

06  
254

ISSN 1993-9175

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,  
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ



# **ВІСНИК**

Дніпропетровського національного  
університету залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

**Випуск 40**

2012

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

# **В І С Н И К**

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

**НАУКОВЕ ВИДАННЯ**

За загальною редакцією проф. О. М. ПШІНЬКА

Засновано в 2003 році

***Випуск 40***

Дніпропетровськ  
2012

УДК 625.1+626.2  
ББК 39.2  
В 53

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

*Затверджено до друку рішенням Вченої ради Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна від 28.11.2011 р., протокол № 4*

**Редакційна колегія:**

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

**Члени редакційної колегії:**

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

**Вісник** Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 40. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. – 321 с.  
ISSN 1993-9175

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

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

**УДК 625.1+626.2**  
**ББК 39.2**

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

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

ISSN 1993-9175

© Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн.  
трансп. ім. акад. В. Лазаряна, оригінал-макет, 2012

## ЗМІСТ

### ГАЛУЗЬ ТЕХНІЧНИХ НАУК

#### РОЗДІЛ «РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ»

<b>В. В. АРСОНОВ, И. В. БИЛАН (Укрзалізниця, Київ), И. С. ГРУНИК (Львовская железная дорога), В. Л. ГОРОБЕЦ, Л. В. УРСУЛЯК, А. П. ТАТУРЕВИЧ (ДНІТ)</b> ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УЧАСТКА ЛАВОЧНОЕ–БЕСКИТ–ВОЛОВЕЦ ЗА СЧЕТ ИНТЕНСИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ТОРМОЖЕНИЯ САУРТ-БАРС .....	7
<b>О. М. БОНДАРЬ, В. Л. ГОРОБЕЦ, Є. М. ДЗІЧКОВСЬКИЙ, О. Є. КРИВЧИКОВ, Д. О. ЯГОДА, В. С. БОНДАРЬ (ДНІТ)</b> ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЯГОВИХ АГРЕГАТІВ ОПЕРА ТА ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЇХ СЛУЖБИ .....	17
<b>В. В. МЯМЛИН (ДНІТ)</b> АНАЛИЗ ТРУДОЁМОСТЕЙ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ РАБОТ ПРИ ДЕПОВСКОМ РЕМОНТЕ ПОЛУВАГОНОВ .....	28
<b>В. Я. ПАНАСЕНКО, И. В. КЛИМЕНКО (ДНІТ)</b> СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ПОДВЕШИВАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗА ТИПА ДСЗ .....	37
<b>Б. М. ТОВТ, Є. М. ДЗІЧКОВСЬКИЙ, О. Є. КРИВЧИКОВ (ДНІТ)</b> ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ РЕЙКОЗВАРЮВАЛЬНОЇ КОЛІЙНОЇ МАШИНИ КРС-1 .....	40

#### РОЗДІЛ «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ»

<b>В. В. АРТЕМЧУК (ДНІТ)</b> ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ЗНОСУ БАГАТОШАРОВИХ ПОКРИТТІВ .....	46
<b>В. Н. АСТАХОВ, Е. Н. ЛЫСИКОВ, П. Е. КОНОВАЛОВ (УкрГАЗТ, Харків)</b> ОЦЕНКА РЕЖИМОВ ТРЕНИЯ И СМАЗКИ В ПОДШИПНИКАХ ОСЕВОГО ПОДВЕШИВАННЯ ЛОКОМОТИВОВ .....	54
<b>М. І. КАПЦА, Р. О. КОРЕНЮК (ДНІТ)</b> СТРАТЕГІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ЛОКОМОТИВІВ .....	63
<b>Н. О. ЛОГВИНОВА (ДНІТ)</b> МЕТОДИКА РОЗПОДІЛЕННЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ НА ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ДІЛЯНКАХ .....	67
<b>В. В. СКАЛОЗУБ, О. М. ШВЕЦ (ДНІТ)</b> АВТОМАТИЗАЦІЯ МОНИТОРИНГУ І УПРАВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ПАРКА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИХ СТРЕЛОЧНИХ ПЕРЕВОДОВ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕКУЩЕГО ТЕХНІЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ .....	70

#### РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ»

<b>М. Г. ВІСІН, Д. О. ЗАБАРИЛО (ДНІТ)</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РЕЙКОВИХ КІЛ З ЕЛЕКТРОРУХОМИМ СКЛАДОМ ПОДВІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ З АСИНХРОННИМИ ТЯГОВИМИ ДВИГУНАМИ ТА ТЯГОВОЮ МЕРЕЖЕЮ .....	75
<b>С. А. ГРЯЗНОВА, Н. В. ХВОРОСТ (ХНАГХ, Харків)</b> ЗАДАЧИ АЭРОДИНАМИКИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ МЕТРОПОЛИТЕНА .....	83
<b>П. Є. МИХАЛІЧЕНКО (ДНІТ)</b> РОЗВИТОК ТЕОРІЇ СПЕКТРІВ ТА ЇЇ АДАПТАЦІЯ ДО ЗАДАЧ АНАЛІЗУ ПЕРЕХІДНИХ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ .....	87



## **РОЗДІЛ «ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ»**

<b>М. Б. КУРГАН, М. А. ГУСАК, Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА (ДІТ)</b> ПЕРЕБУДОВА КРИВИХ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ .....	90
<b>М. Б. КУРГАН, О. С. ЧЕРНИШОВА (ДІТ)</b> ПРОГНОЗУВАННЯ ВТРАТ ЗАЛІЗНИЦЬ ВІД ДІЇ ОБМЕЖЕНЬ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ .....	98
<b>К. В. МОЙСЕЄНКО, О. В. ШАТУНОВ (ДІТ)</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОВЖИНИ ПРЯМОЇ ВСТАВКИ НА БЕЗПЕКУ РУХУ ВАГОНІВ СУМІЖНИМИ ПЕРЕВОДАМИ, УКЛАДЕНИМИ ЗА ПЕРШОЮ СХЕМОЮ .....	102
<b>М. И. УМАНОВ, А. М. ПАТЛАСОВ (ДИИТ)</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПУТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ ЕГО ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ .....	109

## **РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»**

<b>С. В. БОРИЩЕВСКИЙ, О. В. ХОМЕНЧУК (ДНТУ, Донецк), А. Л. ТЮТЬКИН (ДИИТ)</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА ПРИ НАНЕСЕНИИ НАБРЫЗГБЕТОННОЙ КРЕПИ .....	115
<b>І. І. КИРПА (ДІТ), Е. А. ЯЦЕНКО (ПДАБА, Дніпропетровськ)</b> ВИЗНАЧЕННЯ ПОЧАТКОВИХ УМОВ ТА РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ У РОЗРАХУНКУ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОБОЛОНОК З УРАХУВАННЯМ ПОВЗУЧОСТІ БЕТОНУ .....	120
<b>С. П. МИНЕЕВ, А. А. ПРУСОВА (ИГТМ НАН Украины, Днепропетровск), М. А. ВЫГОДИН (СК «МЛАД»), А. С. МИНЕЕВ (НГУ, Днепропетровск)</b> ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ЭФФЕКТИВНОЙ РАЗГРУЗКЕ СМЕРЗШЕГОСЯ ГРУЗА ИЗ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОЛУВАГОНОВ .....	124
<b>К. К. МИРОШНИЧЕНКО (ПГАСА, Днепропетровск)</b> РАСЧЕТ НЕКОТОРЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СМЕСИТЕЛЕЙ С ЛОПАСТЯМИ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ .....	131
<b>Н. А. НІКІФОРОВА (ДІТ), І. Л. САФРОНОВ, В. І. СТЕЦЮК (НГУ, Дніпропетровськ), В. О. МОМОТ (ДІТ)</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРІД РОЗКРИВУ НОВОДМИТРІВСЬКОГО РОДОВИЩА БУРОГО ВУГІЛЛЯ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ЯК БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	135
<b>В. В. РИБКІН, В. В. КОВАЛЕНКО, Ю. Л. ЗАЯЦЬ, П. О. ПІШНЬКО, В. П. ЛИСНЯК, Л. О. ЯРИШКІНА, С. В. ВАСИЛЬЄВА, С. В. КОВАЛЕНКО (ДІТ)</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДРІБНИХ ЗАПОВНЮВАЧІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ .....	140

## **РОЗДІЛ «ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ»**

<b>Н. Т. АРЛАМОВА (ДИИТ), М. В. БУРМИСТР, Т. В. ХОХЛОВА (УГХТУ, Днепропетровск), О. В. РОЗГОН, М. Л. СОРОКА (ДИИТ)</b> ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА .....	146
<b>Н. Н. БЕЛЯЕВ, В. М. ЛИСНЯК (ДИИТ)</b> АВАРИЯ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОМ ОБЪЕКТЕ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ТОКСИЧНОГО ГАЗА НАД КРЫШЕЙ ЗДАНИЯ .....	151
<b>А. С. ГОРБ (ДНУ ім. О. Гончара, Дніпропетровськ)</b> КОМПЛЕКСНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЯВИЩ ПОГОДИ, НЕБЕЗПЕЧНИХ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ НАЗЕМНИХ ВИДІВ ТРАНСПОРТУ НА ДНІПРОПЕТРОВЩИНІ .....	156

## **РОЗДІЛ «АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ»**

<b>К. В. ГОНЧАРОВ (ДИИТ)</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА ТОНАЛЬНЫЕ РЕЛЬСОВЫЕ ЦЕПИ .....	161
---	-----

## **РОЗДІЛ «МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ»**

<b>Б. Є. БОДНАР, О. О. МАТУСЕВИЧ (ДІТ)</b> СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЗА СТАНДАРТОМ ISO 9000 У ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ .....	167
--	-----

<b>А. А. БОСОВ, В. М. ИЛЬМАН (ДИИТ)</b> СТРУКТУРНАЯ СЛОЖНОСТЬ СИСТЕМ .....	173
<b>Д. В. ВОЙТИКОВ (НПФ систем автоматизации и управления «Винк», Днепропетровск)</b> АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ СХЕМЫ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ .....	180
<b>А. А. ЕРОФЕЕВ, Е. А. ЕРОФЕЕВА (БелГУТ, Гомель, Беларусь)</b> АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЕЗДНОЙ РАБОТОЙ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ .....	185
<b>Ю. М. ІВЧЕНКО (ДІІТ), В. Г. ІВЧЕНКО, О. М. ГОНДАР (ІОЦ Придніпровської залізниці, Дніпропетровськ)</b> СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ КОРПОРАТИВНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ .....	192
<b>А. Г. КІГЕЛЬ (НГУ, Дніпропетровськ)</b> ПОВНОФУНКЦІОНАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ АКЦІОНЕРНИХ ТОВАРИСТВ ТА КОМПАНІЙ .....	196
<b>В. В. ЛАГУТА, В. Я. КИЗЯКОВ (ДИИТ)</b> ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ В СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ .....	204
<b>О. А. ЛАЩЕНИХ, С. М. ТУРПАК, С. В. ГРИЦАЙ (ЗНТУ, Запоріжжя)</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ СИСТЕМИ МЕТОДОМ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ .....	208
<b>Н. С. ПРЯДКО (ИТМ НАНУ и НКАУ, Днепропетровск), Т. М. БУЛАНЯ, К. В. ШЕГЕДА (ДНУ им. О. Гончара, Днепропетровск)</b> ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА СТРУЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ .....	217
<b>В. В. СКАЛОЗУБ, Л. А. ПАНИК (ДИИТ)</b> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ .....	221
<b>В. И. УСПАЛЕНКО, Н. С. ЛЕСКОВСКАЯ (Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры)</b> СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРИВЛЕЧЕНИЮ ТЕХНИКИ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА .....	226

## **РОЗДІЛ «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»**

<b>Л. И. ВАКУЛЕНКО (Вагонное депо «Нижеднепровск-Узел»), В. Г. АНОФРИЕВ (ДИИТ)</b> ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАТАНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ .....	231
<b>А. Я. КУЛІЧЕНКО (Львівська філія ДІІТу)</b> ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРИ ВИРІШЕННІ ІНЖЕНЕРНИХ ЗАВДАНЬ .....	235
<b>В. Л. МАЛИНОВ (Приазовский государственный технический университет, Мариуполь)</b> ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МЕТАСТАБИЛЬНОГО АУСТЕНИТНОГО ХРОМОМАРГАНЦЕВОГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА .....	239

## **ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК**

### **РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»**

<b>Ю. С. БАРАШ, Л. В. МАРЦЕНЮК (ДІІТ)</b> УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМУ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖНИМИ ЗАЛІЗНИЧНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ .....	243
<b>Ю. В. БУЛГАКОВА (ДІІТ)</b> АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЩОДО РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ ДЛЯ РЕМОНТУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ .....	248

<b>Г. Л. ВЕНЕДИКТОВ, В. М. КОЧЕТКОВ (ООО «РЖД Сервис Северо-Запад», Санкт-Петербург, Российская Федерация)</b> ПОВЫШЕНИЕ ДОХОДНОСТИ ПЕРЕВОЗОК ПОСРЕДСТВОМ ОПТИМИЗАЦИИ КВОТ МЕСТ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СТАНЦИЙ .....	256
<b>М. В. ГНЕННИЙ, О. М. ГНЕННИЙ (ДПТ)</b> ОЦІНКА ЗБИТКІВ, ЗАВДАНИХ ПОШКОДЖЕННЯМ ВАГОНІВ.....	262
<b>Х. В. ДРЕБОТ, Ю. С. БАРАШ (ДПТ)</b> НАУКОВІ ПРИНЦИПИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КУРСУВАННЯ ОКРЕМОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ПОЇЗДА.....	267
<b>Г. В. ЖУКОВА (Міністерство інфраструктури України, Київ)</b> ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ НЕЕЛАСТИЧНОГО ПОПИТУ .....	269
<b>С. В. КАЛАМБЕТ, О. В. ЧОРНОВІЛ, В. А. ВОРОПАЙ (ДПТ)</b> ВІДТВОРЕННЯ ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ У СИСТЕМІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ .....	274
<b>В. І. КОПИТКО (Львівська філія ДПТУ)</b> ФОРМУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ РЕФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ГАЛУЗІ.....	281
<b>Ю. П. МЕЛЬЯНЦОВА (ДПТ)</b> КРИТЕРІЙ ОПТИМАЛЬНОСТІ ДЛЯ ПОРІВНЯННЯ МОДЕЛЕЙ РЕФОРМУВАННЯ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ .....	285
<b>М. І. МІЩЕНКО (ДПТ)</b> ПРОБЛЕМИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РОЗДІЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СЕКТОРА .....	289
<b>Е. А. ПЕТРЕНКО (ДонИЖТ, Донецьк)</b> ПРОБЛЕМА МОНОПОЛІЗМА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ .....	296
<b>О. П. ПІНЧУК (ДПТ)</b> ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИМІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ .....	301
<b>Г. С. П'ЯТИГОРЕЦЬ (ДПТ)</b> МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЦІНИ НА ПОСЛУГИ ВОКЗАЛІВ З УРАХУВАННЯМ СЕЗОННИХ КОЕФІЦІЄНТІВ З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ЦІН ЗАЛЕЖНО ВІД ПОПИТУ .....	305
<b>О. А. ХОДОСКИНА (БелГУТ, Гомель, Беларусь)</b> ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – НЕОБХОДИМЫЙ ЭЛЕМЕНТ СОВРЕМЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК .....	311
<b>В. І. ШИНКАРЕНКО, О. Ю. ГРЕСОВА (ДПТ), Є. Г. ГРЕСОВА (Укрзалізниця, Київ)</b> АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВНУТРІШНЬОГО ФІНАНСОВОГО КОНТРОЛЮ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ .....	316

В. В. АРСОНОВ, И. В. БИЛАН (Укрзализныця, Киев), И. С. ГРУНИК (Львовская железная дорога), В. Л. ГОРОБЕЦ, Л. В. УРСУЛЯК, А. П. ТАТУРЕВИЧ (ДИИТ)

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УЧАСТКА ЛАВОЧНОЕ–БЕСКИТ–ВОЛОВЕЦ ЗА СЧЕТ ИНТЕНСИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ САУРТ-БАРС

В статье рассмотрены результаты работ, проведенных на полигоне Львовской железной дороги с целью оценки возможности исключения пневматического торможения на участке Лавочное–Бескист–Воловец и оценка возможности исключения из расписания движения поездов технической остановки по платформе Скотарское.

*Ключевые слова:* тяговый подвижной состав, электровоз, рекуперативное торможение, ходовые испытания, моделирование

Комплексная проблема повышения пропускной способности участков со сложным горным профилем пути, с безусловным соблюдением требований безопасности движения поездов, является неизменно приоритетной и актуальной. В соответствии с этим была проведена научно-исследовательская работа по оценке возможности исключения из графиков движения грузовых и пассажирских поездов технической остановки по пл. Скотарское, связанной с необходимостью возобновления давления в тормозной системе поезда и проведения осмотра состояния подвижного состава. Предусматривалось, что увеличение до трех количества локомотивов, которые рекуперируют на участке Лавочное–Бескист–Воловец с использованием системы САУРТ-БАРС, позволит не применять пневматическое торможение, тем самым не истощая тормозную магистраль и не допуская перегрева тормозных колодок и колес, что может быть решением данного вопроса.

В рамках проведенной работы было выполнено:

- анализ технических характеристик и функциональных возможностей системы рекуперативного торможения САУРТ-БАРС;
- исследование технического состояния пути на опытном участке;
- анализ организации движения и условий работы локомотивов-толкателей и соответствующей руководящей документации;
- выполнение опытных поездок в составе грузовых и пассажирских поездов;
- проведение теоретических расчетов с целью оценки уровней продольных сил, воз-

никающих при движении грузовых и пассажирских поездов типичного состава;

- исследование возможности увеличения интенсивности использования рекуперативного торможения путем переформирования грузовых поездов или уменьшения их весовых норм.

Участок Лавочное–Бескист–Воловец характеризуется сложнейшим планом-профилем (рис. 1), включающим тоннель 1 с полукруговой кривой, начинающейся непосредственно от его южного портала 2, трех мостовых сооружений 3, два из которых находятся по обе стороны платформы Скотарское 4, которая оборудована улавливающим тупиком 5.

### Обсуждение преимуществ рекуперативного торможения

Электровоз, движущийся с грузовым или пассажирским поездом, выполняет механическую работу по перемещению груза, затрачивая соответствующее количество электроэнергии и получая значительный запас кинетической энергии. При движении поезда на подъем дополнительно накапливается потенциальная энергия. Кинетическая и потенциальная энергии, при правильном их использовании, сводят к минимуму механическое подтормаживание и сокращают затраты электроэнергии.

На электровозах с рекуперативным торможением для подтормаживания на спусках или остановочных пунктах используют тяговые электродвигатели (ТЭД) как генератор, который превращает потенциальную и кинетическую энергию в электрическую, используемую на железной дороге при движении других поез-

дов в тяговом режиме или другими потребителями.

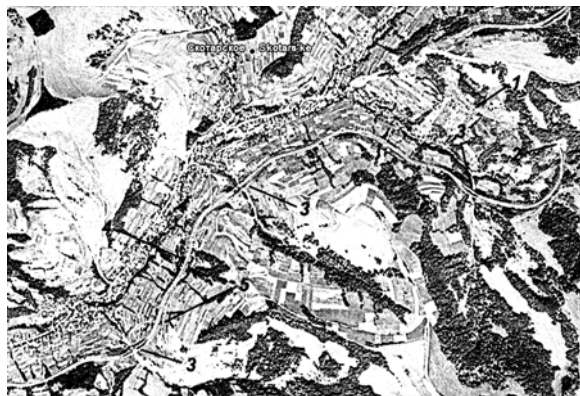


Рис. 1. Участок Лавочное–Бескит–Воловец  
(снимок со спутника)

Ввиду того, что в накопленной энергии, которую имеет движущийся поезд, преобладает кинетическая составляющая, для рекуперации важное значение имеет выбор машинистом скоростного режима ведения поезда. Особенно важно правильно управлять поездом при езде с площадки на подъем и ведение поезда по подъему или переходу из подъема на спуск, и ведении поезда по спуску. Применение рекуперации зависит от скорости движения перед началом торможения. Поэтому фактор дополнительного времени хода по перегонам разной длины во многих случаях играет негативную роль. Особенно большую отдачу может дать рекуперативное торможение на скоростном участке при увеличенной фрагментации движения или большом числе спусков и подъемов. В любом случае, повышение скорости движения более экономично делать на спусках и площадках, то есть при движении по спускам не следует терять время, которое можно будет использовать на площадках и подъемах.

