the procedure of creating the parking system and practical recommendations for the organization of operation of park and rides are provided; average parking time, amount and time of car traffic at parking lots are determined, a type of vehicle stock operating on the march route servicing the clients of the parking lot is determined based on the obtained values; application of the proposed procedure of creation of parking system allows to create a system that will satisfy the needs of all centers of attraction of the central business district in parking areas.*
- Keywords:** park and ride, street and road network, central business district, vehicle, parking lot, public transport.
- Холодова Ольга Олександрівна** - к.т.н., доцент кафедри, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: olgakholodova2807@ukr.net.
- Левченко Олена Сергіївна** - асистент кафедри, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: levchenkoelena77@gmail.com.
- Рецензент:* д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

УДК 656.61:681.3(045)

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЮ І АНАЛІЗУ РОБОТИ ФЛОТУ

Чайковський І. В.

MAIN PRINCIPLES OF MATHEMATICAL SUPPORT SYSTEMS OF THE CONTROL AND ANALYSIS OF THE FLEET WORK

Tchaikovsky I. V.

У статті розглянуті питання щодо основних принципів побудови системи математичного забезпечення задач контролю і аналізу роботи флоту. Наведені основні види забезпечення комплексу задач контролю та аналізу перевезень та роботи флоту. Наведені показники, що відповідають рівням технологічних операцій, які є необхідними для розрахунку сукупності похідних експлуатаційних і фінансових показників роботи суден. Розглянуті основні принципи щодо проектування системи математичного забезпечення задач контролю і аналізу роботи морських транспортних суден. Розглянуто питання економічної доцільності рішення задач контролю та аналізу роботи флоту.

Ключові слова: система управління, інформаційне забезпечення, математичне забезпечення, контроль, аналіз, флот, рейс, показник.

Вступ. Реалізація рішень задач контролю і аналізу роботи морських транспортних суден потребує відповідного забезпечення. Якість рішення задач контролю і аналізу роботи флоту в значній мірі залежить від якості їх інформаційного забезпечення. В описі складових одиниць інформації виділені первинні показники, до яких відносяться показники в основному, що відповідають рівню технологічних операцій, які є необхідними для розрахунку усієї сукупності похідних експлуатаційних і фінансових показників роботи суден.

Постановка проблеми. Умови виробничої діяльності підприємств морської галузі характеризується крайньою нестабільністю. Рішення комплексу задач контролю і аналізу роботи флоту вимагає застосування спеціального математичного забезпечення, розробку програм орієнтованих на рішення конкретних задач управління і їх інформаційне забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні підходи щодо побудови системи математичного забезпечення задач контролю і аналізу роботи

флоту розглядалися в роботах Бейгула В.П., Гуревича Г.Є., Немчикова В.І., Топчого С.М., Шумлянського Г.Ф., Мироненка А.Ф., Шибаєва О.Г., Кирилової О.В. та ін. Однак, і сьогодні при проектуванні та побудові системи математичного забезпечення задач контролю та аналізу роботи морських транспортних суден, виникає багато запитань.

Мета статті. Вирішенням поставленої проблеми є визначення основних принципів побудови системи математичного забезпечення рішення задач контролю і аналізу перевезень і роботи флоту.

Результати досліджень. До основних видів забезпечення комплексу задач, відносять методичне, інформаційне, математичне і організаційно-технічне забезпечення. [1]

Так як інформаційне забезпечення задач, є надзвичайно ємним і представляє собою значну частку з усіх видів забезпечення, необхідного для рішення усіх задач управління.

Виділимо наступні питання які повинні бути розглянуті при організації інформаційного забезпечення:

- склад інформації;
- структура інформації і закономірності її перетворення;
- документальне відображення процесів і якості інформації.

Основна мета інформаційного забезпечення задач системи управління надати правильне уявлення про результати роботи суден, тому воно повинно розглядатися як відображення виробничого процесу:

$$P \rightarrow I \quad (1)$$

де P - виробничий процес;

I - інформаційне відображення виробничого процесу.

Структура виробничого процесу роботи флоту може бути представлена у вигляді складових одиниць інформації, яку можна розглядати як інформаційну модель об'єкту управління. [2]

Складова виробнича одиниця, яка відповідає виробничому процесу роботи флоту – Р, в свою чергу, включає цілий ряд складових одиниць інформації більш низького рівня так, що кожний рівень описується сукупністю показників, що відносяться до рівня в цілому і навпаки, що складають його – одиниці більш низького рівня (табл.).

Для здійснення управління роботою флоту, інтерес представляє не саме по собі фактичне значення показників, а їх відхилення від плану, тому з позиції управління в інформаційній системі повинні накопичуватись та узагальнюватись відхилення від плану із зазначенням причин що їх зумовили, тобто, результати контролю і аналізу.

Групування відхилень від плану повинне здійснюватися по рівням, що відповідають необхідності інтеграції інформації, виходячи з потреб задач управління. Розбивка флоту на окремі групи повинна здійснюватися на основі організаційної структури судноплавного підприємства. Так як, в системі управління роботою флоту використовується принцип планування, то в залежності від часу опису одного і того ж об'єкту – рейсу, інформація про нього повинна уточнюватись і розширюватись.

Важливою складовою інформаційного забезпечення задач контролю і аналізу роботи флоту є планові завдання, основу яких складають планові значення. У зв'язку з наявністю декількох рівнів планування, що потребують різних, за ступенем деталіза-

ції вихідних даних, виділяються і відповідні рівні планових значень. При чому, нижчим, найбільш детальним рівнем є планові значення рейсового планування, на основі яких, можуть бути отримані планові показники усіх вищестоящих рівнів. [3]

Конкретний зміст планових значень залежить від виду технологічної операції. Для основних і деяких допоміжних операцій в зв'язку з тим, що вони мають мінливе значення обсягу виконуваних робіт, плановим значенням є інтенсивність їх виконання (швидкість судна, норми вантажних робіт, норма бункеровки тощо). Для основної маси допоміжних операцій, що мають постійне значення обсягу виконуваних робіт нормується тривалість їх виконання.

Рішення задач контролю і аналізу здійснюється на основі системи математичного забезпечення, яке прийнято розділяти на машинне, загальносистемне і спеціальне.

Склад спеціального або прикладного математичного забезпечення визначається складом сформульованих задач контролю і аналізу, методами їх рішення, а також принципами побудови системи математичного забезпечення.

До основних принципів, що використовуються при проектуванні системи математичного забезпечення відносяться: універсальність, модульність і відкритість, тобто, можливість внесення доповнень і змін. [4]

Універсальність математичного забезпечення, спеціалізованого на рішенні задач контролю і аналізу, забезпечується його роботою в двох режимах – генерації та експлуатації. [5]

Таблиця

Рівні виробничого процесу роботи флоту і відповідний їм склад елементів

Найменування рівня	Склад елементів	
Виробничий процес роботи флоту судноплавного підприємства	Виробничі процеси роботи суден	
Виробничий процес роботи судна	Найменування судна	
	Призначення судна, тип судна, належність до елементів структури управління	
	Роботи виконувані за календарний період	
	Показники роботи судна	
Робота судна	Вид та найменування роботи	
	Початок, закінчення роботи	
	Технологічні процеси роботи судна – рейси	
	Показники, що відповідають роботі	
Технологічний процес роботи судна	Номер рейсу, рік	
	Початок, закінчення рейсу	
	Вид судноплавства, вид плавання	
	Робочі процеси (стоянка в порту; перехід)	
	Показники рейсу	
Робочий процес	Стоянка в порту (завантаження, вивантаження)	Перехід між портами
	Найменування порту	Найменування порту відправлення-призначення
	Дати і час відходу-приходу	
	Технологічні операції	
Технологічні операції	Найменування операції	
	Показники операції (тривалість, планове значення, обсяг роботи, доходи, витрати)	

Програми, що реалізуються спеціальним математичним забезпеченням об'єднанні в групи, у відповідності до виділених задач: визначення відхилень по первинним параметрам процесу; розрахунок еластичностей підсумкових показників рейсу по факторам; аналіз і прогнозування підсумкових показників рейсу; контроль стійкості графіку роботи флоту; контроль виконання планів роботи флоту.

Визначення відхилень по параметрам технологічних операцій дозволяють здійснити визначення відхилень операцій за часом, обсягом роботи і плановим значенням виконання технологічних операцій, а також, відповідним їм доходам та витратам.

Аналіз і прогнозування підсумкових показників, передбачає визначення темпів приросту показників прийнятих для оцінки рейсу в результаті зміни параметрів технологічних операцій.