Экономический эффект, одной из составляющих которого является экономия электроэнергии зависит не только от мастерства вождения поездов локомотивными бригадами, но и от технического состояния электровозов.

#### **Технические характеристики системы рекуперативного торможения САУРТ-БАРС**

Электровозы ВЛ11м, которые осуществляют основные грузовые и пассажирские перевозки на участке Лавочное–Бескит–Воловец, оборудованы штатной системой рекуперации САУРТ-34, а также блоком автоматизированной стабилизации режима движения БАРС.

Система САУРТ-34 обеспечивает выполнение следующих операций:

- автоматический перевод электровоза из режима выбега в режим рекуперации после команды машиниста;
- стабилизацию тока рекуперации или скорости движения при соблюдении ограничений по предельно допустимому напряжению в контактной сети и условиям коммутации тяговых электродвигателей (по соотношению тока якоря и тока возбуждения) на заданном уровне;
- защиту от юза колесных пар;
- автоматическое снижение тормозного усилия при срабатывании датчиков буксования;
- работу двух и более секций по системе многих единиц (СМЭ).

Система автоматизированного управления БАРС предусматривает расширение функций:

- режим ограничения скорости движения при рекуперативном торможении в соответствии с заданным значением;
- автоматическое управление режимом работы вентиляторов охлаждения тяговых двигателей;
- индикацию текущих параметров электрооборудования БАРС.
- автоматического регулирования электрических параметров ТЭД при переходе на рекуперацию и в режиме рекуперативного торможения;
- ограничение скорости движения электровоза с последующей ее стабилизацией на уровне заданного значения в режиме рекуперативного торможения при движении под уклон;
- отображение текущих контролируемых параметров;
- автоматический перевод электровоза из режима выбега в режим рекуперации;
- стабилизацию тормозного усилия путем управления током рекуперации или ограничения скорости движения при соблюдении ограничений по предельно допустимому напряжению в контактной сети и условиям коммутации (по соотношению тока якоря и токи возбуждения);
- защиту от юза колесных пар автоматическим снижением тормозного усилия при поступлении сигналов от противобуксовочной защиты;
- автоматический выбор режима работы вентилятора охлаждения ТЭД в режиме тяги или рекуперативного торможения;

- работу электровоза по системе многих единиц (СМЕ).

### Выполнение опытных поездок в составе грузовых и пассажирских поездов

Экспериментальные исследования условий эксплуатации электровозов ВЛ11м, оборудованных системой САУРТ-БАРС на участке Лавочное–Бескит–Воловец выполнялись в составе грузовых (рис. 2) и пассажирских поездов, сформированных по схемам, приведенным на рис. 3.

Характеристика опытных поездок, выполненных в рамках данной работы, приведена в табл. 1.

При этом, основное внимание закономерно уделялось грузовым поездом, учитывая, что наибольшую экономию энергии получают именно в данном случае. Поездка в составе пассажирского состава была проведена для оценки возможности ведения поезда в чистом режиме рекуперативного торможения. Примеры регистрации динамических процессов при испытаниях приведены на рис. 4.



Рис. 2. Опытный грузовой поезд на станции Лавочное (вид из кабины заднего локомотива-толкача)

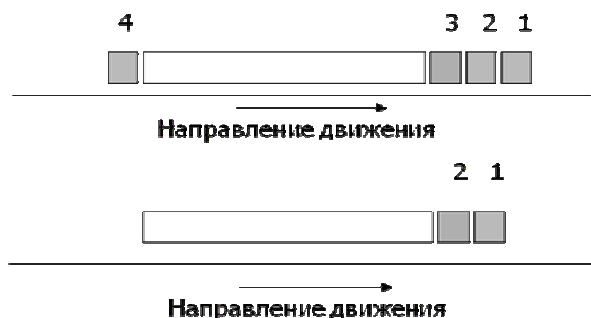


Рис. 3. Схемы формирования опытных поездов: верхний чертеж – грузовой состав, нижний – пассажирский

Таблица 1

Характеристика опытных поездок

№ пор.	Характеристики поезда					Комментарии
	Тип	№	Вес, кН	Оси	Формирование	
1	2	3	4	5	6	7
1	груз.	1603	45560	200	поз. 1. Рис. 3	Рекуперативное торможение $I = 400 \text{ А}$ , дважды – пневматическое торможение
2	груз.	2107	44550	216	поз. 2. Рис. 3	1640 км сброса режима рекуперации, угроза юза
3	груз.	2143	44000	240	поз. 1. Рис. 3	Рекуперативное торможение $I \leq 305 \text{ А}$ , трижды – пневматическое торможение
4	груз.	2113	45070	224	поз. 2. Рис. 3.	Разбор рекуперативной схемы секции Б, четырехкратное пневматическое торможение
5	груз.	1603	45600	204	поз. 4. Рис. 3.	Рекуперативное торможение $I \leq 305 \text{ А}$ , $I = 350 \div 400 \text{ А}$ , пятикратное пневматическое торможение
6	пас.	81	-	76	поз. 1. Рис. 3.	Рекуперативное торможение. При входе на пл. Скотарское, скорость – 33 км/ч. Однократное пневматическое торможение

Было подтверждено, что основными причинами применения пневматического торможения являются:

- чрезмерно быстрый набор скорости состава при недостаточной силе со-

противления от рекуперации двумя локомотивами;

- угроза юза;
- разборка схемы рекуперации по превышению допустимого напряжения в контактной сети,

Анализ результатов опытных поездок

№ пор.	№ поезд-ки	№ поезда	Количество пневматических торможений	Анализ результатов
1	2	3	4	5
1	1	1603	2	Пневматическое торможение применено по набору скорости.
2	2	2107	1	Пневматическое торможение применено по м.
3	3	2143	3	Пневматическое торможение применено по набору скорости.
4	4	2113	4	Пневматическое торможение применено по разборке схемы рекуперации (превышено допустимое напряжение в контактной сети).
5	5	1603	5	Пневматическое торможение применено по частичной разборке схемы рекуперации (превышено допустимое напряжение в контактной сети).
6	6	81	1	Пневматическое торможение применено по набору скорости.

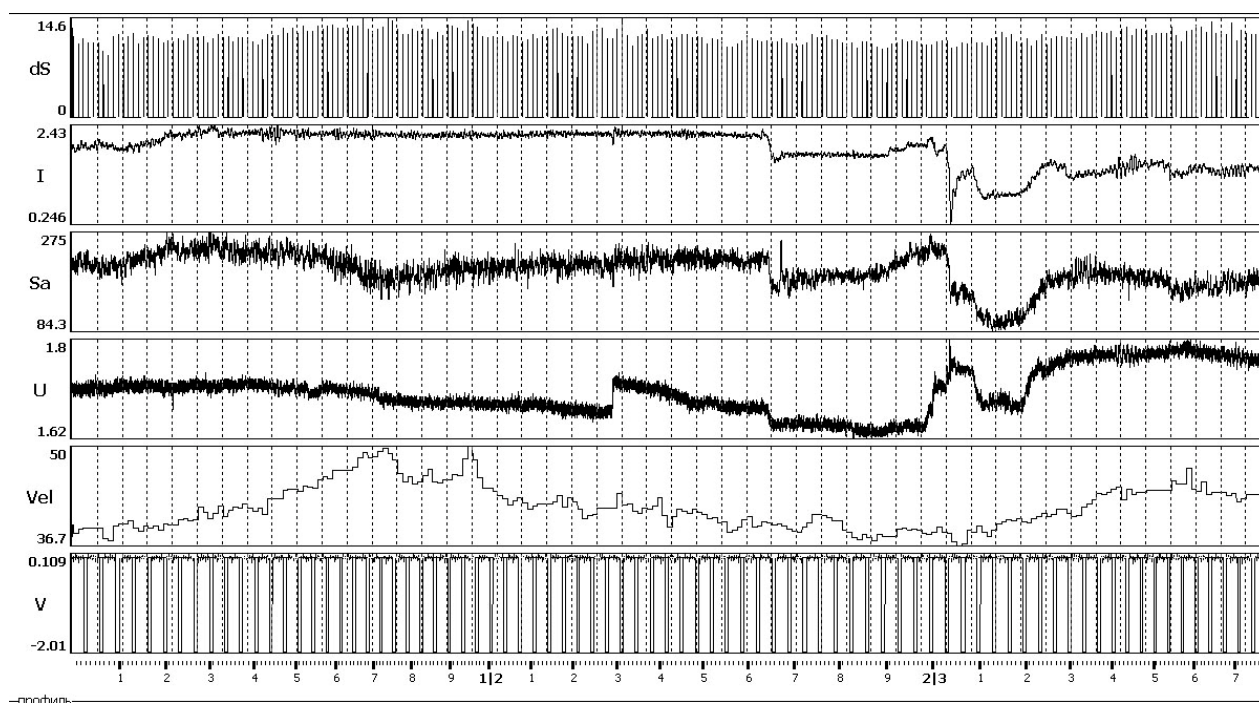


Рис. 4. Пример динамических процессов (поездка 5, грузовой поезд, хвостовой толкач): V – импульсы частоты вращения привода скоростемера; Vel – скорость GPS; U – напряжение в контактной сети; Sa – усилие в астосцепке; I – ток якоря тягового двигателя; Ds – давление в тормозной магистрали

а также, вероятно:

- распределение веса поезда;
- настройка системы САУРТ-БАРС;
- технические характеристики единиц тягового подвижного состава;
- состояние тормозной системы в грузовом поезде.

В соответствии с утвержденной Заказчиком работы Программой-методикой выполнения ходовых испытаний, в процессе их проведения

фиксировались следующие динамические процессы:

- скорость движения опытного сцепа (двумя способами – по частоте срабатывания геркона, замыкаемого приводом скоростемера (рис. 5), а также по данным спутниковой GPS навигации – рис. 6);
- давление в тормозной магистрали (рис. 7);



- географические координаты опытного локомотива (без требований к метрологическим характеристикам) – рис. 6;
- усилие в автосцепном устройстве опытного локомотива (рис. 7);
- сила тока в якоре тягового двигателя;
- напряжение контактной сети.

Кроме того, фиксировались дополнительные данные:

- схема формирования и вес опытного поезда;
- схемы установки измерительных приборов на опытных единицах ТПС;
- принятые обозначения процессов и порядок их записи на ПЭВМ;
- результаты тарирования и масштабные множители;
- название маршрута движения;
- номера опытов;
- скорость движения;
- километровые столбы и пикеты;
- характеристики участков (прямая, кривая, стрелки);
- режим движения (выбег, тяга, торможение);
- погодные условия во время испытаний;
- сбои в работе аппаратуры или изменения масштабов.

Анализ режимов ведения опытных поездов (табл. 3) выявил две основные причины отключения системы САУРТ-БАРС:

- превышение допустимого по [1, 2] напряжения в контактной сети;
- угроза буксования.

#### **Исследование технического состояния пути на опытном участке**

Перед началом динамических испытаний опытного локомотива (электровоза ВЛ11м), оборудованного системой рекуперативного торможения САУРТ-БАРС в составе графиковых поездов, была проведена проверка испытательных участков путеизмерительным вагоном на участке Лавочное–Бескит–Скотарское–Воловец.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что на всех опытных участках состояние рельсовой колеи удовлетворяет безопасному движению поездов в режимах рекуперативного торможения по главным показателям, а именно: ширине рельсового пути, уровню и по направлению в плане.

Наибольшие степени отклонений от норм устройства и содержания не превышали IV степе-

нь, за исключением просадок на 1634 км и рихтовки на 1536 км 1-й главной колеи участка Лавочное–Бескит (V ступень).



Рис. 5. Герконовый датчик скорости 1



Рис. 6. GPS датчик 1 географической координаты и скорости



Рис. 7. Датчики давления в тормозной магистрали 1 и усилия в автосцепке 2

Ввиду того, что установленная скорость движения поездов на этих участках не превышала 50 км/ч, а фактическая скорость движения и того меньше, есть основания для вывода, что на этих участках полностью обеспечена безопасность движения поездов.

При этом следует заметить, что неисправности V степени были устранены в первоочередном порядке, что позволило обеспечить движение поездов с установленными скоростями без ограничений за исключением 1530 км нечетного главного пути участка Лавочное–Бескит, где была установлена скорость движения 15 км/ч (кстати, наиболее благоприятная для реализации рекуперативного торможения).

Кафедра «Путь и путевое хозяйство» ДИИТа занималась проблемой исследований особенностей действия на путь подвижного состава при рекуперативном торможении на горных перевальных участках Львовской, Закавказской и других железных дорог.

казской, Южно-Уральской, Дальневосточной, Восточносибирской железных дорог. Исследования проводились в период с 1967 года до 1973 года, а также в 1978 и 1990 годах.

Выводы этих исследований содержатся более чем в шести отчетах и опубликованы в сборниках научных трудов ДИИТа, в газете «Гудок» № 7 от 09.01.1980 года, в журналах «Путь и путевое хозяйство», «Вестник ВНИИЖТ» (напр., [3–9]).

На основе проведенных исследований были сделаны очень важные выводы, а именно:

- по условиям прочности и устойчивости пути необходимо ограничивать максимально допустимую тормозную силу, приведенную к голове поезда до 550...600 кН, в связи с чем нужна и переработка инструкций относительно применения электрического торможения поездов.
- режимы рекуперативного (и реостатного) торможения поездов, по сути, не контролируются никакими устройствами, главное – не фиксируется индикаторами и приборами в кабине машиниста, особенно в случае ведения поездов 4-я локомотивами по системе три в голове и один в хвосте, за исключением скорости движения. В данном случае отсутствует также автоматическая синхронизация действий всех 4-х машинистов электровозов, особенно головных и хвостовых.

К сожалению, система САУРТ-БАРС при ее внедрении на электровозах ВЛ11м не решает указанную проблему. Система БАРС работает как совокупность независимых регуляторов скорости (или тока) тяговых электродвигателей и, естественно, не прогнозирует аспекты взаимодействия системы «путь–локомотивы–состав вагонов», ее «интеллектуальных функций» недостаточно, чтобы обеспечить рекуперацию поездом в широком кругу внешних возмущений и условий ведения поезда.

Вопрос допустимости рекуперативного и реостатного торможения в пределах стрелочных переводов до сих пор не решен. Движение поездов по стрелочным переводам отличается от их движения в кривых большой длины, поскольку стрелочные переводы по сравнению с обычными кривыми имеют меньшую длину, а кривизна пути под каждой единицей подвижного состава различна даже между тележками 4-осных вагонов. Поэтому при движении поезда в пределах стрелочных переводов постоянно изменяются углы поворотов автосцепок, в том

числе, и в обратном направлении. При этом продольные силы в поезде в течение достаточно коротких промежутков времени увеличиваются до критических значений. Частично исследования данной проблемы были выполнены кафедрой «Путь и путевое хозяйство» ДИИТа, а также ВНИИЖТ [10–12]. При этом исследовались особенности действия на стрелочные переводы локомотивов с осевыми повышенными нагрузками на рельсы (250 кН), в том числе и при наличии неисправностей по направлению в плане [10, 12].

### **Возможность увеличения интенсивности использования участка организационными средствами**

С учетом особенностей и ограничений при эксплуатации локомотивного парка на участке Лавочное–Бескит–Воловец рассматриваются следующие варианты способов ведения грузовых поездов:

- переформирование поезда с одним локомотивом (поездным) в голове и постановкой трех толкачей в хвост поезда с целью его спуска с преимущественным действием растягивающих сил для избегания выжимания вагонов в голове поезда;
- уменьшение весовой нормы на локомотив, обусловленной приказом [1] до величины, когда рекуперативное торможение в голове поезда обеспечит безопасность его движения с установленными скоростями;
- увеличение общего количества локомотивов-толкачей для ведения поезда со сменой системы рекуперированных локомотивов без переформирования состава.

Переформирование состава поезда при подходе к перевалу (не учитывая даже потерь времени на выполнение необходимых технологических операций) невозможно из-за отсутствия необходимых условий, а именно, на участке Лавочное–Скотарское все станции и разъезды расположены на подъеме, что предельно усложняет трогание поезда после его переформирования. Сам перегиб профиля находится внутри однопутного тоннеля, где любая маневровая работа невозможна.

Уменьшение весовой нормы на локомотив, по сравнению с обусловленной приказом [1], автоматически приводит к увеличению количества поездов, локомотивов-толкачей и локомотивных бригад с соответствующими подвязками их под маршруты. Увеличение количества

поездов приведет также к фактическому уменьшению пропускной способности участка, что противоречит начальной, поставленной в работе задаче.

Выполнение требований безопасности движения поездов, а именно, обеспечение свободного маршрута на улавливающий тупик по пл. Скотарское, при увеличении количества поездов дополнительно уменьшит пропускную способность данного участка.

Увеличение количества толкачей для реализации ведения поезда по схеме «три в голове – три в хвосте» без переформирования поезда, при отмене служебной остановки по пл. Скотарское, приведет к существенному увеличению потребности в локомотивах как за счет увеличения количества толкачей (и локомотивных бригад) на каждый грузовой состав, так и за счет увеличения плеч обращения толкачей до ст. Воловец.

Учитывая указанное, рассмотренные предложения нельзя признать способствующими улучшению эффективности эксплуатации участка Лавочное–Воловец.

#### **Теоретические расчеты по оценке уровней продольных сил, возникающих при движении поездов по опытному участку**

Моделирование характера и параметров движения пассажирских и грузовых поездов на опытном участке проводилось с использованием программного обеспечения, разработанного в ДНУЗТ [13] для исследования продольной динамики поездов.

В математической модели поезда были учтены реальные параметры плана-профиля опытного участка, тяговые, тормозные и рекуперативные характеристики электровоза ВЛ11м.

Было рассмотрено два типичных состава поездов:

- однородный грузовой поезд весом 4600 т, составленный из 50 загруженных полувагонов и 4 локомотивов в соответствии с приказом [1];
- пассажирский поезд, составленный из 22 населенных вагонов и двух (поездной и толкач) локомотивов.

После проведения предыдущих численных экспериментов были определены такие режимы их ведения.

Для пассажирского поезда:

- начало движения на выбеге, скорость 30 км/ч;

- при достижении установленной в [1] отметки пути, головной локомотив при скорости 35 км/ч включает 5 позицию рекуперации соединения «С», при скорости 40 км/ч 8 позицию рекуперации соединения «С» без применения пневматического торможения.

Для грузового поезда, режим 1:

- начало движения на выбеге, скорость 30 км/ч, напряжение в контактной сети 3 кВ;
- при достижении установленной приказом [1] отметки пути, хвостовой толкач включает 20 позицию рекуперации, соединения «СП» при скорости 35 км/ч;
- действия поездного и головных толкачей: первый с головы включает пневматическое торможение при скорости 45 км/ч, второй не выполняет никаких действий, поездной локомотив включает позиции рекуперации 20 – при скорости 40 км/ч, 25 – при скорости 40 км/ч.

Для грузового поезда, режим 2:

- начало движения на выбеге, скорость 30 км/ч, напряжение в контактной сети 3 кВ;
- при достижении установленной приказом [1] отметки пути хвостовой толкач включает 20 позицию рекуперации, соединения «СП» при скорости 35 км/ч;
- действия поездного и головных толкачей: первый с головы включает пневматическое торможение при скорости 45 км/ч, второй не выполняет никаких действий, поездной локомотив – по режиму 1.

Для грузового поезда, режим 3:

- начало движения на выбеге, скорость 30 км/ч, напряжение в контактной сети 3,5 кВ;
- при достижении установленной приказом [1] отметки колеи хвостовой толкач включает 20 позицию рекуперации, соединения «СП» при скорости 35 км/ч.
- действия поездного и головных толкачей: первый с головы – включает пневматическое торможение при скорости 45 км/ч, второй не выполняет никаких действий, поездной локомотив по режиму 1.