Контроль стійкості графіку роботи флоту, дозволяє здійснити слідування за незмінністю множини маршрутів руху суден, узгодити дати подачі суден і вантажів в порти, забезпечити своєчасність прийняття регулювальних рішень, а найголовніше, здійснити роботу по дійсно оптимальному графіку, протягом всього календарного періоду.

Контроль виконання планів роботи флоту передбачає накопичення даних про виконання відповідних планів по мірі відправлення суден і закінчення рейсів і доповнення їх оцінками результатів поточної роботи всіх суден.

При уточненні оперативних даних, здійснюється коригування результатів контролю і аналізу так, що на кожний момент часу є оцінка виконання плану як по кожному рейсу, так і по будь-якій групі суден, з точністю обумовленою точністю даних, що надійшли. Це дозволяє здійснити інтеграцію різних видів обліку контролю і аналізу роботи флоту.

Певною проблемою для оцінки економічної доцільності рішення задач контролю і аналізу роботи флоту є те, що задачі контролю і аналізу відносяться до пасивних функцій управління. Як відомо, ці функції направлені на забезпечення активних функцій і фактично дають, в основному лише непрямий ефект. Крім того, відсутні чіткі методичні розробки про зв'язок між задачами контролю і регулювання, для забезпечення яких призначені результати контролю і аналізу, і які безпосередньо створюють прямий ефект.

Результати контролю і аналізу служать для забезпечення задач регулювання. Поліпшення функції регулювання і є головним джерелом ефективності контролю. Між моментом виникнення відхилень у виконанні плану або зміни умов рейсу і прийняттям необхідного регулювального впливу існує певний проміжок часу, що називається періодом регулювання. Очевидно, що чим триваліший період регулювання, тим значніші виникаючі втрати від функціонування системи управління зі зниженою ефективністю.

Тривалість періоду регулювання в значній мірі залежить від тривалості контролю і аналізу, які є його складовими частинами.

Складовими економічної доцільності при контролі роботи кожного судна є зменшення невиробничих простоїв, величини витрат, підвищення продуктивності судна і збільшення об'єму виконуваних перевезень і прискорення термінів доставки вантажів.

Висновок. Враховуючи відмінності в потребах інформації рівнів управління судноплавним підприємством, рівень, що відповідає флоту в цілому (Р) необхідно деталізувати.

До важливих недоліків рейсових планів відносять недосконалість процесу їх корегування. В результаті чого, відсутні своєчасні впливання на перевізний процес, що викликає певні труднощі в забезпеченні роботи флоту в дійсно оптимальному режимі.

Оцінка економічної доцільності рішення задач контролю і аналізу роботи флоту, представляє певні труднощі. Частина з них обумовлена особливостями задач контролю і аналізу.

Література

1. Бакаев В.Г. Эксплуатация морского флота / В. Г. Бакаев. – М.: Транспорт, 1965. – 560 с.
2. В.И. Немчиков Организация работы и управление морским транспортом. М.: Транспорт, 1982. – 343 с.
3. Кондрашихин О.Т., Статкевич В.В. Нормативная база оперативного планирования работы флота. Экономика и эксплуатация морского транспорта. ЦРИЛ «Морфлот», 1978.
4. Дубинский П.Р., Кондрашихин О.Т., Петухов В.С., Союзов А.А. Организация и планирование работы морского флота. [ред.] Союзов А.А. М.: Транспорт, 1979. – 416 с.
5. П.Я. Панарин. Новое по вопросам организации и планирования работы морского флота. М.: Рекламинформбюро ММФ, 1976. – 59 с.
6. Е.Н. Воеводский. Управление на морском транспорте. М.: Транспорт, 1992. – 375 с.
7. Шибаев А.Г. Подготовка и обоснование решений по управлению перевозками и работой флота морской судоходной компании. – Одесса: «ХОРС», 1998. – 208 с.
8. Орловский П.Н. Системный анализ (основные понятия, принципы, методология) / П. Н. Орловский. – К.: ИСМО, 1996. – 360 с.
9. Панарин П.Я. Организация работы линейного флота: монография / П.Я. Панарин. – М.: Транспорт, 1980. – 192 с.
10. Шибаев А.Г., Кириллова Е.В., Кириллов Ю.И. Управление работой флота (Основы теории и практики). – Одесса: Феникс, 2012. – 187 с.

References

1. Bakaev V.G. Operation of the Navy / V. G. Bakaev. - M.: Transport, 1965. - 560 p.
2. V.I. Nemchikov Organization of work and management of sea transport. M.: Transport, 1982. - 343 p.
3. Kondrashikhin OT, Statkevich V.V. Regulatory framework for operational fleet planning. Economy and operation of maritime transport. CRIL "Morflot", 1978.

4. Dubinsky P.R., Kondrashikhin O.T., Petukhov V.S., So-yuzov A.A. Organization and planning of the navy. [Ed.] Unions A.A. M.: Transport, 1979. - 416 p.
5. P.Ya. Panarin. New on the organization and planning of the marine fleet. M.: Advertising Ministry of the MMF, 1976. - 59 p.
6. E.N. Voevudsky. Management on sea transport. M.: Transport, 1992. - 375 p.
7. Shibaev A.G. Preparation and justification of decisions on the management of shipments and fleet operations of the maritime shipping company. - Odessa: "HORS", 1998. - 208 p.
8. Orlovsky P.N. System analysis (basic concepts, principles, methodology) / P. N. Orlovsky. - K.: ISMO, 1996. - 360 p.
9. Panarin P.Ya. The organization of the work of the linear fleet: monograph / P.Ya. Panarin. - M.: Transport, 1980. - 192 p.
10. Shibaev A.G., Kirillova E.V., Kirillov Yu.I. Fleet management (Fundamentals of Theory and Practice). - Odesa: Phoenix, 2012. - 187 p.

И. В. Чайковский Основные принципы построения системы математического обеспечения задач контроля и анализа работы флота

В статье рассмотрены вопросы основных принципов построения системы математического обеспечения задач контроля и анализа работы флота. Приведены основные виды обеспечения комплекса задач контроля и анализа перевозок и работы флота. Приведенные показатели, соответствующие уровням технологических операций, необходимых для расчета совокупности производных эксплуатационных и финансовых показателей работы судов. Рассмотрены основные принципы по проекти-

рованию системы математического обеспечения задач контроля и анализа работы морских транспортных судов. Рассмотрены вопросы экономической целесообразности решения задач контроля и анализа работы флота.

Ключевые слова: *система управления, информационное обеспечение, математическое обеспечение, контроль, анализ, флот, рейс, показатель.*

I. V. Tchaikovsky Main principles of mathematical support systems of the control and analysis of the fleet work

The article deals with the basic principles of constructing a system of mathematical support for tasks of control and analysis of the fleet's work. The main types of maintenance of a complex of tasks of control and analysis of transportation and work of the fleet are given. These indicators correspond to the levels of technological operations that are necessary for calculating the combination of operational and financial performance indicators of ships. The basic principles concerning the design of a system of mathematical support for tasks of control and analysis of the operation of marine transport vehicles are considered. The questions of economic expediency of the decision of tasks of control and analysis of work of the fleet are considered.

Key words: *control system, information provision, mathematical support, control, analysis, fleet, flight, index.*

Чайковский І. В. – старший викладач кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету, м. Одеса, вул. Мечникова, 34, e-mail: chaikovski_ivan@ukr.net.

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 12.03.2019

УДК 629.4.018

МЕТОДИКА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО ГАЛЬМУВАННЯ

Яровий Р.О., Чернецька-Білецька Н.Б.

METHOD OF IMMATIOUS MODELING OF ELECTRODYNAMIC BRAKING PROCESSES

Yarovoy R., Chernetska-Biletska, N.

Метою дослідження є створення методики імітаційного моделювання показників роботи маневрового тепловозу ЧМЕЗТ при електродинамічному гальмуванні на сортувальній горщі. Запропонований новий підхід для визначення техніко-економічних показників. Розроблено методику та створена імітаційна математична модель процесів, які заснована на виконанні тягових та електродинамічних розрахунків. Приведено алгоритм розрахунків показників електродинамічного гальмування на сортувальній горщі. Встановлений зв'язок між витратами палива та накопичувачем енергії у силовому ланцюзі маневрового локомотива ЧМЕЗТ. Для зниження енергетичних витрат на маневрову роботу розглянуто питання ефективності застосування накопичувачів енергії на маневрових локомотивах типу ЧМЕЗТ. Проведений порівняльний аналіз витрат палива та динамічних показників при використанні накопичувача енергії у силовому ланцюзі та без нього.

Ключові слова: рухомий склад, маневрова робота, тяговий розрахунок, модернізація маневрових локомотивів, електродинамічне гальмування, накопичення енергії, гідридний привід.