Для грузового поезда, режим 4:

- начало движения на выбеге, скорость 30 км/ч, напряжение в контактной сети 3,5 кВ;
- при достижении установленной приказом [1] отметки пути, хвостовой толкач

включает 20 позицию рекуперации, соединения «СП» при скорости 35 км/ч.

- действия поездного и головных толкачей: первый с головы действий не выполняет, второй не выполняет никаких действий, поездной локомотив включает позиции соответственно режиму 1.

Выбранный режим движения пассажирского поезда обусловлен тем, что при рекуперации на соединении «СП», 15 позиция, ее применение вызывало потерю скорости с последующей остановкой поезда.

Результаты моделирования движения пассажирского состава приведены на рис. 8–10, грузового – на рис. 11–14.

Ведение грузового поезда по участку Бескит–Скотарское при номинальном напряжении контактной сети (случай 1) вызывает повышение скорости его движения до 70 км/ч при допустимых уровнях продольных сил сжатия в голове поезда (650 кН) с их временной стабилизацией при подходе к пл. Скотарское.

При номинальном и повышенном до 3,5 кВ напряжении контактной сети (случаи 2, 3) и применении комбинированного (рекуперативного и пневматического) торможения возможно стабилизировать скорость движения поезда на уровне 40...50 км/ч. Максимальные усилия в составе также имеет допустимые величины (до 650 кН).

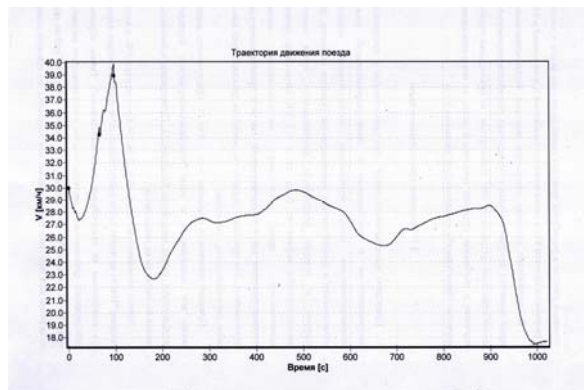


Рис. 8. График скорости движения пассажирского поезда

В случае рекуперации одновременно тремя локомотивами (случай 4) скорость движения поезда стабилизируется на уровне 55 км/ч. При повышенном напряжении контактной сети максимальные силы в голове поезда после преодоления им перегиба профиля стабильно составляют величины 900...1000 кН и создают угрозу выжимания вагонов.

Полученные результаты свидетельствуют о следующем.

Ведение пассажирских поездов с применением исключительно рекуперативного торможения на участке Лавочное–Скотарское возможно. При этом достижение желаемой скорости движения на перегоне обеспечивается за счет соответствующей последовательности периодов рекуперативного торможения.

Применение комбинированного торможения позволяет выбрать допустимые параметры движения поезда, при этом, величины продольных сил в поезде не превышают критических значений для выжимания (1000 кН для груженных вагонов).

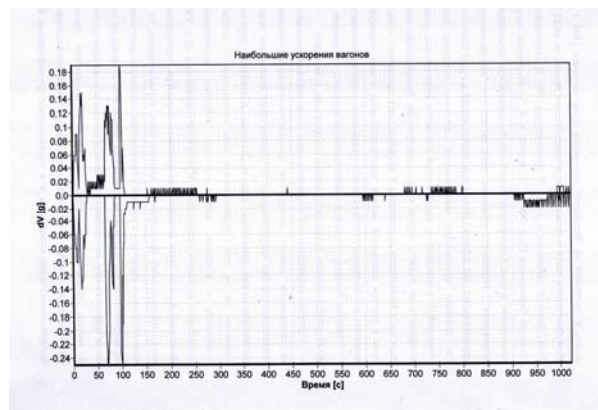


Рис. 9. Максимальные по составу вагонов пассажирского поезда ускорения в каждый момент его движения (и далее в подобных случаях)

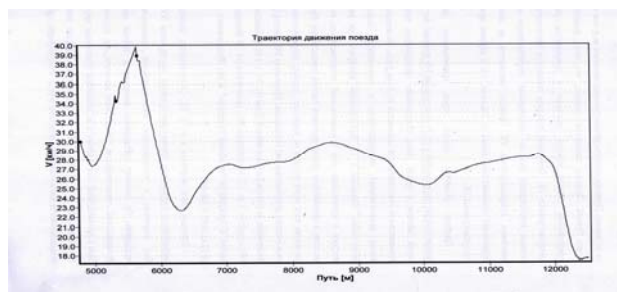


Рис. 10. Скорость движения пассажирского поезда как функция пройденного пути

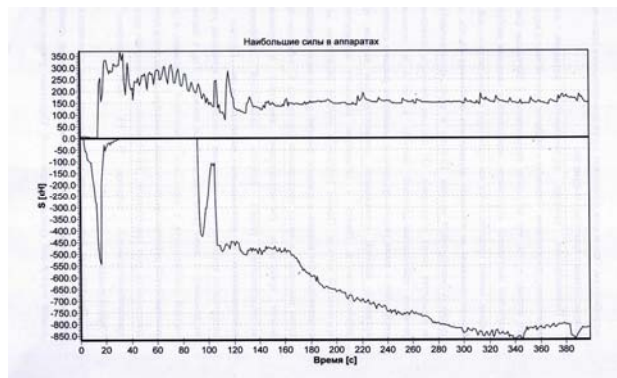


Рис. 11. Максимальные силы по составу вагонов грузового поезда силы. Случай 1

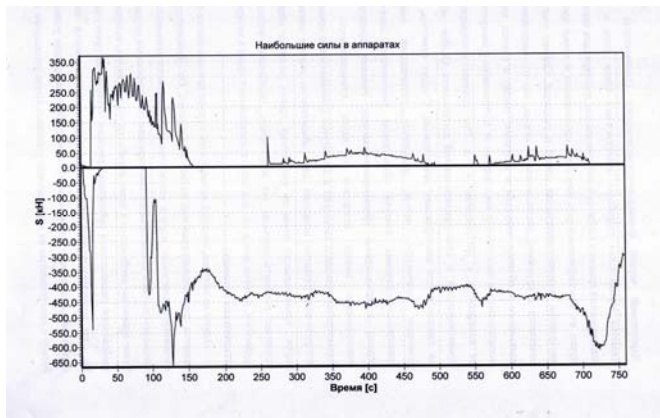


Рис. 12. Максимальные силы по составу вагонов грузового поезда силы. Случай 2

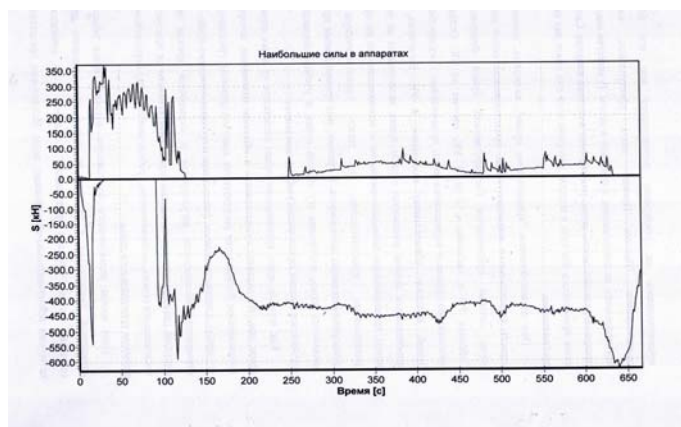


Рис. 13. Максимальные силы по составу вагонов грузового поезда силы. Случай 3.

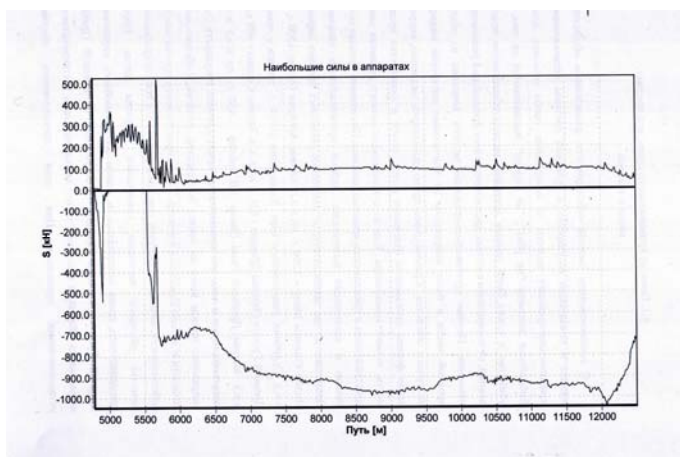


Рис. 14. Максимальные силы по составу вагонов грузового поезда. Случай 4.

Применение рекуперативного торможения тремя локомотивами при напряжении в контактной сети 3,5 кВ приводит к возникновению избыточных продольных усилий, которое может вызывать выжимания вагонов в голове поезда.

## Выводы

1. Повышение пропускной способности участка Лавочное–Бескил–Воловец не может быть достигнуто за счет исключения технической остановки по пл. пл. Скотарское из нижеследующих позиций:
  - выполнения требований безопасности движения поездов по пл. Скотарское;
  - реализации близкого к критическому уровня продольных сил в грузовом поезде при рекуперации тремя локомотивами;
  - потери эффективности работы толкачей при исключении возможности их отцепки по пл. Скотарское;
  - повышения напряжения в контактной сети, которая провоцирует непредвиденные отключения схем рекуперации.
2. Ведение пассажирских поездов с использованием исключительно рекуперативного торможения (без исключения технической остановки по пл. Скотарское) возможно, но при условии обеспечения рекуперации по параметрам напряжения в контактной сети.
3. Предлагается дальнейшее проведение исследований по решению вопросов уменьшения угона железнодорожного пути, эффективного использования сэкономленной электроэнергии, а также уточнения условий применения рекуперативного и реостатного торможения, в первую очередь, в пределах стрелочных переводов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наказ № 755-Н від 12.12.2005 р. Про порядок формування та руху пасажирських, вантажних поїздів через Карпатські перевали електровозами серії ВЛ10, ВЛ11м із застосуванням рекуперативного гальмування [Текст]. – Л.: Львівська залізниця, 2005. – 21 с.
2. Наказ № 555-Н від 01.01.2008 р. Про порядок застосування на Львівській залізниці окремих пунктів та положень Правил технічної експлуатації залізниць України, Інструкції з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України та Інструкції з сигналізації залізниць України [Текст]. – Л.: Львівська залізниця, 2008. – 163 с.
3. Цыганенко, В. Определение горизонтальных поперечных сил в кривых с учетом продольных сил, действующих в составе [Текст] / В. Цыганенко // Сб. науч. тр. ДИИТа. – Вып. 88. – Д.: ДИИТ, 1968.
4. Исследования условий работы пути на участках рекуперативного торможения поездов [Текст] / М. Фришман [и др.] // Сб. науч. тр. ДИИТа. – Вып. 99. – Д.: ДИИТ, 1969.



5. Климов, В. Экспериментальное определение боковых сил в кривой при рекуперативном торможении поездов [Текст] / В. Климов, В. Цыганенко // Сб. науч. тр. ДИИТа. – Вып. 99. – Д.: ДИИТ, 1969.
6. Фришман, М. Результаты экспериментальных исследований поперечных горизонтальных сил взаимодействия пути и подвижного состава на перевальных участках [Текст] / М. Фришман, А. Орловский, А. Татуревич // Сб. науч. тр. ДИИТа. – Вып. 138. – Д.: ДИИТ, 1972.
7. Цыганенко, В. О боковом взаимодействии на путь в кривых электровоза ВЛ10 в режиме рекуперативного торможения [Текст] / В. Цыганенко // Сб. науч. тр. ДИИТа. – Вып. 138. – Д.: ДИИТ, 1972.
8. Воздействие на путь при рекуперативном торможении [Текст] / М. Фришман [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 1973. – № 8.
9. Уманов, М. И. Определение допускаемых значений продольных сил в составе поезда при движении в кривых малых радиусов [Текст] / М. И. Уманов // Межвуз. сб. науч. тр. ДИИТа. – Вып. 228/25. – Д.: ДИИТ, 1983.
10. Татуревич, А. П. Особенности воздействия на стрелочные переводы локомотивов с повышенными осевыми нагрузками [Текст] / А. П. Татуревич // Межвуз. сб. науч. тр. ДИИТа. – Вып. 223/24. – Д.: ДИИТ, 1982.
11. Цыганенко, В. В. О боковом воздействии подвижного состава на стрелочные переводы при рекуперативном торможении [Текст] / В. В. Цыганенко, Ю. В. Луцкий, Л. П. Луцкая // Межвуз. сб. науч. тр. ДИИТа. – Вып. 283/32. – Д.: ДИИТ, 1991.
12. Экспериментальная оценка неровностей пути в плане в зоне стрелочных переводов [Текст] / Г. Г. Жеянин [и др.] // Межвуз. сб. науч. тр. ДИИТа. – Вып. 283/32. – Д.: ДИИТ, 1991.
13. Расчеты и испытания тяжеловесных поездов [Текст] / Е. П. Блохин [и др.]; под. ред. Е. П. Блохина. – М.: Транспорт, 1986. – 263 с.

Поступила в редколлегию 11.11.2012.  
Принята к печати 15.11.2012.

В. В. АРСОНОВ, І. В. БІЛАН, І. С. ГРУНИК, В. Л. ГОРОБЕЦЬ, Л. В. УРСУЛЯК,  
А. П. ТАТУРЕВИЧ

## **ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ДІЛНИЦІ ЛАВОЧНЕ–БЕСКИТ–ВОЛОВЕЦЬ ЗА РАХУНОК ІНТЕНСИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ САУРТ-БАРШ**

У статті розглянуто результати робіт, проведених на полігоні Львівської залізниці з метою оцінки можливості виключення пневматичного гальмування на ділянці Лавочне–Бескит–Воловець і оцінки можливості виключення з розкладу руху поїздів технічної зупинки по платформі Скотарське.

*Ключові слова:* тяговий рухомий склад, електровоз, рекуперативне гальмування, ходові випробування, моделювання

V. V. ARSONOV, I. V. BILAN, I. S. GRUNIK, V. L. GOROBETS, L. V. URSULYAK,  
A. P. TATUREVICH

## **ESTIMATE OF THE POSSIBILITY OF THE TRACK CAPACITY INCREASE OF THE SECTION LAVOCHNE–BESKYT–VOLOVETS AT THE EXPENSE OF INTENSIVE APPLICATION OF REGENERATIVE BRAKING SYSTEM SAURT-BARS**

In the paper the outcomes of operations performed on the proving track section of Lviv Railways aimed at estimating the possibility of exclusion of pneumatic braking on the section Lavchne–Beskyt–Volovets as well as the possibility of exclusion of an engineering stop at the platform Skotarske from the train schedule are observed.

*Keywords:* tractive rolling stock, electric locomotive, regenerative braking, run tests, modeling

О. М. БОНДАРЄВ, В. Л. ГОРОБЕЦЬ, Є. М. ДЗІЧКОВСЬКИЙ, О. Є. КРИВЧИКОВ,  
Д. О. ЯГОДА, В. С. БОНДАРЄВА (ДІПТ)

## ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЯГОВИХ АГРЕГАТІВ ОПЕ1А ТА ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЇХ СЛУЖБИ

В статті наведено результати комплексу робіт, спрямованих на забезпечення подовження терміну експлуатації тягових агрегатів ОПЕ1А.

*Ключові слова:* подовження терміну служби, метод скінчених елементів, твердість матеріалу, напружено-деформований стан, границя витривалості, еквівалентні напруження

На початку випуску тягових агрегатів ОПЕ1А спеціалістами Дніпропетровського НВО «Електрозовобудування», у відповідності до Технічного завдання на розробку та виробництво, було призначено строк служби основних несучих конструкцій, які впливають на безпеку руху та на безпеку виконання покладених на ці одиниці завдань, двадцять п'ять років. При цьому слід відзначити, що вказана одиниця під час розробки та виробництва створювалася як така, яка повинна працювати в складних умовах. Тому геометричні характеристики основних несучих конструкцій призначалися з умови забезпечення досить великих значень коефіцієнтів запасу міцності. В такій ситуації виникає питання про проведення комплексу робіт, які нададуть можливість продовжити термін експлуатації цих тягових агрегатів.

На рис. 1 показано загальний вигляд електровоза управління, дизельної секції та вагона-думпкара тягового агрегату ОПЕ1А.

Враховуючи те, що на промислових підприємствах України експлуатується досить великий парк тягових агрегатів серії ОПЕ1А, термін яких наблизився до призначеного, тому останнім часом науковці разом з спеціалістами виробництва почали вести роботу з проведення капітальних ремонтів з подовженням терміну експлуатації.

Для визначення можливості та умов подовження строку служби рам візків тягового агрегату ОПЕ1А та кузова електровоза управління виконано комплекс робіт, які передбачені чинною нормативною документацією з продовження терміну служби. При цьому було проведено обстеження технічного стану основних несучих конструкцій рам візків, рам кузовів електровоза управління та вагона думпкара; проведено розрахунки з використанням методу

скінчених елементів для ретельного аналізу напружено-деформованого стану несучих конструкцій; проведено аналіз результатів статичних міцнісних та динамічних міцнісних випробувань з визначення напружень найбільш навантажених елементів несучих конструкцій рами візків електровоза управління, дизельної секції та вагона думпкара; з метою визначення показників втоми проведено обстеження стану несучих конструкцій та проведено розрахунки з визначення їх ресурсу.



Рис. 1. Загальний вигляд електровоза управління, дизельної секції та вагона-думпкара тягового агрегату ОПЕ1А

З метою оцінки можливості зміни за час експлуатації міцнісних характеристик металу рам візків проведено вимірювання твердості металу. Несучі конструкції виготовлено з гарячекатаної сталі марки 16Д ГОСТ 6713-91.

Твердість вимірювалась на верхній та нижній полицях, а також в середині бічної стінки поздовжньої балки в зоні приєднання до неї поперечної шкворневої балки динамічним твердоміром ТДМ-1, зав. №624 який повірено спеціалістами ДСТУ 06.04.2010.

Результати цих вимірювань наведено у табл. 2.



Таблиця 2

**Величини твердості матеріалу несучих  
конструкцій рам візків**

№ візка	Верхня полиця		Бічна стінка		Нижня полиця	
	Середнє значення	Середнє квадратичне відхилення	Середнє значення	Середнє квадратичне відхилення	Середнє значення	Середнє квадратичне відхилення
3910	153,8	5,6	153	1,9	151,3	7,6
3899	150,6	6,1	130,8	4,3	157	4,3

Місця, в яких вимірювалась твердість матеріалу на рамах візків електровоза управління, дизельної секції та вагона-думпкара, вказано на рис. 2.

На основі Методики оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій тягового рухомого складу [1] та «Норм расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части моторвагонного подвижного состава железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм» [3] було зроблено оцінку ресурсу рам візків електровоза управління та вагона – думпкара, а також умов подальшої експлуатації їх кузовів.

Для проведення розрахунків ресурсу були використані дані попередніх випробувань, а також результати з визначення границі витривалості на підставі вимірювання твердості матеріалів основних несучих конструкцій.

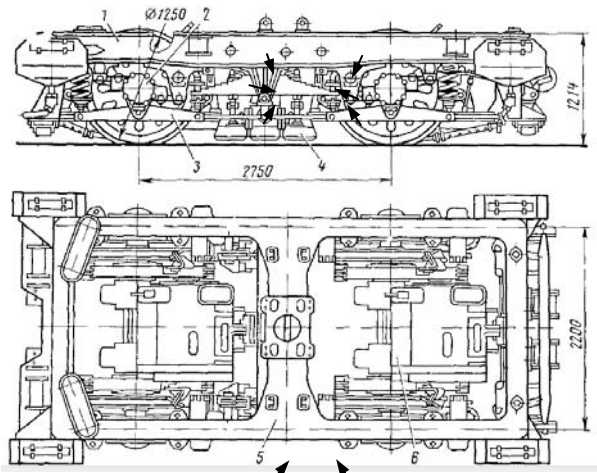


Рис. 2. Місця вимірювання твердості матеріалу на візках електровоза управління, дизельної секції та вагона-думпкара

Нормативні [2] розрахунки міцності рам візків електровоза управління, дизельної секції, вагона – думпкара та рами кузова електровоза управління тягового агрегату ОПЕ1 проведено з використанням результатів динамічних ходо-

вих випробувань та аналітично за допомогою метода скінченних елементів (МСЕ) на програмному комплексі COSMOSWorks 2006, який пройшов вичерпне тестування при розрахунках напружено-деформованого стану складних несучих конструкцій рухомого складу у ГНДЛ ДМРС.