Вступ. У статті запропоновано новий підхід оцінки техніко-економічних показників роботи тепловоза шляхом математичного моделювання процесів, що відбуваються в силовій установці і агрегатах при електродинамічному гальмуванні. Процес гальмування уявимо як стохастичну безліч елементарних операцій, в яких процеси в силовій установці можуть бути змодельовані з будь-яким ступенем точності. Такий підхід дозволяє отримати загальну оцінку техніко-економічних показників роботи маневрового тепловоза.

Аналіз структури витрат паливно-енергетичних ресурсів за всіма технічними засобів і технологій здійснення перевізного процесу на залізничному транспорті дозволяє визначити основні напрямки підвищення енергетичної ефективності і енергозбереження. Основним заходом, спрямованим на зниження рівня споживання паливно-енергетичних ресурсів тяговим рухомим складом, є його модерніза-

ція з пониженням питомої витрати палива на одиницю виконаної роботи і підвищенням ККД, а також його заміна на більш сучасний і енергоефективний рухомий склад.

Одним з інноваційних енергозберігаючих напрямків є застосування енергоємних накопичувачів енергії на маневрових локомотивах.

Постановка проблеми. Основна проблема визначення ефективності використання накопичувачів енергії у маневрових тепловозах полягає у встановленні зв'язку між параметрами накопичувача енергії та споживанням палива маневровим локомотивом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі Коссов Е.Е.[6] вирішував задачу підвищення якості робочого процесу дизеля в несталіх режимах за рахунок використання накопичувача енергії у силовій мережі тепловозу. Також було теоретично обґрунтовано спосіб керування силовою установкою тепловоза з накопичувачем з метою зменшення необхідної розрахованої енергоємності накопичувача. В роботах Є.П. Лосева [5] розглянуто спосіб вибору необхідних параметрів комбінованих силових установок локомотивів на основі завантаження силових установок локомотивів при їх роботі на конкретних ділянках. Тепловий двигун забезпечує деяку середню потужність тепловозу, необхідну в експлуатації, а перевищення або дефіцит тягової потужності покривається накопичувачем, необхідна енергоємність якого визначається за тривалістю режимів зарядження і розрядження, а також за часткою потужності, яку має реалізувати накопичувач в цих режимах. Недоліком цього підходу є те, що вони не враховуються багато факторів які впливають на параметри споживання паливно-енергетичних ресурсів маневрових локомотивів з накопичувачем енергії.

Мета. Мета дослідження це новий підхід оцінки техніко-економічних показників роботи тепловоза шляхом математичного моделювання процесів є оцінка енергоефективності технічних рішень в про-

ектах використання накопичувачів енергії при модернізації маневрових локомотивів.

Результати досліджень. Оцінка енергетичних витрат на маневрові операції є найбільш складним і важливим моментом при виборі накопичувача енергії, так як при цьому необхідно мати математичну модель руху составу, максимально відповідну реальним умовам з урахуванням безупинно мінливих плану і профілю колії, метео умов.

Розроблено методику та створена імітаційна математична модель процесів, пов'язаних з виконанням маневрових робіт, яка заснована на виконанні тягових розрахунків для операції електродинамічного гальмування.

Визначимо питому гальмівну силу локомотива при електродинамічному гальмуванні за такою формулою:

$$b_T = n(0,367C\Phi \cdot I_T + \Delta b_T),$$

де Δb_T - складова гальмівної сили викликана магнітними і механічними втратами, Н;

$C\Phi$ - навантажувальна характеристика;

n - кількість тягових двигунів;

I_T - гальмовий струм, А.

Навантажувальна характеристика пов'язана зі швидкістю руху і залежить від конструктивних особливостей тягового двигуна.

Складова гальмівної сили визначається:

$$\Delta b_T = 0,367 \frac{\Delta P_{\text{маг}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_n}{v}$$

де $\Delta P_{\text{маг}}$ - магнітні втрати, Вт;

$\Delta P_{\text{мех}}$ - механічні втрати, Вт;

ΔP_n - втрати в передачі, Вт;

v - швидкість руху, м/с

Струм гальмування пов'язаний зі швидкістю руху поїзда:

$$I_T = \frac{v_i \cdot C\Phi}{\sum R_{\text{ц}}}$$

де $\sum R_{\text{ц}}$ - загальний опір кола двигун та накопичувач, Ом;