**Непряма оцінка границі витривалості матеріалу рам візків тягових агрегатів ОПЕ1А**

В рамках проведення робіт з використання непрямих методів контролю ресурсу несучих конструкцій електропоїздів ЕР1, ЕР2, ЕР9 [1], на базі випробувальної лабораторії ДКБ «Південне» (ДП «Південний машинобудівний завод») був проведений лабораторний експеримент із порівняльною оцінкою твердості плоских стандартних зразків, до та після проведення випробувань. Плоскі зразки були вирізані з низьколегової маловуглецевої листової сталі 20ГФЛ. Результати порівняння твердості зразків наведені на рис. 1. Для наведених даних отримані математичні очікування і стандарти відхилення, які склали:

– зразок перед випробуваннями: математичне очікування твердості –  $Mx = 167$  НВ, стандарт відхилення  $S = 3$  НВ;

– зразок після випробувань: математичне очікування –  $Mx = 163$  НВ, стандарт відхилення  $S = 5$  НВ.

З урахуванням отриманих величин стандартів відхилень, зміна твердості по Бринелю рам візків і зразків перебуває в межах статистичної погрішності. Більше того, і характер зміни твердості в наведених випадках протилежний.

Таким чином, порівняння результатів, отриманих з вимірювання твердості екземплярів рам візків електропоїздів ЕР1 та зразків, з якими проводилися випробування, не дозволяє зробити висновки про можливість використання твердості металу по Бринелю як основу одного з методів неруйнівного контролю ресурсу несучої конструкції. У цей же час, вимірювання поверхневої мікротвердості [2] пропонується як один з можливих способів неруйнівної технології контролю ресурсу матеріалів (хоча з урахуванням звичайного стану поверхні НК рухомого складу, така технологія буде скрутною в застосуванні).

З метою виявлення залежності між границею витривалості та границею текучості було проведено випробування, які склалися з двох етапів:

1. Визначення режиму  $\sigma_p$  та кількості руйнівних циклів  $N_R(\sigma_p)$  при зазначеному навантаженні.

2. Прикладення наробітку в об'ємі 85, 90, 95 % від  $N_R(\sigma_p)$  із наступним випробуванням зразків на статичне розтягання.

Результати, отримані в роботі [1], можуть дати певне уявлення щодо характеру зміни твердості матеріалу в процесі напрацювання (хоча, очевидно, внаслідок невеликого відхилення значень від вихідних, не можуть бути признані єдиним критерієм оцінки напрацювання та ресурсу).

Результати, нормовані відносно вихідних величин твердості, наведено в табл. 1.

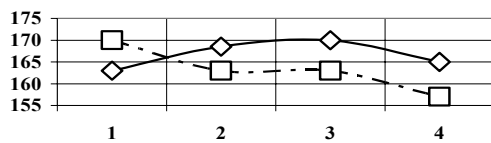


Рис. 1. Твердість по Бринелю (НВ) плоских сталевих зразків на початку циклічного навантаження (лінія 1) і після руйнування (лінія 2)

Таблиця 1

Відносна зміна твердості зразків з малоуглецевої сталі в процесі напрацювання

№ пор.	Параметр	Значення, %	
		Вихідний стан	Перед руйнуванням
1	Твердість по Бринелю	100	97,6
2	Середньоквадратичне відхилення твердості по Бринелю	1,79	3,1

З метою оцінки можливості зміни за час експлуатації міцнісних характеристик металу рам візків проведено вимірювання твердості металу. Несучі конструкції виготовлено з гарячекатаної сталі марки 16Д ГОСТ 6713-91.

Твердість вимірювалась на верхній та нижній полицях, а також в середині бічної стінки поздовжньої балки в зоні приєднання до неї поперечної шкворневої балки динамічним твердоміром ТДМ-1, зав. № 624 який повірений у відповідності до ДСТУ 06.04.2010.

Результати цих вимірювань наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Величини твердості матеріалу несучих конструкцій рам візків

№ візка	Верхня полиця		Бічна стінка		Нижня полиця	
	Середнє значення	Середнє квадратичне відхилення	Середнє значення	Середнє квадратичне відхилення	Середнє значення	Середнє квадратичне відхилення
3910	153,8	5,6	153	1,9	151,3	7,6
3899	150,6	6,1	130,8	4,3	157	4,3

З даних табл. 3 можна зробити висновок, що в рамі візка тягового агрегату найбільше напрацювання за номіналом та характером показників твердості має нижня полиця її поздовжньої балки, якій необхідно приділити особливу увагу при організації контролю її технічного стану та мати на увазі можливість необхідності розробки проектів її посилення, при необхідності.

Відповідно до даних робіт [4, 5], отриманих для великого об'єму конструкційних матеріалів, між межами витривалості (при вигині або розтягуванні) і текучості існує відома регресійна залежність (рис. 2).

Згідно з цими даними межа витривалості  $\sigma_{-1}$  може бути пов'язана з твердістю по Бринелю НВ лінійною залежністю вигляду

$$\sigma_{-1} [\text{МПа}] = 1,65 \cdot \text{HB} \pm 70 [\text{МПа}]. \quad (1)$$

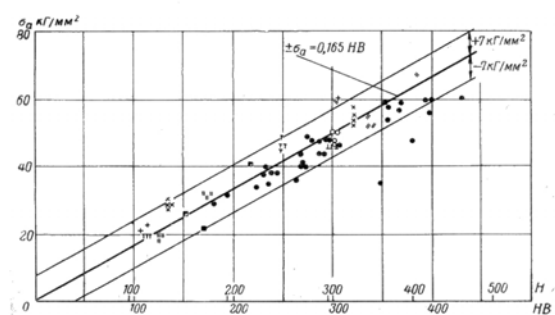


Рис. 2. Залежність між межею витривалості та твердості по Бринелю (НВ) і по Роквелу (Н) для сталей (за даними різних авторів)

Відразу необхідно відзначити, що формула (1) досить обґрунтована для міцних сталей і дає недостовірні результати для низьколегованих малоуглецевих сталей, які в основному вико-

ристовуються для виробництва несучих конструкцій рухомого складу.

Крім того, з даних рис. 2 і формули (1) виходить наявність статистичного розсіювання в кореляційному зв'язку вищевказаних величин,

що тим більше схиляє до використання в подальших викладеннях нижньої границі межі витривалості при використанні регресійної залежності (1).

Таблиця 3

**Відносні величини твердості матеріалу несучих конструкцій рам візків з урахуванням нерівномірного стану поверхні (коефіцієнт концентрації  $K_\sigma = 1,1 \cdot 1,0/0,75 = 1,467$  [3])**

№ візка	Верхня полиця		Бічна стінка		Нижня полиця	
	Середнє значення, %	Середнє квадратичне відхилення, %	Середнє значення, %	Середнє квадратичне відхилення, %	Середнє значення, %	Середнє квадратичне відхилення, %
3910	100	2,48	100	0,85	100	3,42
3899	100	1,9	100	2,24	100	1,87

Оцінка середньої границі витривалості матеріалу рам візків наданого агрегату орієнтовно складає

$$\begin{aligned}\sigma_{-1} &= 1,65 \cdot HB_{\min} \pm 70 = \\ &= 1,65 \cdot 151,3 \pm 70 = 250 \left( \frac{180}{320} \right) \text{ МПа.}\end{aligned}$$

Таким чином, орієнтовне мінімальне значення границі витривалості матеріалу обстежених рам візків складає  $\sigma_{-1\min} = 180$  МПа.

#### Результати статичних та динамічних міцнісних ходових випробувань

Спеціалістами Галузевої науково-дослідної лабораторії було проведено статичні та динамічні міцнісні випробування з визначення напружено-деформованого стану основних несучих елементів рам візків електровоза управління.

Напруження вимірювалися в найбільш навантажених перерізах – в місцях переходу шкворневого бруса до поздовжніх балок рами візка по нижньому та верхньому листах, а також на верхньому листі навколо плити підп'ятника.

Статичні напруження визначалися від ваги кузова.

Динамічні складові напружень вимірювалися під час руху в прямих, кривих малих радіусів (до 120 м) та при рухові стрілочними переводами.

На рис. 3 наведено вид рами візка із встановленими на ній тензорезисторами для вимірювання напружень в найбільш навантажених місцях.

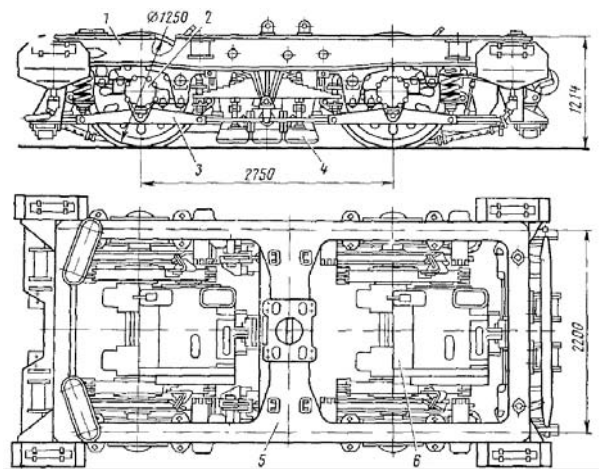


Рис. 3. Вид рами візка з встановленими на ній тензорезисторами для вимірювання напружень в найбільш навантажених місцях

В якості показників міцності було визначено коефіцієнти запасу втомної міцності

$n_{\text{вт}} = \frac{\sigma_{-1}}{k\sigma_a + \psi\sigma_m}$  та коефіцієнт запасу міцності

по статичній несучій спроможності

$n_{\text{т}} = \frac{\sigma_{\text{т}}}{\sigma_a + \sigma_m}$ ,  $\sigma_m = \sigma_{\text{ст}} + \sigma_f$ . В наведених фор-

мулах:  $\sigma_{-1}$  – границя витривалості при симетричному циклі;  $\sigma_a$  – амплітуди циклів напружень при заданій швидкості руху;  $\sigma_{\text{ст}}$  статичне напруження від ваги кузова;  $\sigma_f$  – напруження від сили тяги при відповідній швидкості руху;  $k$  – коефіцієнт, який враховує зменшення витривалості конструкції, який приймається за даними чинної нормативної документації рівним 2,1;  $\psi$  – коефіцієнт асиметрії циклу, який

при  $\sigma_{ст} > 0$  дорівнює 0,3, а при  $\sigma_{ст} < 0$  дорівнює 0,1.

В табл. 4 наведено результати вимірювань та розрахунків з визначення коефіцієнтів запасу.

Таблиця 4

Позначення точки	1	2	3	4	5
$\sigma_{ст}$ , МПа	-52	-53	28	19	39
$\sigma_f$ , МПа	40	41	20	14	24
$\sigma_m = \sigma_{ст} + \sigma_f$ МПа	92	94	48	33	63
$\sigma_a$ , МПа	25	26	31	32	25
$n_{вт}$	2,77	2,58	2,15	2,21	2,38
$n_T$	2,03	2,0	3,04	3,7	2,73

Ці результати було отримано при наступних значеннях границі витривалості  $\sigma_{-1} = 170$  МПа, та границі текучості  $\sigma_T = 240$  МПа.

Чинною нормативною документацією встановлено, що наведені коефіцієнти запасу міцності  $n_{вт} \geq 2$ ,  $n_T \geq 2$ . З такої точки зору дані наведеної таблиці свідчать, що міцність основних несучих елементів рами візку електровоза управління забезпечена.

Результати чисельних розрахунків з визначення напружено-деформованого стану рами кузова електровоза управління, рами вагона-дмпкара та рам візків всього тягового агрегату ОПЕ1А.

#### Рама кузова електровоза управління та результати розрахунків на міцність

На рис. 4 наведено загальний вигляд рами кузова електровоза управління тягового агрегату ОПЕ1А, а на рис. 5 – її скінченно-елементна розрахункова модель для проведення чисельних розрахунків з визначення напружено-деформованого стану. Далі на рис. 6-16 наведено: види деформованих станів рами кузова електровоза управління при дії різних варіантів навантажень; поля розподілу напружень; фрагменти конструкцій з відзначенням точок, в яких створюються найбільші еквівалентні за четвертою теорією міцності напруження.

Розроблена скінченно-елементна розрахункова схема складається з 233789 вузлових точок та нараховує 123615 скінчених елементів.

Під час проведення розрахунків на дію вертикального навантаження приймалося, що сумарна вага від обладнання, яка діє на раму кузова електровоза складає 61 т, або 598,41 кН.

Ця вага представлялася у вигляді діючого розподіленого навантаження на відповідних ділянках складається: з ваги трансформатора, двох вентиляторів та іншого обладнання. Нижче на рис. 6 наведено схема дії відповідного навантаження, а на рис. 7, 8 та 9 поля розподілу напружень та вид деформованого стану. Найбільший рівень еквівалентних напружень за четвертою теорією міцності від дії такого навантаження створюється у точці відміченою маркером та дорівнює 83 МПа.



Рис. 4. Загальний вигляд моделі рами кузова електровоза управління тягового агрегату ОПЕ1А

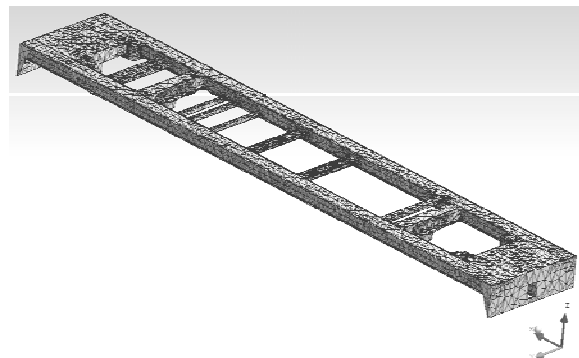


Рис. 5. Скінченно-елементна розрахункова схема рами кузова для проведення чисельних розрахунків з визначення напружено-деформованого стану

На рис. 10 наведено схему діючого навантаження при русі тягового агрегату в режимі тяги, а на рис. 11–13 – результати відповідних розрахунків. Величину тягового зусилля було визначено на підставі тягових характеристик за умовою зрушення тягового агрегату з місця. Величина тягового зусилля дорівнює 1260 кН, що відповідає зусиллю діючому на раму електровоза управління 420 кН. Далі перерозподіл цього зусилля виконано у відповідності до конструктивних особливостей екіпажної частини електровоза управління. У відміченій маркером точці на рамі кузова в цьому режимі руху найбільше розрахункове напруження дорівнює 128 МПа.

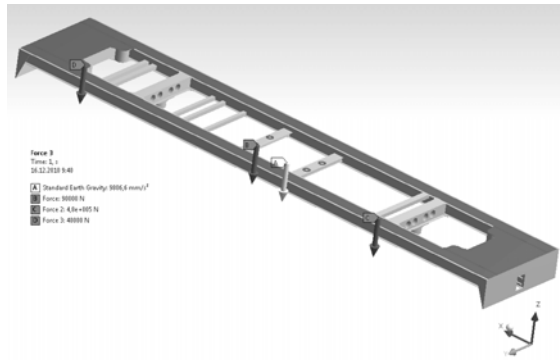


Рис. 6. Схема прикладення вертикального статичного навантаження, що передається на раму кузова

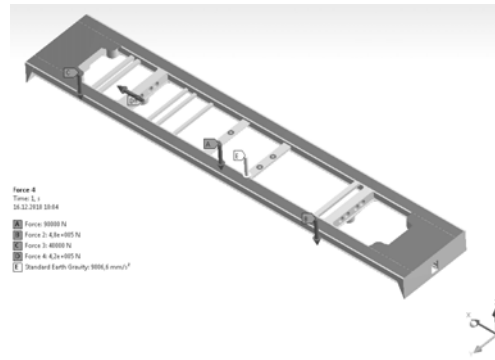


Рис. 10. Схема навантажень, що прикладаються до рами кузова при реалізації тяги



Рис. 7. Поля розподілу еквівалентних напружень та деформований стан рами кузова при дії вертикального навантаження

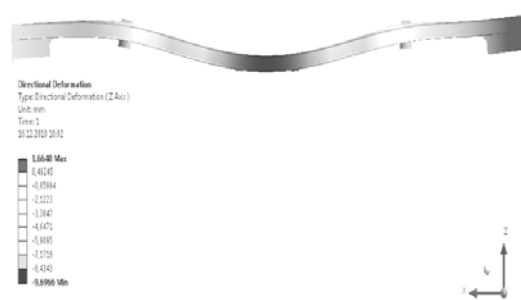


Рис. 11. Поля розподілу напружень та деформований стан рами візка при русові в режимі тяги (тягове зусилля 1260 кН всього агрегату)

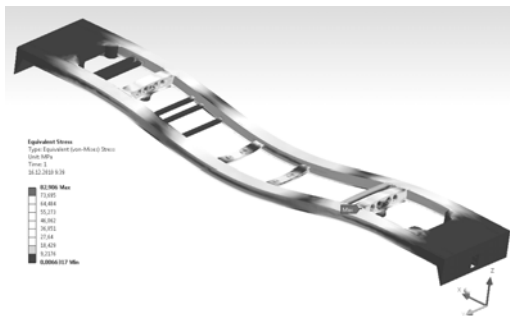


Рис. 8. Поля розподілу еквівалентних напружень у рамі кузова з відзначенням маркером точки, в якій створюються найбільші напруження

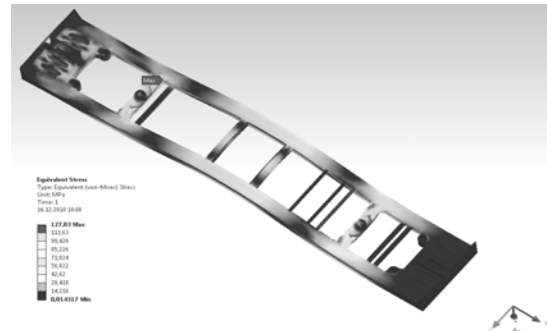


Рис. 12. Поля розподілу еквівалентних напружень та деформований стан рами візка при русові в режимі тяги (тягове зусилля 1260 кН всього агрегату)

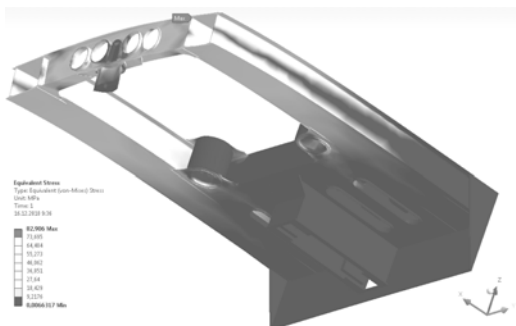


Рис. 9. Поля розподілу еквівалентних напружень у фрагменту конструкції рами кузова від дії вертикального навантаження з відзначенням маркером точки, в якій створюються найбільші напруження

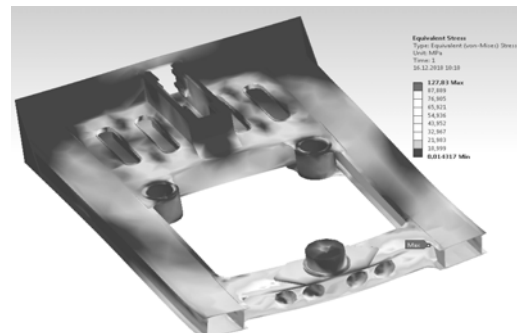


Рис. 13. Поля розподілу еквівалентних напружень у фрагменту конструкції рами кузова при русові в режимі тяги з відзначенням маркером точки, в якій створюються найбільші напруження

На рис. 14 показано схему прикладання стискаючого навантаження, на яке повинні розраховуватися елементи рами кузова у відповідності до вимог Норм [ 3 ].

На рис. 15 та 16 наведено поля розподілу напружень та вид деформованого стану при такому режимі навантаження. В точці, відміченої маркером створюються найбільші еквівалентні напруження для цього випадку. Слід відмітити те, що в залежності від рівня стискаючого напруження в цій точці рівні напружень можуть досягати досить високих рівнів. Тому під час продовженого терміну експлуатації необхідно контролювати стан місць та вузлів рами кузова, позначених маркером.

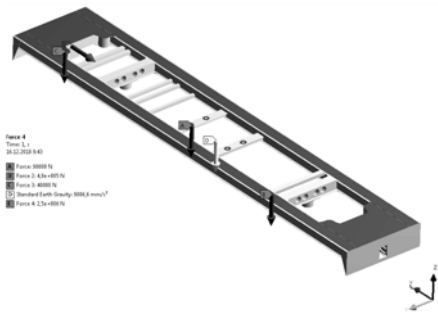


Рис. 14. Схема навантаження рами кузова на дію поздовжніх стискаючих зусиль



Рис. 15. Поля розподілу еквівалентних напружень та деформований стан рами візка при дії поздовжньої стискаючої сили (стискаюче зусилля 2500 кН)



Рис. 16. Поля розподілу напружень та деформований стан рами кузова при дії поздовжньої стискаючої сили 2500 кН. Маркером відмічена точка, в якій створюються найбільші напруження

На рис. 17–21 наведено результати розрахунків з визначення напружено-деформованого стану рами вагона-думпкара на дію вертикального навантаження.

На рис. 17 показано загальний вигляд моделі рами вагона думпкара, а на рис. 18 розрахункова скінченно-елементна схема моделі для проведення чисельних розрахунків напружено-деформованого стану в різних режимах експлуатації. Розрахункова скінченно-елементна схема моделі для проведення розрахунків напружено-деформованого стану складається з 150648 вузлів та має 81909 скінченних елементів.

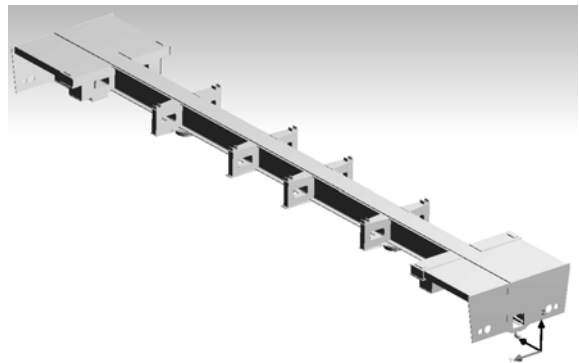


Рис. 17. Загальний вигляд моделі рами вагона думпкара

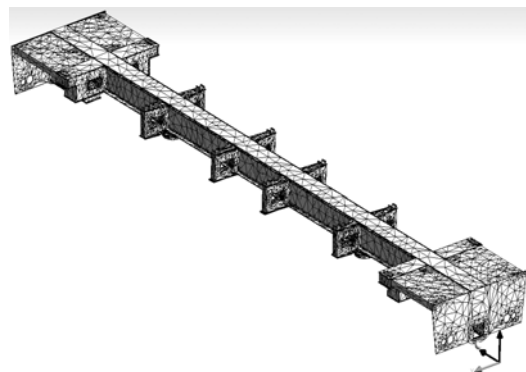


Рис. 18. Розрахункова скінченно-елементна схема моделі для проведення чисельних розрахунків напружено-деформованого стану

На рис. 19 наведено схему прикладання вертикального навантаження до рами вагона-думпкара, на рис. 20 деформований стан від дії вертикального навантаження, а на рис. 21 та 22 результати розрахунків напружено-деформованого стану при її навантаженні вагою кузова та обладнання 54,2 кН, а також від вантажу вагою у 604 кН.

На рис. 23 наведено схему діючого навантаження на раму вагона-думпкара при рухові в такому режимі.

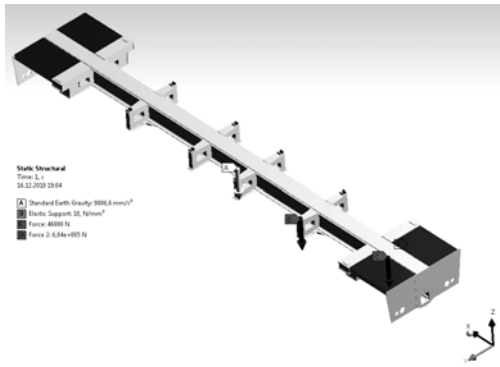


Рис. 19. Схема прикладання вертикального навантаження до рами вагона-думпкара

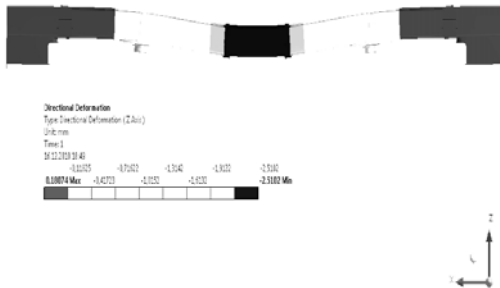


Рис. 20. Деформований стан рами вагона-думпкара від дії вертикального навантаження

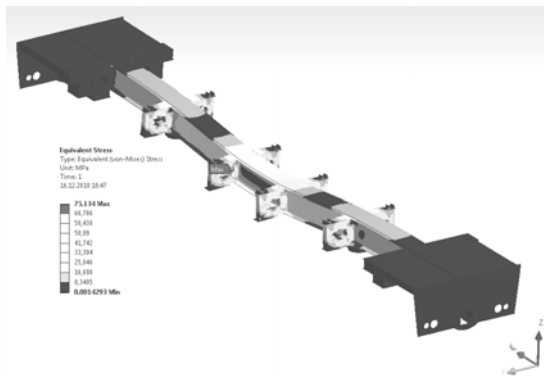


Рис. 21. Поля напружень та деформований стан рами вагона-думпкара від дії вертикального вантажу. Маркером відмічена точка за найбільшим рівнем напружень

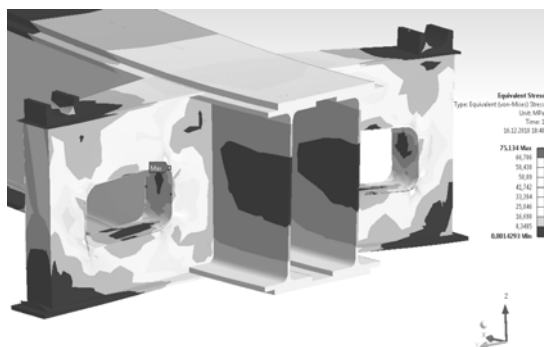


Рис. 22. Фрагмент конструкції рами візка з відміченою маркером точкою, в якій створюються найбільші напруження від вертикального навантаження

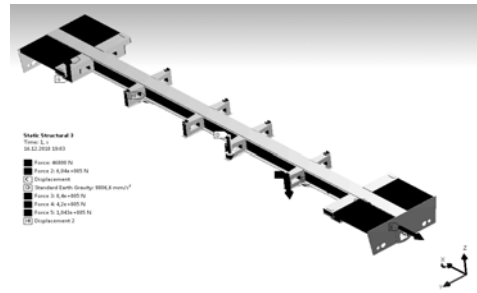


Рис. 23. Схема діючого навантаження на раму вагона-думпкара при зрушенні тягового агрегату з місця

На рис. 24 показано деформований стан рами вагона-думпкара від дії тягового зусилля та вертикального навантаження, а на рис. 24 та 25 наведено поля розподілу напружень, отриманих при розрахунку напружено-деформованого стану в цьому режимі.



Рис. 24. Деформований стан рами вагона-думпкара при зрушенні тягового агрегату з місця

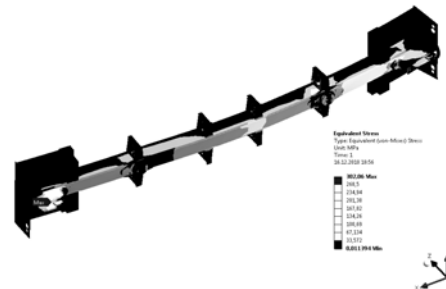


Рис. 25. Поля напружень та вид деформованого стану рами вагона-думпкара при зрушенні з місця тягового агрегату (тягове зусилля всього агрегату 1260 kN). Маркером відмічена точка з найбільшим рівнем напружень

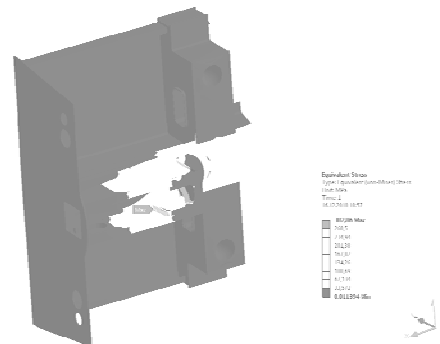


Рис. 26. Фрагмент конструкції рами вагона-думпкара з наведеним полем розподілу напружень та з відміченою маркером точкою з найбільшим рівнем напружень при зрушенні тягового агрегату з місця (тягове зусилля всього агрегату 1260 kN)



На рис. 27 наведено схему навантаження для розрахунку напружено-деформованого стану рами вагона-думпкара на поздовжнє стиснення.

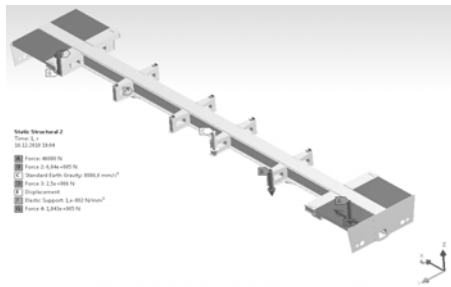


Рис. 27. Схема навантаження рами вагона-думпкара для розрахунків напружено-деформованого стану на поздовжній стиск

На рис. 28 показано деформований стан рами вагона-думпкара при поздовжньому стисканні силами 2500 кН, а на рис. 29–30 поля розподілу напружень при цьому виді навантаження.



Рис. 28. Деформований стан рами вагона-думпкара при поздовжньому стисканні силами 2500 кН

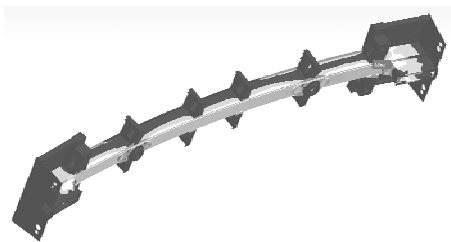


Рис. 29. Поля розподілу напружень та вид деформованого стану рами вагона-думпкара при поздовжньому стиску силою 2500 кН. Маркером відмічена точка з найбільшим рівнем напружень

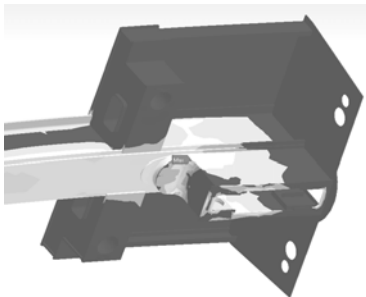


Рис. 30. Фрагмент конструкції рами вагона-думпкара з наведеним полем розподілу напружень та з відміченою маркером точкою з найбільшим рівнем напружень при поздовжньому стиску силою 2500 кН

На рис. 31 наведено загальний вигляд рами візків тягового агрегату ОПЕ1А, а на рис. 31 – скінченно-елементна розрахункова схема моделі для проведення чисельних розрахунків з визначення напружено-деформованого стану. Скінченно-елементна розрахункова модель складається з 18943 елементів та має 109794 вузли.

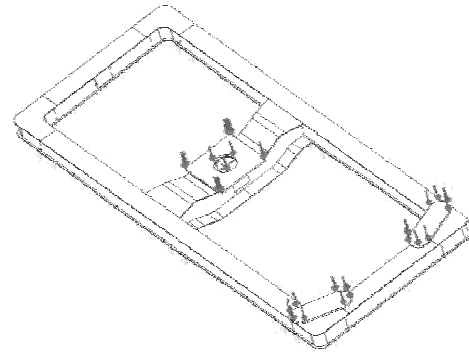


Рис. 31. Загальний вигляд рами візків тягового агрегату ОПЕ1А

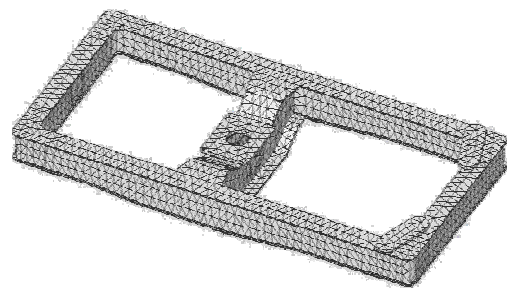


Рис. 32. Скінченно-елементна розрахункова схема моделі рам візків тягового агрегату ОПЕ1А для проведення розрахунків з визначення напружено-деформованого стану

На рис. 33–35 наведено результати розрахунку рами візка на дію вертикального навантаження та поле розподілу напружень.

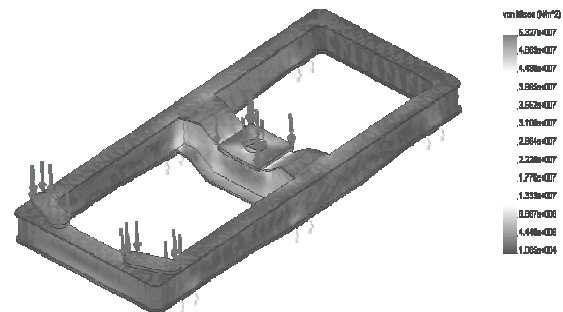


Рис. 33. Результати розрахунку рами візка на дію вертикального навантаження та поле розподілу напружень (вид зверху)

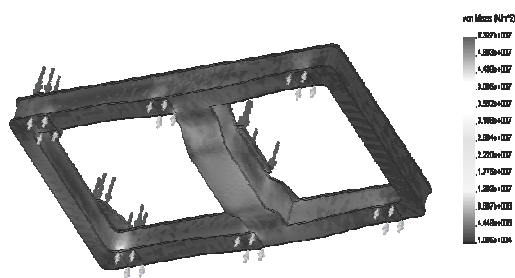


Рис. 34. Результати розрахунку рами візка на дію вертикального навантаження та поле розподілу напружень (вид знизу)

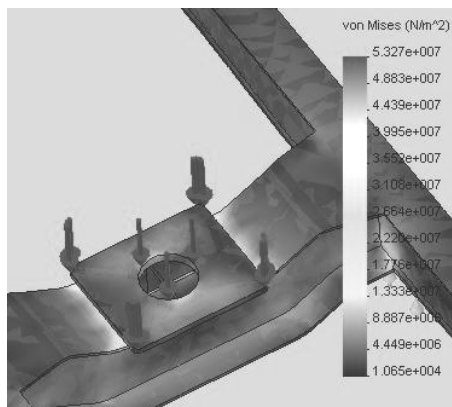


Рис. 35. Фрагмент рами візка з результатами на дію вертикального навантаження та поле розподілу напружень (вид зверху)

На рис. 37 показано фрагмент конструкції рами візка та поле розподілу напружень від дії вертикального та поздовжнього навантаження при зрушенні тягового агрегату з місця.

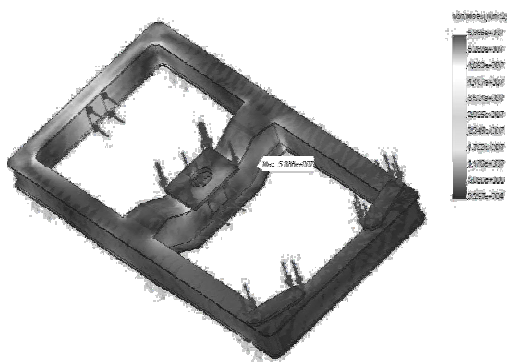


Рис. 36. Поле розподілу напружень в рамі візку від дії вертикального та поздовжнього навантаження при зрушенні тягового агрегату з місця

### Висновки щодо строку служби несучих конструкцій рам візків та кузова електровоза управління, а також рам візків вагона-думпкара тягового агрегату ОПЕ1А

1.1. На підставі проведення експериментальних випробувань з визначення рівнів напру-

жень, що створюються в умовах експлуатації в несучих конструкціях рам візків електровоза управління і вагона-думпкара та розрахунків напружено-деформованого стану рам візків у кузовів одиниць рухомого складу тягового агрегату ОПЕ1А, зроблено такі висновки:

– Ресурс рам візків електровоза управління, дизельної секції і вагона-думпкара на поточний момент складає 40 років їх експлуатації від побудови при умові проведення систематичного неруйнівного контролю.

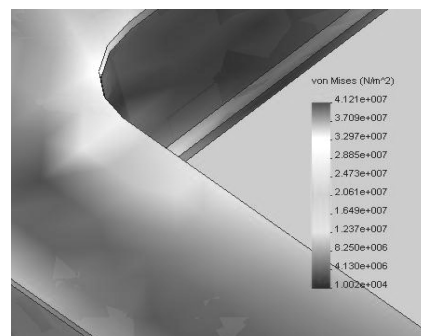


Рис. 37. Фрагмент конструкції рами візка та розподіл напружень від дії вертикального та поздовжнього навантаження при зрушенні тягового агрегату з місця

– Ресурс рам кузова електровоза управління складає 40 років від побудови при умові проведення систематичного неруйнівного контролю.

– Візки, в основному металі рами яких виявлено повторне виникнення тріщини на місці раніше зробленого заварювання, виключаються з подальшої експлуатації.

– Наднормативна експлуатація кузова електровоза управління тягового агрегату ОПЕ1А забезпечується проведенням необхідних робіт при капітальних ремонтах з подовженням строку служби (КРП) за станом корозійного зношення несучих конструкцій та їх періодичного неруйнівного контролю з метою прогнозування розвитку корозії несучих конструкцій при виконанні наступних капітальних ремонтів (КР1, КР2).

– Наднормативна експлуатація несучих конструкцій забезпечується проведенням систематичного неруйнівного контролю несучих конструкцій рам візків та кузова кваліфікованим персоналом.

– Наднормативна експлуатація тягового агрегату не допускається при відсутності справних гасників коливань, які передбачені конструкторською документацією (КД).

– Колісні пари мають бути відремонтовані у відповідності до Інструкції ВНД 32.0.07.001-2001 [13].

На підставі виконаного комплексу робіт за-  
мовнику надається «Технічне рішення заходів  
під час подовженого терміну експлуатації».

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава [Текст]. – К.: Гос. администрация ж.-д. трансп. Украины, ДИИТ, 1998. – 51 с.
2. Duij, Ye. An approach to investigate pre-nucleation fatigue damage of cyclically loaded metals using Vickers microhardness tests [Text] / Ye. Duij, Zhenlin Wang // Int. J. of Fatigue. – Jan. 2001. – Vol. 23, Issue 1. – P. 85–91.
3. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов

железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм [Текст]. – М.: МПС РФ, ВНИИЖТ, 1998. – 145 с.

4. Трощенко, В. Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов [Текст] : в 2 т. / В. Т. Трощенко, Л. А. Сосновский. – К.: Наук. думка, 1987. – 1303 с.
5. Хейвуд, Р. Б. Проектирование с учетом усталости [Текст] / Р. Б. Хейвуд. – М.: Машиностроение, 1969. – 504 с.
6. Электроподвижной состав промышленного транспорта [Текст] : справочник / Л. В. Баллон [и др.]; под ред. Л. В. Баллона. – М.: Транспорт, 1987. – 296 с.

Надійшла до редколегії 05.09.2011.

Прийнята до друку 16.09.2011.

А. М. БОНДАРЕВ, В. Л. ГОРОБЕЦ, Е. М. ДЗИЧКОВСКИЙ, А. Е. КРИВЧИКОВ,  
Д. А. ЯГОДА, В. С. БОНДАРЕВА

### ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТЯГОВЫХ АГРЕГАТОВ ОПЭ1А И ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ИХ СЛУЖБЫ

В статье приведены результаты комплекса работ, направленных на обеспечение продления срока эксплуатации тяговых агрегатов ОПЭ1А.