Швидкість руху маневрового складу в будь-якій точці визначається за формулою:

$$v_i = v_{i-1} + a\Delta t$$

де a - прискорення (уповільнення) поїзда при дії прискорюючої (сповільнюючої) сили в м/с²;

Δt - крок інтегрування, в розрахунках приймається рівним с;

v_{i-1} - швидкість руху при попередньому кроці, м/с;

В основу даної моделі покладено диференціальне рівняння руху поїзда (маневрового состава):

$$a = \frac{(F - w_q'' - w_l')}{Q} - (S - L_2) \frac{(Qg)}{(1 + \gamma)} + \frac{L_b}{g} + m_l$$

де F - питома сила тяги локомотива, Н;

w_q'' - загальний питомий опір руху рухомого

складу, Н/кг;

w_l' - загальний питомий опір руху локомотиву,

Н/кг;

L_2 - довжина підгірного шляху, м;

L_2 - довжина насувної частини, м;

S - загальна довжина, м;

γ - коефіцієнт що враховує інерцію рухомого складу;

Q - маса рухомого складу, кг;

Основним фактором, що визначає на прискорення руху маневрового складу, є питома сила тяги маневрового локомотива.

Тягові характеристики локомотивів задаються таблично і змінюються в залежності від розрахункової швидкості руху.

Енергія що вироблюється при електродинамічному гальмуванні можливо оцінити рівнянням:

$$P_i = \frac{v_i^2 - \frac{1}{\eta_e} \left(\frac{\sum R_{\text{ц}} C U^2}{C \Phi^2} \right)}{7.2b}$$

де η_e - ККД накопичувача;

b - коефіцієнт враховуючий масу та інерцію рухомого складу;

$$b = \frac{3.6n}{(1 + \gamma)Q\eta_v} 10^{-3}$$

де η_v - ККД механічної передачі;

n - кількість двигунів;

Кожен полуреїс включає в себе різні за поєднанням поодинокі режими роботи маневрового тепловоза, які залежать від випадкових величин.

Основні режими при маневровій роботі:

- робота дизеля на холостому ходу при стоянках;

- розгін;

- рух з постійною швидкістю;

- робота дизеля на холостому ходу при русі по інерції;

- гальмування.

Виділивши з певного безлічі деякий набір основних характерних одиничних режимів, виконавши тягові розрахунки, що відображають реальні умови експлуатації, можна визначити раціональний алгоритм керування силовою установкою, ефективність застосування накопичувачів енергії у силовому ланцюзі тепловозів, необхідний розподіл витрат енергії між джерелами, витрата палива, витрати часу на виконання маневрової операції і т.п.

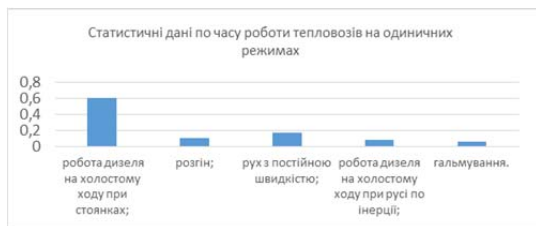


Рис 1. Статистичні дані про часу роботи тепловозів на поодиноких режимах

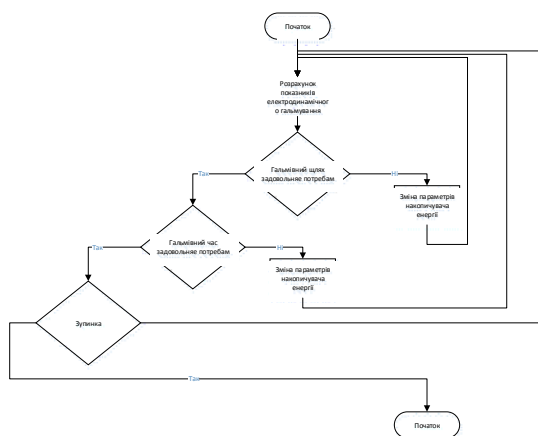


Рис 2. Блок-схема алгоритму розрахунку показників при імітації операції електродинімічного гальмування

Так як основний режим накопичення енергії це режим електродинімічного гальмування розглянемо алгоритм виконання розрахунків цього режиму.

Розрахунок маневрового режиму пов'язаний з аналізом складних залежностей між швидкістю, уповільненням, довжиною та часом гальмування, швидкістю і потужністю та ін.