*Ключевые слова:* продление срока службы, метод конечных элементов, твёрдость материала, напряжённо-деформированное состояние, предел выносливости, эквивалентные напряжения

О. М. BONDARYEV, V. L. GOROBETS', Ye. M. DZICHKOVSKYY,  
O. Ye. KRYVCHYKOV, D. O. YAGODA, V. S. BONDARYEVA

### ESTIMATION OF STRENGTH INDICES OF PARTS OF SUPPORTING STRUCTURES OF TRACTION ASSEMBLIES OPE1A (ОПЭ1А) AND PROLONGATION OF THEIR SERVICE LIFE

In the article the results of a set of works directed to providing the prolongation of service life of the traction assemblies OPE1A (ОПЭ1А) are presented.

*Keywords:* service life prolongation, finite-element method, hardness of material, stressed-and-strained state, fatigue limit, equivalent stresses

## АНАЛИЗ ТРУДОЁМКОСТЕЙ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ РАБОТ ПРИ ДЕПОВСКОМ РЕМОНТЕ ПОЛУВАГОНОВ

Исследованы трудоёмкости отдельных видов работ при деповском ремонте полувагонов. Показано, что трудоёмкости являются случайными величинами, имеющими довольно широкий размах. Эта особенность вагоноремонтного производства должна обязательно учитываться при организации ремонта вагонов на потоке.

*Ключевые слова:* ремонт вагонов, трудоёмкость, обработка статистических данных, поточный метод

Известно, что технический прогресс в вагонном хозяйстве невозможен без развития вагоноремонтной науки. Развитие же вагоноремонтной науки, в свою очередь, невозможно без хорошо спланированных и поставленных экспериментов, без грамотной обработки их результатов с целью получения наибольшего количества необходимой информации.

Как известно, трудоёмкости ремонта вагонов, даже одного и того же типа, сильно отличаются друг от друга. Это зависит от многих причин, и в первую очередь от модели вагона, срока его службы, условий эксплуатации, качества предыдущих ремонтов и технического обслуживания. В условиях стационарного производства различие в трудоёмкостях ремонта не является определяющим фактором. Но стационарные методы ремонта неэффективны и низкопроизводительны.

Более производительными являются поточные методы. Вместе с тем, величина трудоёмкости ремонта вагонов является определяющим фактором, влияющим на ритмичную работу поточных вагоноремонтных линий. Чтобы правильно организовать ремонт грузовых вагонов на потоке, оптимизировать структуру потока и его основные параметры, необходимо использовать имитационное моделирование на ЭВМ. Для построения моделей в числе первоочередных данных необходимо иметь и достоверную информацию о трудоёмкостях ремонта вагонов.

В 80-х годах рядом авторов проводились определённые исследования в этом направлении.

Так в работе [1] были исследованы трудоёмкости деповского ремонта крытых вагонов. В работе [2] были исследованы фактические затраты труда на поточной линии по ремонту полувагонов на Канашском ВРЗ и на поточных линиях по ремонту автосцепки и люков полувагонов. Результаты [2] показали, что трудоёмко-

сти ремонта на позициях поточных линий подчиняются нормальному закону распределения.

Однако за прошедшие 20...30 лет произошли серьёзные перемены в конструкциях вагонов, на смену старым моделям пришли новые, исчезли вагоны с деревянной обшивкой, изменились условия труда, поменялось технологическое оборудование. Поэтому в настоящее время появилась острая необходимость в исследовании трудоёмкостей ремонта вагонов.

В качестве объектов для исследования трудоёмкостей были выбраны полувагоны, принадлежащие ОАО «ЮГОК», которые проходили деповской ремонт в вагонном депо на ст. Нижнеднепровск-Узел. Анализ проводился как по трём видам ремонтных работ в отдельности: слесарным, газорезательным и электросварочным, так и по суммарной и полной трудоёмкостям. По каждому вагону на основании имеющихся дефектов и норм времени на каждый дефект определялся необходимый объём работ. Норматив времени по дефектам, например, для слесарных работ выбирался согласно типовым нормам времени [3]. Всего было обследовано 125 вагонов. Полученные эмпирические данные по трём видам работ, выполняемых в вагоноборочном участке, представлены в табл. 1.

Учитывая, что слесарные, газорезательные и электросварочные работы на кузове и раме вагонов в депо ст. Нижнеднепровск-Узел выполняются одними и теми же исполнителями (сварщиками), то важно знать и суммарную трудоёмкость этих работ (табл. 2). Остальные работы выполняются другими работниками.

Анализ статистических данных можно производить и вручную, и с использованием, например, программы STATISTICA по методике, изложенной в работах [4–5].

Опишем кратко методику обработки статистических данных на примере полной трудоёмкости.

Таблица 1

## Выборочные данные по трудоёмкостям работ, выполняемых при деповском ремонте полувагонов

№ п/п	Номер вагона	Трудоёмкость работ, чел-ч			№ п/п	Номер вагона	Трудоёмкость работ, чел-ч		
		Слесар- ные	Газоре- затель- ные	Электро- сваро- чные			Слесар- ные	Газоре- затель- ные	Электро- сваро- чные
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	56920499	9,773	0,353	12,612	64	56923592	11,71	1,835	24,366
2	53454484	8,608	8,416	9,254	65	53454765	10,475	9,730	36,720
3	56921695	8,173	1,415	14,992	66	56923899	10,438	5,461	26,108
4	56918097	8,784	0,458	9,901	67	53454690	11,406	2,258	23,989
5	56921497	9,773	1,550	13,830	68	56919996	10,419	2,474	24,663
6	56923295	10,972	0,683	6,072	69	53412953	12,427	4,605	18,806
7	53454575	5,563	2,765	12,030	70	53454492	11,260	3,103	27,433
8	53454872	11,312	8,360	15,804	71	56921398	10,324	2,481	20,773
9	53413803	8,249	6,103	16,726	72	56923097	10,173	3,463	27,269
10	56923394	7,167	2,592	12,621	73	53587317	9,944	1,321	7,849
11	53587408	5,602	5,461	8,645	74	53454898	11,665	3,104	24,070
12	53454625	6,241	6,244	25,135	75	53421805	11,451	5,743	10,399
13	53587424	7,981	3,203	8,006	76	56923691	11,198	2,392	23,799
14	53454567	6,183	4,573	20,352	77	56915895	5,952	5,117	29,608
15	53454732	5,610	4,564	21,654	78	56919798	10,486	2,402	25,338
16	53454526	7,295	3,579	17,772	79	56925191	6,330	5,565	26,192
17	53454617	6,187	6,505	13,356	80	53587168	11,578	6,966	11,803
18	53454914	5,905	6,744	22,689	81	53454724	11,451	3,554	31,599
19	53413688	8,929	5,348	12,419	82	53454609	10,156	3,560	30,665
20	53454641	6,127	5,043	17,128	83	56917891	13,988	6,160	14,501
21	53587903	9,466	11,228	23,672	84	56921794	12,480	3,880	26,170
22	53587341	10,886	6,752	11,664	85	56919491	11,130	3,540	24,600
23	53454963	9,815	3,159	29,492	86	53413746	13,373	11,695	24,255
24	56920291	4,720	4,500	26,100	87	56920192	13,231	7,491	17,631
25	56924996	11,580	7,740	35,000	88	56917990	13,890	8,900	17,165
26	53587150	9,561	12,169	30,419	89	56917792	12,643	1,747	25,104
27	56916091	11,250	4,410	24,530	90	56917693	12,890	2,504	28,739
28	53454922	12,210	4,670	29,500	91	56922792	12,564	2,099	26,692
29	56922990	5,220	4,400	18,270	92	56920994	12,671	1,921	23,293
30	56924699	11,381	3,970	12,880	93	56923493	11,807	1,012	21,812
31	56918394	7,360	3,388	21,727	94	53413308	3,410	6,280	14,360
32	56924392	7,189	2,432	12,281	95	53587267	12,810	10,060	18,840
33	56924897	7,329	7,237	27,834	96	56924194	12,480	5,990	17,770
34	56919897	7,213	1,764	10,287	97	56919590	12,990	5,900	26,520
35	53454971	7,070	4,860	13,761	98	53454674	7,395	4,970	31,057
36	53454864	7,392	4,623	14,998	99	53413902	5,803	5,459	15,305
37	56922693	8,198	4,114	18,240	100	56917396	8,756	3,023	28,780
38	53586913	7,914	4,922	16,291	101	56920093	6,983	2,212	27,993
39	56917495	7,140	4,380	23,980	102	53587036	10,051	3,981	20,328
40	53412771	7,196	6,318	11,031	103	53412763	9,088	4,874	17,300
41	53412854	7,317	3,347	7,142	104	53413571	7,043	7,018	32,145
42	56921091	5,697	2,433	9,125	105	53454591	9,922	4,804	19,483
43	56917297	7,030	6,264	22,422	106	53413456	6,079	6,466	21,373
44	53587374	7,173	3,00	6,940	107	53454518	7,272	3,288	25,092
45	53586756	5,882	4,407	12,088	108	53587853	3,845	6,586	27,037
46	56921190	7,420	2,030	5,760	109	53413373	9,987	4,996	19,611
47	53413639	7,489	6,685	11,009	110	56915390	5,768	6,683	35,865
48	56916497	7,030	6,076	14,926	111	56920697	6,210	3,376	26,941
49	53454831	5,030	2,710	13,880	112	53413506	9,207	5,031	20,174
50	56918592	6,980	3,700	20,567	113	53413167	6,654	7,112	19,924

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
51	56916992	5,826	2,593	10,672	114	56921596	9,813	1,212	18,652
52	56920390	7,298	2,468	15,841	115	53587101	8,279	5,334	16,876
53	53586905	7,623	4,322	14,367	116	53454534	7,041	3,570	26,869
54	53587382	8,136	3,342	11,105	117	56918998	7,043	3,946	23,333
55	53587937	8,319	5,551	13,779	118	53454757	10,153	4,452	25,287
56	53586889	7,502	6,012	14,282	119	53454666	9,773	2,344	23,401
57	53587861	7,344	5,035	10,364	120	56919392	10,126	1,507	22,455
58	56924293	12,182	1,685	24,260	121	53454658	9,950	3,802	27,699
59	53413084	10,657	7,829	22,128	122	53587572	10,057	4,277	15,996
60	56922594	12,087	2,606	17,881	123	53454815	9,194	3,108	25,577
61	56921299	11,023	2,153	25,936	124	56917594	6,674	4,820	26,640
62	56920796	11,615	2,508	24,909	125	53454948	9,906	2,463	25,174
63	53454906	11,617	2,628	28,705					

Таблица 2

Итоговые данные по трудоёмкостям работ

№ п/п	Номер вагона	Трудоёмкость работ, чел-мин		№ п/п	Номер вагона	Трудоёмкость работ, чел-мин	
		Суммарная*	Полная**			Суммарная*	Полная**
1	2	3	4	5	6	7	8
1	56920499	1 364,28	1 790,88	64	56923592	2 274,66	2 701,26
2	53454484	1 576,68	2 003,28	<b>65</b>	53454765	3 415,50	<b>3 842,10</b>
3	56921695	1 474,80	1 901,40	66	56923899	2 520,42	2 947,02
4	56918097	1 148,58	1 575,18	67	53454690	2 259,18	2 685,78
5	56921497	1 509,18	1 935,78	68	56919996	2 253,36	2 679,96
6	56923295	1 063,62	1 490,22	69	53412953	2 150,28	2 576,88
7	53454575	1 221,48	1 648,08	70	53454492	2 507,76	2 934,36
8	53454872	2 128,56	2 555,16	71	56921398	2 014,68	2 441,28
9	53413803	1 864,68	2 291,28	72	56923097	2 454,30	2 880,90
10	56923394	1 342,80	1 769,40	73	53587317	1 146,84	1 573,44
11	53587408	1 182,48	1 609,08	74	53454898	2 330,34	2 756,94
12	53454625	2 257,20	2 683,80	75	53421805	1 655,58	2 082,18
13	53587424	1 151,40	1 578,00	76	56923691	2 243,34	2 669,94
14	53454567	1 866,48	2 293,08	77	56915895	2 440,62	2 867,22
15	53454732	1 909,68	2 336,28	78	56919798	2 293,56	2 720,16
16	53454526	1 718,76	2 145,36	79	56925191	2 285,22	2 711,82
17	53454617	1 562,88	1 989,48	80	53587168	1 820,82	2 247,42
18	53454914	2 120,28	2 546,88	81	53454724	2 796,24	3 222,84
19	53413688	1 601,76	2 028,36	82	53454609	2 662,86	3 089,46
20	53454641	1 697,88	2 124,48	83	56917891	2 078,94	2 505,54
21	53587903	2 661,96	3 088,56	84	56921794	2 551,80	2 978,40
22	53587341	1 758,12	2 184,72	85	56919491	2 356,20	2 782,80
23	53454963	2 547,96	2 974,56	86	53413746	2 959,38	3 385,98
24	56920291	2 119,20	2 545,80	87	56920192	2 301,18	2 727,78
25	56924996	3 259,20	3 685,80	88	56917990	2 397,30	2 823,90
26	53587150	3 128,94	3 555,54	89	56917792	2 369,64	2 796,24
27	56916091	2 411,40	2 838,00	90	56917693	2 647,98	3 074,58
28	53454922	2 782,80	3 209,40	91	56922792	2 481,30	2 907,90
29	56922990	1 673,40	2 100,00	92	56920994	2 273,10	2 699,70
30	56924699	1 693,86	2 120,46	93	56923493	2 077,86	2 504,46
31	56918394	1 948,50	2 375,10	94	53413308	1 443,00	1 869,60
32	56924392	1 314,12	1 740,72	95	53587267	2 502,60	2 929,20
33	56924897	2 544,00	2 970,60	96	56924194	2 174,40	2 601,00
34	56919897	1 155,84	1 582,44	97	56919590	2 724,60	3 151,20
35	53454971	1 541,46	1 968,06	98	53454674	2 605,32	3 031,92
36	53454864	1 620,78	2 047,38	99	53413902	1 594,02	2 020,62
37	56922693	1 833,12	2 259,72	100	56917396	2 433,54	2 860,14

1	2	3	4	5	6	7	8
39	56917495	2 130,00	2 556,60	102	53587036	2 061,60	2 488,20
40	53412771	1 472,70	1 899,30	103	53412763	1 875,72	2 302,32
41	53412854	1 068,36	1 494,96	104	53413571	2 772,36	3 198,96
42	56921091	1 035,30	1 461,90	105	53454591	2 052,54	2 479,14
43	56917297	2 142,96	2 569,56	106	53413456	2 035,08	2 461,68
44	53587374	1 026,78	1 453,38	107	53454518	2 139,12	2 565,72
45	53586756	1 342,62	1 769,22	108	53587853	2 248,08	2 674,68
46	56921190	912,60	<b>1 339,20</b>	109	53413373	2 075,64	2 502,24
47	53413639	1 510,98	1 937,58	110	56915390	2 898,96	3 325,56
48	56916497	1 681,92	2 108,52	111	56920697	2 191,62	2 618,22
49	53454831	1 297,20	1 723,80	112	53413506	2 064,72	2 491,32
50	56918592	1 874,82	2 301,42	113	53413167	2 021,40	2 448,00
51	56916992	1 145,46	1 572,06	114	56921596	1 780,62	2 207,22
52	56920390	1 536,42	1 963,02	115	53587101	1 829,34	2 255,94
53	53586905	1 578,72	2 005,32	116	53454534	2 248,80	2 675,40
54	53587382	1 354,98	1 781,58	117	56918998	2 059,32	2 485,92
55	53587937	1 658,94	2 085,54	118	53454757	2 393,52	2 820,12
56	53586889	1 667,76	2 094,36	119	53454666	2 131,08	2 557,68
57	53587861	1 364,58	1 791,18	120	56919392	2 045,28	2 471,88
58	56924293	2 287,62	2 714,22	121	53454658	2 487,06	2 913,66
59	53413084	2 436,84	2 863,44	122	53587572	1 819,80	2 246,40
60	56922594	1 954,44	2 381,04	123	53454815	2 272,74	2 699,34
61	56921299	2 346,72	2 773,32	124	56917594	2 288,04	2 714,64
62	56920796	2 341,92	2 768,52	125	53454948	2 252,58	2 679,18
63	53454906	2 577,00	3 003,60				

Примечания: \* – суммарная трудоёмкость слесарных, газорезательных и электросварочных работ.

\*\* – здесь дополнительно учтены слесарные работы по ремонту автосцепного оборудования (139,20 чел-мин) и тормозного оборудования (287,4 чел-мин); трудоёмкости этих видов работ являются нормированными и поэтому не исследовались.

Самой простой мерой оценивания является размах. Размах представляет собой разность между наибольшим и наименьшим значениями реализации признака в выборке. Размах варьирования определяется следующим образом

$$R = x_{\max} - x_{\min} . \quad (1)$$

Как видно из табл. 2, наибольшее значение имеет результат 46 ( $x_{\max} = 1339,20$ ), а наименьшее значение имеет результат 65 ( $x_{\min} = 3842,10$ ). После подстановки исходных данных в формулу (1) получим

$$R = 3842,10 - 1339,20 = 2502,9 .$$

Ориентировочное количество интервалов определим согласно правилу Штургеса [6]:

$$k = 1 + 3,32 \lg n = 1 + 3,32 \lg 125 = 7,96$$

Количество интервалов примем равным 7.

Определим ориентировочно длину одного интервала по формуле

$$d = R / k . \quad (2)$$

После подстановки данных в формулу (2) получим:

$$d = 2502,9 / 7 = 357,56 .$$

Пусть имеется целый ряд реализаций  $x_1, x_2, \dots, x_n$  случайной величины  $X$ . Среднее значение наблюдаемого признака определим по следующей формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i m_i, i = \overline{1, n} . \quad (3)$$

Следующим важным показателем является выборочное среднее квадратическое отклонение (эмпирический стандарт), который определяется по формуле:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} . \quad (4)$$

Далее определяется выборочное значение коэффициента вариации:

$$v = \frac{\bar{s}}{\bar{x}} 100\% . \quad (5)$$

Коэффициент вариации представляет собой меру относительной изменчивости наблюдаемой случайной величины. После подстановки данных из табл. 3 получим  $v = 21,2\%$ .

Как правило, если  $v < 33\%$ , то случайная величина относится к нормальному распределению.



Далее определим моменты третьего и четвёртого порядка по следующим формулам:

$$\mu_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \quad (6)$$

и

$$\mu_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4. \quad (7)$$

По такой же методике были определены характеристики эмпирических распределений случайных величин трудоёмкостей по остальным видам работ.

Основные результаты вычислений представлены в табл. 3.

Для лучшей наглядности представим случайные величины трудоёмкостей ремонтных работ в виде гистограмм (рис. 1).

Таблица 3

Основные результаты вычислений

Наименование параметра	Трудоёмкость ремонтных работ в вагоноборочном участке, чел-мин				
	Слесарные	Газорезательные	Электросварочные	Суммарная*	Полная**
Среднее, $\bar{x}$	538,59	266,59	1203,03	2008,22	2434,82
Стандарт, $\bar{s}$	146,87	138,22	428,25	516,52	516,52
Коэффициент вариации, $v$	0,27	0,52	0,356	0,257	0,212
Минимальное значение, $x_{\min}$	204,60	21,18	345,60	912,60	1339,20
Максимальное значение, $x_{\max}$	839,28	730,14	2203,20	3415,50	3842,10
Размах, $R$	634,68	708,96	1857,60	2502,90	2502,90
Медиана, $x_{\text{med}}$	535,74	259,32	122,12	2075,64	2502,24
Мода, $x_{\text{mod}}$	586,38	327,66	множеств.	множеств.	множеств.
Асимметрия, $\beta_1$	0,059	0,89	-0,024	-0,007	-0,007
Экссесс, $\beta_2$	-0,98	1,09	-0,809	-0,337	-0,337

\*, \*\* – см. Примечания к табл. 2.

Для проверки нормальности распределения воспользуемся методикой среднего абсолютно-го отклонения САО [3].

САО вычисляется по формуле

$$CAO = \sum |x_i - \bar{x}| / n.$$

После подстановки данных получим

$$CAO = 52853, 54/125 = 422,828.$$

Для выборки, которая имеет приближённо нормальный закон распределения, должно быть справедливо выражение

$$|CAO/\bar{s} - 0,7979| < 0,4/\sqrt{n}.$$

После подстановки данных получим:

$$|422,828/516,52 - 0,7979| < 0,4/\sqrt{125};$$

$$0,020709 < 0,035777.$$

Таким образом, гипотеза нормальности распределения выборки принимается.