В статті наведені результати розрахунків при виконанні електродинімічного гальмування на сортувальній горці. Результати розрахунку показників гальмування тепловозом ЧМЕЗТ при розформування складу з 30 вагонів на сортувальній горці станції Лиман з використанням вищеописаної методики представлені на рис. 3.

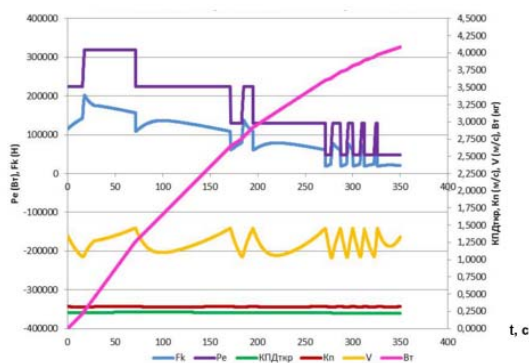


Рис. 3. Показники роботи тепловоза при виконанні електродинімічного гальмування

Висновок. В статті були викладені вимоги та напрями для побудови імітаційної моделі маневро-

вої роботи на горці яка складається представлена у вигляді безлічі одиничних режимів з моделюванням реальних процесів в силових установках і варіюванням маси складу в вигляді випадкової величини. Це дозволить з високою вірогідністю виконати розрахунок показників роботи маневрового тепловоза, уточнити витрата палива і виявити найбільш раціональні режими управління тепловозом, вплив перехідних процесів в дизелі на витрату палива при роботі в різних одиничних режимах і частка витрат палива, що припадає на цей режим на прикладі тепловоза ЧМЕЗТ.

Література

1. Краснянская С.Н. Исследование электрического тормоза с целью повышения экономичности и эксплуатационной надежности тепловозов: Автореферат дис. ... канд. техн. наук./ С.Н. Краснянская – М.:МИИТ, 1979. – 26 с.
2. Казанцев В.П. Выбор оптимальной мощности маневрового локомотива для работы на вытяжке в текущих эксплуатационных условиях и на перспективу [Текст]: дис. к. т. н. / В.П. Казанцев. – М., 1966. – 156с.
3. Гончаров Н.Е. Маневровая работа на железнодорожном транспорте [Текст] / Н.Е. Гончаров, В.П. Казанцев – М.: Транспорт, 1978. – 183 с.
4. Никпелый, С.О. Повышение эффективности работы тепловозов при применении накопителя энергии в силовой цепи [Текст]: дис. ... к. т. н.: спец. 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация / С.О. Никпелый. – М.: МГУПС, 2011. – 167 с.
5. Лосев, Е.П. Эффективность применения накопителей энергии в силовых установках автономных локомотивов [Текст] : дис. ... к. т. н. : спец. 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог и тяга поездов / Е.П. Лосев. – М.: МГУПС, 2000. – 211с.
6. Коссов Е.Е. Влияние эффективности накопителя энергии на топливную экономичность локомотива Е.Е. Коссов, В.А. Азаренко, А.Н. Корнев, М.М. Комарницкий // Локомотивинформ. – Харьков: Техностандарт. - №3, 2008. – С. 44 – 45.
7. Golubenko A. Energy of diesel locomotive's electrodynamic braking for increase of efficiency of diesel locomotive engines / A. Golubenko, V. Mogila, H. Nozhenko // Coll. of scientific labours. - 2007. – Issue 69. – P. 147 - 153
8. Liudvinavičius L. Lingaitis L. P. 2010. New locomotive energy management systems. / Maintenance and reliability = Eksploatacja i niezawodność / Polish Academy of Sciences Branch in Lublin. Warszawa. ISSN 1507-2711. No 1, 2010, p. 35-41
9. P. Barrade, Series connexion of Supercapacitors : comparative study of solutions for the active equalization of the voltage, École de Technologie Supérieure (ETS), Montréal, Canada, 2001
10. J. D. Boyes and H. H. Clark, Technologies for energy storage flywheels and super conducting magnetic energy storage, IEEE, 2000.