В качестве следующего критерия проверки гипотезы нормального распределения воспользуемся методом размаха варьирования из работы [6]. Определим отношение  $R/\bar{s}$  и сопоставим его с критическими верхними нижними границами этого отношения, приведенными в табл. П8 [7].

Если  $R/\bar{s}$  больше верхней границы или меньше нижней, то гипотеза о нормальном распределении отпадает. Очень важно, чтобы это условие соблюдалось при  $p = 0,10$  (10 %-ный уровень значимости). В нашем случае  $R/\bar{s} = 2502,90/516,524 = 4,845$ . При  $n = 125$  и  $p = 0,10$  нижняя и верхняя границы в указанной таблице соответствуют 4,58 и 5,82, т.е.  $4,58 < 4,845 < 5,82$ . Таким образом, гипотеза о нормальном распределении снова подтверждается.

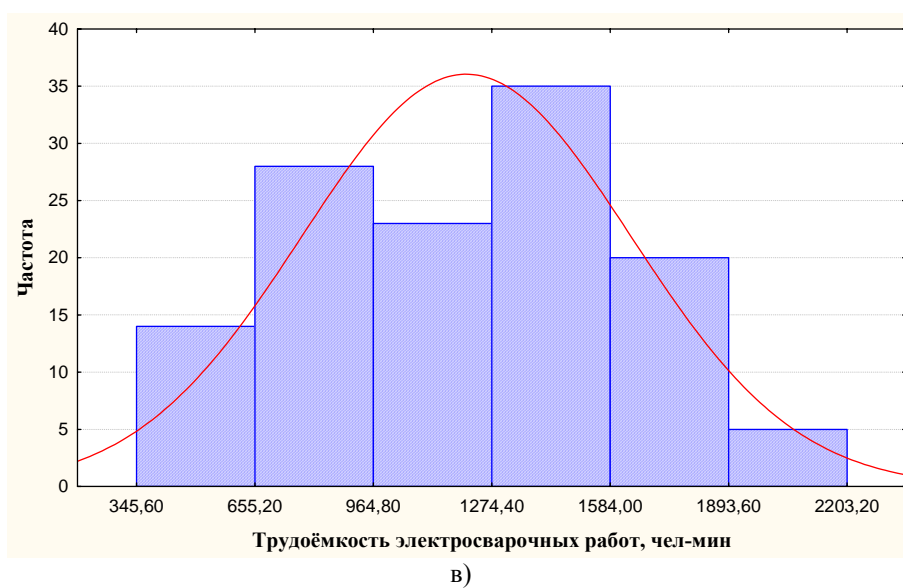
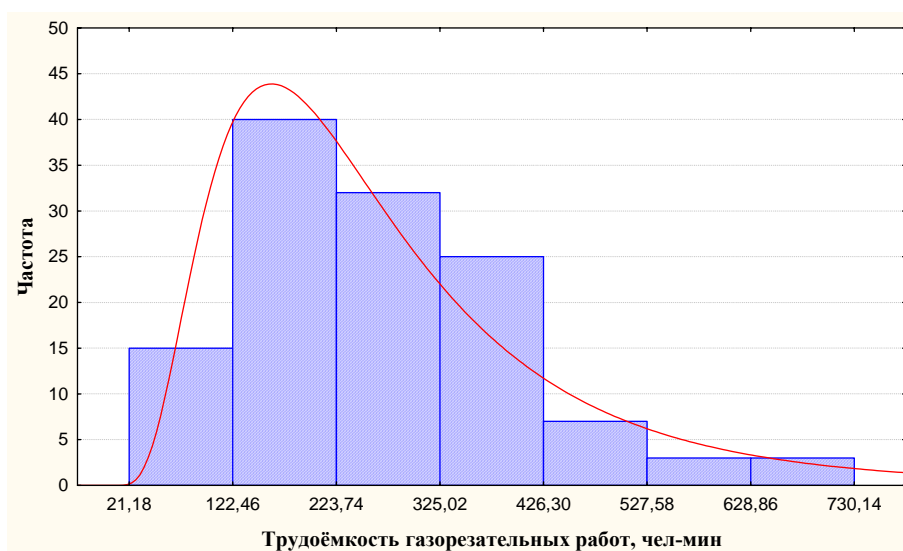
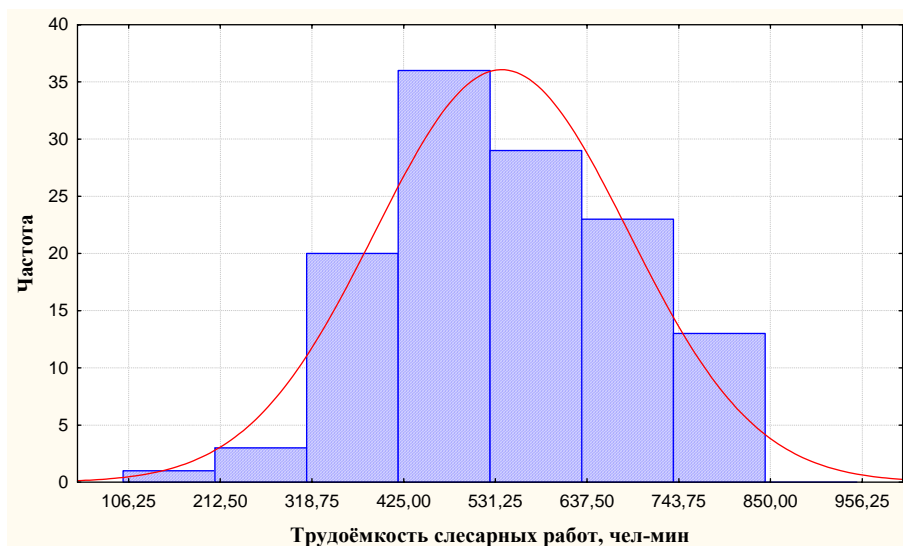
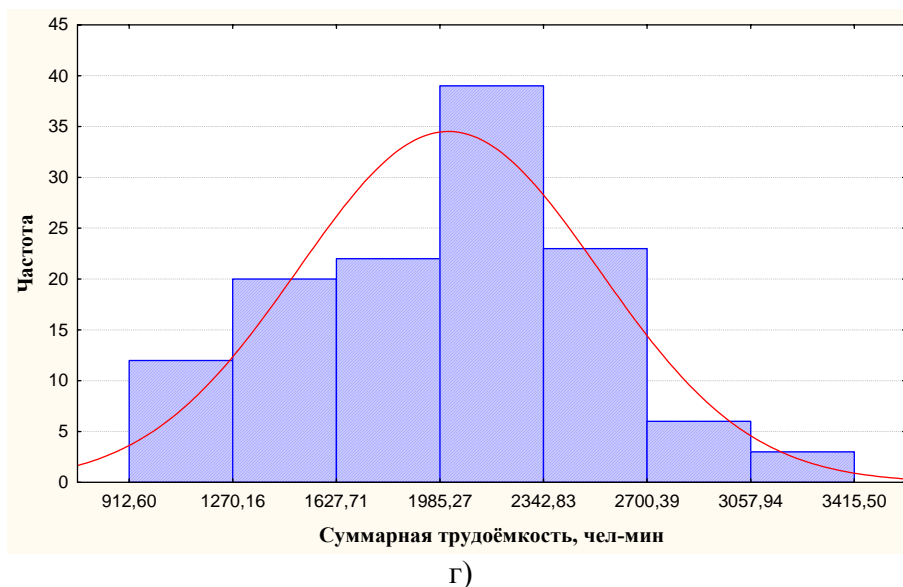
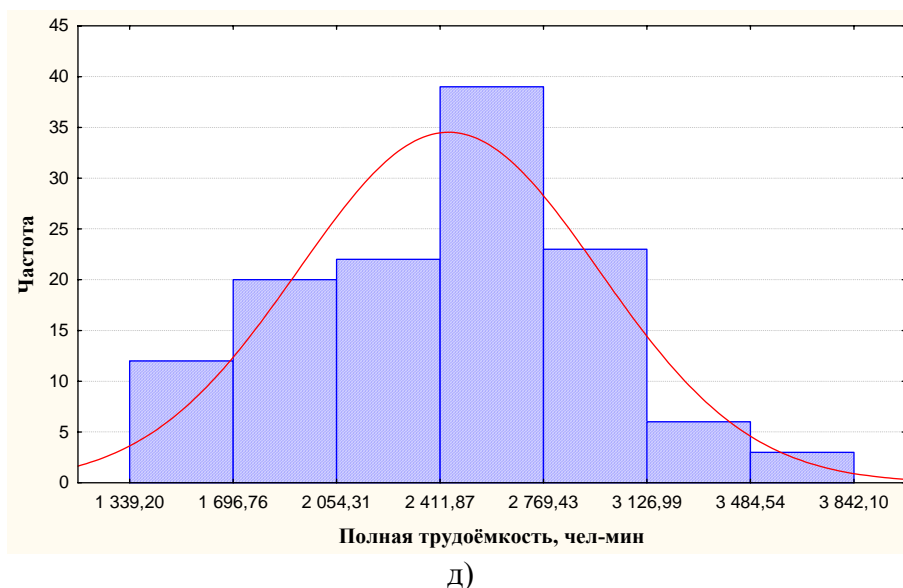


Рис. 1. Гистограммы и плотности распределения трудоёмкостей ремонтных работ на полувагонах: а) слесарные; б) газорезательные; в) электросварочные;



г)



д)

Рис. 1 (продолжение). Гистограммы и плотности распределения трудоёмкостей ремонтных работ на полувагонах: г) общая (с + г + э) ; д) полная

Кроме того, ещё осуществлялась подгонка законов распределения к выборочным данным с помощью программы STATISTICA. Подгонка позволяет оценить степень согласия эмпирических данных с некоторым гипотетическим распределением. Проверка соответствия осуществлялась по критерию  $\chi^2$  («Хи-квадрат»), которому соответствует определённый уровень значимости ( $p$ -уровень). Количество интервалов определялось программой автоматически. Результаты представлены в табл. 4. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что законы распределения трудоёмкостей различных работ, выполняемых при деповском ремонте полувагонов, намного сложнее, чем теоретические законы распределения.

Как правило, более высокий уровень значимости ( $p$ -уровень) соответствует более низкому уровню доверия найденным в выборке результатам. Например,  $p$ -уровень = 0,299 свидетельствует о том, что существует 29,9 % вероятности того, что полученные в выборке зависимости между переменными являются всего лишь случайной особенностью данной выборки, т.е. в 30 случаях из 100 будет ошибка – неправильно выбранная гипотеза.

В настоящее время не существует единых правил, которые могли бы однозначно указать границу годную для всех встречающихся на практике случаев.

Здесь могут иметь место четыре варианта:

1. Гипотеза верна и принимается согласно критерию;

Виды распределения и уровни значимости

Наименование трудоёмкости работ	Закон распределения	Критерий, $\chi^2$	Количество степеней свободы	Уровень значимости, $p$
Слесарные	Нормальный	3,66659	3	0,29979
Газорезательные	Логарифмически-нормальный	11,59246	7	0,11478
Электросварочные	Нормальный	10,94212	5	0,05254
Суммарная	Нормальный	9,88553	7	0,19515
Полная	Нормальный	8,72243	7	0,27320

2. Гипотеза неверна и не принимается согласно;

3. Гипотеза верна, но не принимается согласно критерию (ошибка первого рода);

4. Гипотеза неверна, но принимается согласно критерию (ошибка второго рода).

Принятие правильного решения во многом зависит от интуиции и умения экспериментатора.

Таким образом, фактические трудоёмкости слесарных и электросварочных работ наиболее близки к нормальному закону распределения, а газорезательные – к логарифмически-нормальному, но непосредственно таковыми не являются. Фактические трудоёмкости ремонта носят более сложный характер. Собственно, при организации ремонта вагонов, важно даже не то, какому именно закону распределения подчиняются трудоёмкости ремонтных работ, а важно то, что они имеют большой разброс, который существенно влияет на время выполнения работ, что сказывается на производительности «классического» ремонтного потока. При моделировании трудоёмкости ремонта вагонов лучше всего пользоваться не теоретическими законами распределений, а фактическими эмпирическими данными.

Выполненные исследования наглядно демонстрируют, что трудоёмкости ремонта вагонов являются случайными величинами, имеющей довольно широкий разброс. Исходя из данных табл. 3 можно сделать вывод, что трудоёмкости газорезательных работ на вагонах могут отличаться друг от друга в 34,5 раза, трудоёмкости электросварочных работ – в 6,4 раза, трудоёмкости слесарных работ – в 4,1 раза. Для суммарной и полной трудоёмкостей происходит некоторое выравнивание величин. Тем не менее, и здесь разбросы остаются существенными. Для суммарной трудоёмкости ремонта вагонов разброс составляет 3,74 раза, а для полной – 2,86 раз.

Таким образом, постановка в ремонт на обычный «жёсткий» поток вагонов, имеющих

такой большой диапазон величин трудоёмкостей, будет постоянно вызывать срыв такта поточной линии. Поэтому однозначно можно констатировать, что «жёсткая» структура потока, принятая в своё время во всех вагонных депо, перешедших на поточный метод ремонта вагонов, является далеко не идеальным решением организации вагоноремонтного процесса.

Такой большой разброс трудоёмкостей ремонтных работ свидетельствует о том, что индустриальные методы ремонта вагонов, в частности, ремонт вагонов на поточных линиях, требует особого подхода к своей организации. «Жёсткие» потоки не смогут ритмично и эффективно функционировать в связи с невозможностью полной синхронизации времени выполнения работ на разных позициях. К тому же это подтверждают и результаты уже внедрённых в производство поточных линий. Постоянный сбой такта приводит к тому, что предприятия возвращаются либо к стационарному методу ремонта, либо переходят к «полужёсткому» потоку. Многие предприятия для выравнивания трудоёмкостей ремонтных работ для вагонов с повышенными объёмами организуют так называемые «урavnительные позиции», на которых вагоны при помощи стационарного метода ремонта пытаются «подогнать» под «норму». При использовании же гибких асинхронных потоков этого делать не надо. Вагон вне зависимости от величины фактической трудоёмкости ремонта сразу же поступает в общий ремонтный поток.

Вероятностная природа вагоноремонтного производства требует специальных подходов к организации ремонта вагонов на потоке. И одним из возможных решений, нивелирующих этот фактор, может стать использование гибких асинхронных потоков [9–11].

При моделировании движения вагонов между позициями необходимо использовать математические модели продолжительности выполнения работ на отдельных позициях. В качестве базы для математических моделей могут ис-

пользоваться полученными статистическими данными, которые будут случайным образом имитироваться при помощи ЭВМ.

Таким образом, учитывая большой разброс трудоёмкостей ремонта полувагонов, для более эффективного использования в производственном процессе рабочих и технологического оборудования, необходим гибкий асинхронный поток, обеспечивающий с одной стороны мультифазность обслуживания, а с другой – позволяющий каждому вагону находиться в ремонте ровно столько времени, сколько потребуется для его восстановления.

Дальнейшие исследования по совершенствованию организации ремонта вагонов должны вестись в области изучения времени выполнения ремонтных работ на отдельных позициях с целью создания перспективных вагоноремонтных предприятий с оптимальными параметрами и структурой гибкого потока.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бугаев, В. П. Совершенствование организации ремонта вагонов (системный подход) [Текст] / В. П. Бугаев. – М.: Транспорт, 1982. – 152 с.
2. Скиба, И. Ф. Комплексно-механизированные поточные линии в вагоноремонтном производстве [Текст] / И. Ф. Скиба, В. А. Ёжиков. – М.: Транспорт, 1982. – 136 с.
3. Типові норми часу на слюсарні роботи при деповському ремонті вантажних вагонів [Текст] / № 581-ЦЗ, затв. 03.12.2003. – К., 2004. – 157 с.
4. Боровиков, В. П. Популярное введение в программу STATISTICA [Текст] / В. П. Боровиков. – М.: КомпьютерПресс, 1998. – 267 с.
5. Боровиков, В. П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов [Текст] / В. П. Боровиков. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
6. Закс, Л. Статистическое оценивание [Текст] / Л. Закс. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
7. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул [Текст] / Е. Н. Львовский. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.
8. Румшинский, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента [Текст] / Л. З. Румшинский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
9. Мямлин, В. В. Совершенствование поточного метода ремонта вагонов за счёт гибкости транспортной системы между технологическими модулями [Текст] / В. В. Мямлин // Заліз. трансп. України. – 2008. – № 4. – С. 15–17.
10. Мямлин, В. В. Анализ основных параметров асинхронного гибкого потока ремонта вагонов и методы их расчёта [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 28–33.
11. Мямлин, В. В. Компонентные решения организационно-технологических структур перспективных вагоноремонтных депо с асинхронными гибкими потоками ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 31. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 55–62.

Поступила в редколлегию 14.11.2011.

Принята к печати 23.11.2011.

В. В. МЯМЛИН

## АНАЛІЗ ТРУДОМІСТКОСТЕЙ ОКРЕМИХ ВИДІВ РОБІТ ПРИ ДЕПОВСЬКОМУ РЕМОНТІ ПІВВАГОНІВ

Досліджено трудомісткості окремих видів робіт при деповському ремонті піввагонів. Показано, що трудомісткості є випадковими величинами, які мають дуже широкий розмах. Ця особливість вагоноремонтного виробництва повинна обов'язково враховуватися при організації ремонту вагонів на потоці.

*Ключові слова:* ремонт вагонів, трудомісткість, обробка статистичних даних, поточний метод

V. V. MYAMLIN

## LABOUR INTENSITY ANALYSIS OF CERTAIN WORKS DURING REPAIR OF OPEN CARS IN DEPOT

Labor-intensity of various types of works during repair of open cars in depot is investigated. It is shown that the repair labor-intensity of are random variables, which have a wide spread. This factor of car repair production must be taken into account during organization of cars stream repair.

*Keywords:* repair of cars, labor intensity, processing of statistical data, stream method

## СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ПОДВЕШИВАНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗА ТИПА ДСЗ

В работе представлен анализ системы подвешивания электровоза типа ДСЗ на основе структурных схем.

*Ключевые слова:* структурные схемы, структурный анализ, электровоз типа ДСЗ, лишние связи

Начиная с 1994 года отечественные производители подвижного состава по заказам Укрзалізничники разработали и поставили на производство целый ряд новых грузовых и пассажирских вагонов, локомотивов, электропоездов и дизель-поездов [1]. Среди них – грузопассажирский электровоз переменного тока типа ДСЗ с асинхронным приводом. Опытный образец электровоза был представлен для проведения приемочных испытаний в 2003 году. Отраслевая научно-исследовательская лаборатория динамики и прочности подвижного состава ДИИТа (ОНИЛ ДППС) провела ходовые прочностные испытания электровоза ДСЗ-001 [2].

Электровоз имеет две двухосные тележки. Подвешивание кузова – люлечное, восьмиточечное (в тележке – четырехточечное) с параллельно расположенными гидроамортизаторами, работающими в вертикальном и горизонтальном направлениях. Кузов через люлечные подвески подвешен к промежуточным балкам, которые соединены с жесткой рамой тележки в горизонтальном поперечном направлении при помощи ширнорно-стержневых связей с упруго-диссипативными элементами одностороннего действия, работающими только на сжатие. Между рамой тележки и промежуточными балками размещены пружины, которые воспринимают вертикальную нагрузку.

Поскольку электровоз представляет собой систему твердых тел, то его можно отнести к таким понятиям как механизм. Вообще говоря, строением механизма определяются такие его важнейшие характеристики, как виды осуществляемых движений, способы их преобразования, число степеней свободы. Формирование механизма сопровождается наложением связей, а правильное их распределение в строении механизма в значительной степени предопределяет надежность его эксплуатации. Поэтому требования к механизму – выполнять заданные функции и сохранять заданные параметры в установленных пределах в течение всего периода эксплуатации – выдвигают задачу о проектировании механизмов оптимальной структуры [3].

В 1951 году профессор Л. Н. Решетов пришел к выводу, что за немногими исключениями следует применять только механизмы без избыточных связей. Исключения были вызваны тем, что не были найдены нужные структурные схемы. В настоящее время для большинства «исключений» такие схемы найдены. Принцип статической определенности позволяет научно обосновать, какие и где надо применять кинематические пары в механизме. А чтобы создать механизмы без избыточных связей необходимо разработать их структурные схемы [4, 5].