References

1. Krasnyanskaya S. N. Investigation of electric brakes with the aim of increasing efficiency and of exploitation of operational reliability of locomotives: author's abstract of

- dis. kand. tech. Sciences./ S. N. Krasnyanskaya, M.:engineering, 1979. – 26 S.
2. Kazantsev V. P. the Choice of optimum capacity shunting locomotive to work on the hood in ongoing operating conditions and future prospects [Text]: dis. ... Ph. D. / V. P. Kazantsev. – M.:1966. – 156s anchor.
 3. Goncharov N. E. Shunting work on railway transport [Text] / N. E. Goncharov, V. P. Ka-tancev – M.: Transport, 1978. – 183 S.
 4. Nicely S. O. Improving the efficiency of the locomotives in the application of energy storage in the power circuit [Text]: dis. ... Ph. D.: spec. 05.22.07 – dvojnoj of Railways, traction of trains and electrification of the S. O. Nicely. – M.: Moscow state railway University, 2011. – 167 p
 5. Losev E. P. Efficiency of use of energy storage in power plants of Autonomous Loco-motives [Text] : dis. ... Ph. D. : spec. 05.22.07 – dvojnoj of Railways and deadlifts train / E. P. Lo-SEV. – M.: Moscow state railway University, 2000. – 211c.
 6. Kossov, E. E. influence of the effectiveness of energy storage to fuel efficiency of locomotive E. E. Kossov, V. A. Azarenko, A. N. Kornev, M. Komarnicki // Locomotivity. – Kharkiv:Tekhnostandart. No. 3, 2008. – S. 44 – 45.
 7. Golubenko A. Energy of diesel locomotive's electrodynamic braking for increase of efficiency of diesel locomotive engines / A. Golubenko, V. Mogila, Nozhenko H. // Coll. of scientific labours. - 2007. – Issue 69. – P. 147 – 153
 8. Liudvinavičius L. Lingaitis L. P. 2010. New locomotive energy management systems. / Maintenance and reliability = Eksploatacja i niezawodność / Polish Academy of Sciences Branch in Lublin. Warszawa. ISSN 1507-2711. No 1, 2010, p. 35-41
 9. P. Barrade, Series connexion of Supercapacitors: comparative study of solutions for the active equalization of the voltage, École de Technologie Supérieure (ETS), Montréal, Canada, 2001
 10. J. D. Boyes and H. H. Clark, Technologies for energy storage flywheels and super conducting magnetic energy storage, IEEE, 2000.

Яровой Р.А. Методика имитационного моделирования процессов при электродинамическом торможении.

Целью исследования является создание методики имитационного моделирования показателей работы маневрового тепловоза ЧМЕЗТ при электродинамическом торможении на сортировочной горке. Предложенный новый подход для определения технико-экономических пока-

зателей. Разработана методика и создана имитационная математическая модель процессов, основанная на выполнении тяговых и электродинамических расчетов. Приведены алгоритм расчетов показателей электродинамического торможения на сортировочной горке. Установлена связь между расходом топлива и накопителем энергии в силовой цепи маневрового локомотива ЧМЕЗТ. Для снижения энергетических затрат на маневровую работу рассмотрен вопрос эффективности применения накопителей энергии на маневровых локомотивах типа ЧМЕЗТ. Проведенный сравнительный анализ расхода топлива и динамических показателей при использовании накопителя энергии в силовой цепи и без него.

Ключевые слова: подвижной состав, маневровая работа, тяговый расчет, модернизация маневровых локомотивов, электродинамический торможения, накопления энергии, гибридный привод.

Yarovoy R. Methods of simulation of processes in electrodynamic braking.

The aim of the research is to create a simulation methodology for performance indicators of a shunting diesel locomotive CHME3T during electrodynamic braking on a hump yard. The proposed new approach to determine the technical and economic indicators. A technique has been developed and an imitational mathematical model of processes based on traction and electrodynamic calculations has been created. An algorithm for calculating the electrodynamic braking performance on a sorting chamber is given. The relationship between fuel consumption and energy storage in the power circuit of the shunting locomotive CHME3T has been established. To reduce energy costs for shunting work, the issue of the efficiency of energy storage devices on shunting locomotives of the type CHME3T was considered. A comparative analysis of fuel consumption and dynamic performance using the energy storage device in the power circuit and without it.

Keywords: rolling stock, traction calculation, modernization of shunting locomotives, electrodynamic braking, energy storage, hybrid drive.

Яровой Р.О. – ст. викладач кафедри "Обчислювальної техніки та систем управління", УкрДУЗТ, м. Харків, Україна, e-mail: kzf_liman@bigmir.net.

Чернецька-Білецька Н.Б. - д.т.н., проф. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СХУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.В.**

Стаття подана 12.03.2019