В данной работе рассмотрены соединения элементов электровоза типа ДСЗ с точки зрения структурного анализа системы его подвешивания на предмет наличия лишних связей. Такие механизмы позволяют уменьшить допуски на изготовление, уменьшить трудоемкость, удешевить производство и повысить надежность машин [4]. В отдельных случаях упрощается конструкция и увеличивается прочность конструкции.

В связи с наличием линейных и угловых смещений в соединениях электровоза, неточностей изготовления звеньев структурной схемы нарушаются условия плоского движения механизма. Поэтому следует рассматривать систему (с точки зрения статики и динамики) как пространственную, поскольку она индифферентна к деформациям деталей и рессорного подвешивания. Как пространственный механизм соединения элементов электровоза не должны испытывать стеснений в движении, то есть при структурном синтезе вид кинематических пар необходимо подбирать так, чтобы детали соединения могли приспосабливаться к изменениям положения опорных точек звеньев при изменении их взаимного расположения. Это возможно в случае создания статически определенного механизма, то есть создания (по возможности) соединений без лишних связей.

Число лишних связей  $q$  определим по формуле А.П. Малышева [4] (для пространственной схемы):

$$q = W - 6n + 5p_1 + 4p_2 + 3p_3 + 2p_4 + p_5, \quad (1)$$

где  $W$  – число степеней подвижности системы;  $n$  – число подвижных звеньев;  $p_1, \dots, p_5$  – род кинематических пар.

В соединениях электровоза конструкторы предусмотрели шарнирные подшипники, которые имеют три угловых перемещения.

В работе [6] был проведен структурный анализ связей тележки электровоза с кузовом, который показал правильность подбора связей между рамами тележек и кузова, что создает надежность работы системы в целом.

В данной работе произведен более общий анализ системы от колес электровоза до рамы кузова (рис. 1).

Примем прямоугольную систему координат, представленную на рис. 1. Такой выбор системы координат дает возможность рассматривать только одну параллельно расположенную сторону подвески. Это сделано для того, чтобы не загромождать рисунок. На рис. 1 в верхней части показаны связи левой стороны соединения рамы тележки электровоза с рамой кузова, а в нижней части от оси  $x$  расположены связи между колесными парами и рамой тележки. В скобках в обеих частях рис. 1 рядом с цифрой подвижного звена приведена цифра параллельно расположенной стороны подвижных звеньев.

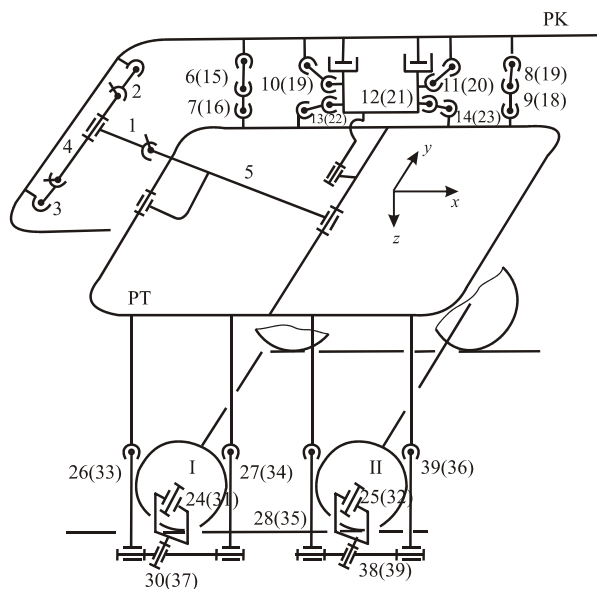


Рис. 1. Механическая система соединений электровоза типа ДСЗ

Кинематические соединения между рельсами и колесной парой могут быть двоякими:

- если колесная пара не прижата гребнем к рельсу, то кинематическая связь будет пятого рода – наложено одно линейное условие связи по оси  $z$ ;
- если колесная пара прижата гребнем к рельсу, то будет соединение четвертого рода – наложено одно линейное условие по оси  $z$  и одно линейное условие по оси  $y$ .

Система должна обладать следующими подвижностями: игра рессор (линейные перемещения рамы кузова по оси  $z$ , угловые перемещения вокруг оси  $x$  и  $y$ ); вращение рамы кузова относительно люлечного подвешивания; угловые перемещения промежуточных балок вокруг оси  $x$  и  $y$  и их линейные перемещения по оси  $y$  и  $z$ . Всего система имеет  $11+10=21$  подвижность, то есть  $W=21$ . Число звеньев в системе  $n=PT+PK+I+II+39=43$ .

Запишем кинематические пары рассматриваемого механизма:

- $p_1$ :  $1-4, 5-PT, 5'-PT, 12-PT, 21-PT, 26-30, 33-37, I-24, I-33, 24-30, 31-37, 27-30, 34-37, 28-38, 35-39, II-25, II-32, 25-38, 32-39, 29-38, 36-39$ ;
- $p_2$ :  $6-7, 8-9, 15-16, 17-18, 3-4, 2-4, 1-5$ ;
- $p_3$ :  $PK-2, PK-3, PK-6, PK-15, PK-10, PK-19, PK-11, PK-20, PK-8, PK-17, 12-10, 21-19, 12-13, 21-22, 12-11, 21-20, 12-14, 21-23, PT-7, PT-16, PT-13, PT-22, PT-14, PT-23, PT-9, PT-18, PT-26, PT-33, PT-27, PT-34, PT-28, PT-35, PT-29, PT-36$ ;
- $p_4$ :  $PK-12, PK-12', PK-21, PK-21'$ .

Следовательно,  $p_1 = 21$ ,  $p_2 = 7$ ,  $p_3 = 34$ ,  $p_4 = 4$ . Подставив все значения в формулу (1), подсчитаем число лишних связей  $q$ :

$$q = 21 - 6 \cdot 43 + 5 \cdot 21 + 4 \cdot 7 + 3 \cdot 34 + 2 \cdot 4 = 6.$$

В работе [6], где рассмотрены связи между рамой кузова и рамой тележки, сделаны выводы, что связи между ними выбраны правильно, т.е. лишних связей нет. Вернемся к определению кинематических пар. Букса на шейке оси колесной пары смонтирована из двух цилиндрических роликовых однорядных подшипников, что четко представляет собой вращательную кинематическую пару. Следовательно, кинематические пары  $I-24$ ,  $I-31$ ,  $II-31$ ,  $II-32$  необходимо отнести к  $p_1$ . Кинематические пары  $26-30$ ,  $33-37$ ,  $27-30$ ,  $34-37$ ,  $24-30$ ,  $31-37$ , как и  $28-38$ ,  $33-39$ ,  $36-38$ ,  $36-39$ ,  $25-38$ ,  $32-39$ , являются вращательными кинематическими парами.

Относительно кинематических пар люечевого подвешивания с участием пружин:  $PT-26$ ,  $PT-33$ ,  $PT-27$ ,  $PT-34$ ,  $PT-28$ ,  $PT-35$ ,  $PT-29$ ,  $PT-38$  можно рассматривать одновременно и как  $p_3$ , и как  $p_4$ , у них положено только две связи.

Тогда количество кинематических пар соответствующего рода составляет  $p_1 = 21$ ,  $p_2 = 7$ ,  $p_3 = 26$ ,  $p_4 = 12$ , а число лишних связей в этом случае

$$q = 21 - 6 \cdot 43 + 5 \cdot 21 + 4 \cdot 7 + 3 \cdot 26 + 2 \cdot 12 = -2.$$

Электровоз – единица подвижного состава, детали которой имеют угловые и линейные перемещения, и при вписывании в кривые участки пути, при различных динамических нагруз-

ках, возможно заземление (выключение) соединений, то есть переход одной кинематической пары в другую, что выше было показано. Конструкторы же для исключения заземлений в кинематических парах (особенно вращательных) предусмотрели систему их смазки.

В конечном счете, необходимо отметить, что система подвешивания электровоза типа ДСЗ спроектирована без лишних связей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сергиенко, Н. И. Решение проблем подвижного состава железных дорог Украины через взаимодействие государственного и частного секторов экономики [Текст] / Н. И. Сергиенко // Локомотив-информ. – 2010. – № 6. – С. 40–46.
2. Динамика и прочность электровоза типа ДСЗ [Текст] / Е. П. Блохин [и др.] // Вестник ВЭЛНИИ. – 2004. – № 2. – С. 170–182.
3. Теория механизмов и машин [Текст] : учеб. для втузов / К. В. Фролов [и др.]; под ред. К. В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1987. – 496 с.
4. Решетов, Л. Н. Самоустанавливающиеся механизмы [Текст] : справочник / Л. Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1979. – 272 с.
5. Кожевников, С. Н. Основания структурного синтеза механизмов [Текст] / С. Н. Кожевников. – К.: Наук. думка, 1979. – 189 с.
6. Панасенко, В. Я. К вопросу структурного анализа тележки локомотива [Текст] / В. Я. Панасенко, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая // Придніпровський наук. вісник. Машинобудування та техн. науки. – Д.: Наука і освіта, 1997. – № 35 (46). – С. 25–26.

Поступила в редколлегию 16.11.2011.

Принята к печати 18.11.2011.

В. Я. ПАНАСЕНКО, І. В. КЛИМЕНКО

## СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ПІДВІШУВАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗА ТИПУ ДСЗ

У роботі подається аналіз системи підвішування електровоза типу ДСЗ за допомогою структурних схем.  
*Ключові слова:* структурні схеми, структурний аналіз, електровоз типу ДСЗ, зайві зв'язки

V. Ya. PANASENKO, I. V. KLIMENKO

## THE STRUCTURED ANALYSIS OF THE SYSTEM OF THE JOINING ELECTRIC LOCOMOTIVE OF THE TYPE DS3.

Analysis of the suspension system of the electric locomotive of type DS3 by means of block diagrams is presented in the paper.

*Keywords:* block diagrams, structural analysis, electric locomotive of type DS3, extra links



## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ РЕЙКОЗВАРЮВАЛЬНОЇ КОЛІЙНОЇ МАШИНИ КРС-1

У статті наведено результати аналітичного і експериментального досліджень напружено-деформованого стану (НДС) несучої конструкції рейкозварювальної колійної машини КРС-1. Аналітичне дослідження виконано з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). Результати аналітичного дослідження використані при проведенні ходових динамічних випробувань на міцність. Проведено порівняння результатів експериментального і аналітичного досліджень. На основі аналізу отриманих розрахункових та експериментальних даних виконано оцінку міцності конструкції рейкозварювальної колійної машини КРС-1.

*Ключові слова:* колійна машин КРС-1, дослідження напружено-деформованого стану, втомлювальна міцність, МСЕ, випробування

Рейкозварювальна колійна машина КРС-1 призначена для зварювання рейок при ремонті безстикової колії, а також одиничних рейок у безстикові пліті на станційних коліях. Машина зварює рейки у колії, якою рухається, а також рейки, укладені всередині колії та зовні від ходової рейки [1]. Загальний вид планувальника машини КРС-1 виробництва ВАТ «Каховський завод електрозварювального обладнання» зображено на рис. 1.



Рис. 1. Рейкозварювальна колійна машина КРС-1

Для проведення експериментальних досліджень зразок машини КРС-1 був відібраний у відповідності з вимогами нормативних документів з оформленням акта.

Оцінка міцності виконувалася для транспортного режиму експлуатації.

Транспортний режим – це такий режим експлуатації, при якому машина може включатися до складу потягу, який рухається зі швидкістю до 90 км/год, або рухатися самоходом, як окрема транспортна одиниця зі швидкістю до 90 км/год.

Рама машини КРС-1 (рис. 2) складається з двох основних поздовжніх балок 1 (рис. 3), двох шкворневих балок 2, восьми поперечних

балок 3, двох буферних брусів з коробками для поглинальних апаратів 4, поперечних балок (двотавр № 36М ГОСТ 19425-74\* і швелер № 14П ГОСТ 8240-97) 5. Також до моделі додано обв'язувальний пояс з швелера № 14П ГОСТ 8240-97.

Основний поздовжній несучий елемент конструкції рами має складний поперечний переріз (рис. 3), який складається з двотавра 1 № 36М ГОСТ 19425-74\*, швеллера 2 № 14П ГОСТ 8240-97, закритого накладкою 3, а також накладки 4.

Аналітичне дослідження напружено-деформованого стану (НДС) несучої конструкції колійної машини КРС-1 виконувалося за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ). Розрахунок несучої конструкції за МСЕ мав за мету:

1) перевірити відповідність конструкції умовам міцності;

2) визначити місця встановлення тензометричних датчиків для проведення ходових динамічних випробувань на міцність.

Окрім того, за результатами розрахунку несучої конструкції машини КРС-1 за МСЕ були визначені статичні напруження  $\sigma_{ст}$  з наступною оцінкою коефіцієнту запасу втомлювальної міцності  $n$ .

Для аналітичного дослідження НДС несучої конструкції машини КРС-1 було створено скінченно-елементу модель, представлена на рис. 2. В якості скінченних елементів було взято трьох- і чотирьохвузлові пластинки.

При виконанні аналітичного дослідження напружено-деформованого стану (НДС) несучої конструкції досліджуваної машини транс-

портний режим моделювався дією вертикального навантаження власної ваги несучої рами машини і стаціонарного обладнання, встановленого на неї у транспортному положенні з урахуванням коефіцієнта динаміки  $k$ . Навантаження від обладнання, маса якого перевищу-

вала 1 т, моделювалося зосередженими силами, діючими у місцях кріплення цього обладнання (рис. 4, 5). Навантаження від іншого обладнання враховувалися додаванням до власної ваги рами, шляхом перерахунку питомої ваги матеріалу рами.

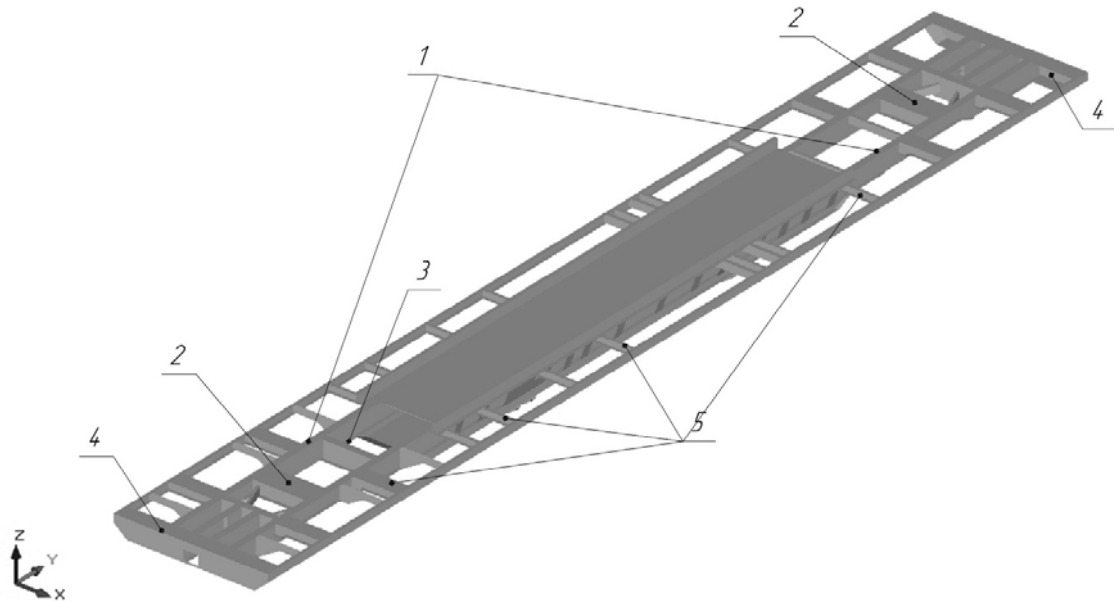


Рис. 2. Скінченно-елемента модель рами рейкозварювальної колійної машини КРС-1

Граничні умови задачі реалізовувалися за допомогою введення до місць спираючої рами вертикальних зв'язків скінченної жорсткості, причому сумарна жорсткість одного комплексу зв'язків скінченної жорсткості була взята рів-

ною жорсткості одного комплексу ресорного підвішування.

На рис. 6 і 7 відповідно показані поля розподілу за конструкцією рами головних  $\sigma_1$  і еквівалентних  $\sigma_{\text{екв}}$  напружень за енергетичною теорією міцності Губера-Мізеса-Генкі.

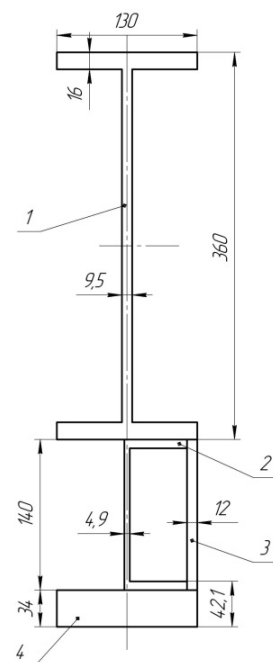


Рис. 3. Поперечний переріз основного повздовжнього елемента рами колійної машини КРС-1

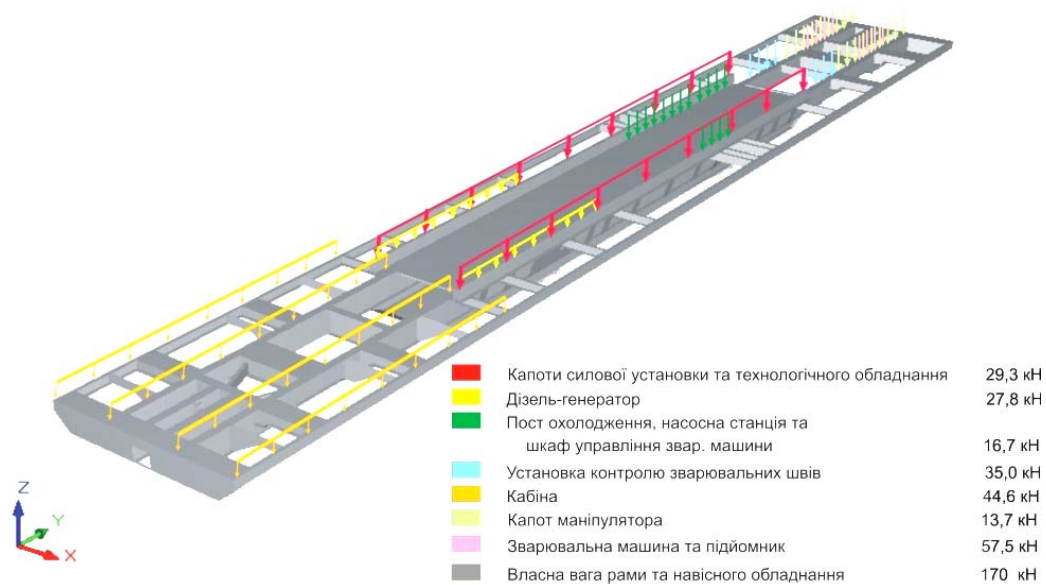


Рис. 4. Схема навантаження скінченно-елементної моделі у верхній площині несучої рами

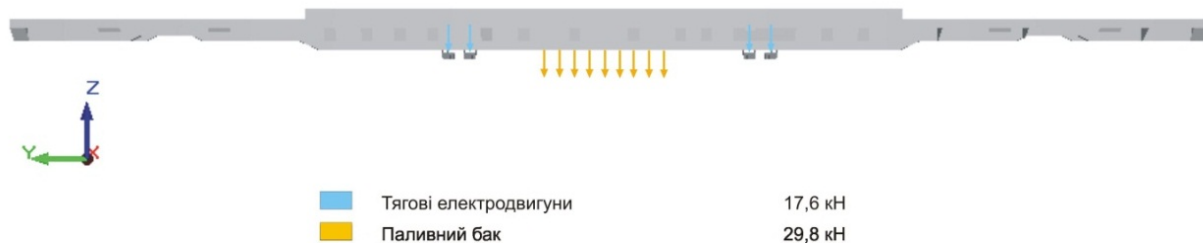


Рис. 5. Схема навантаження скінченно-елементної моделі у нижній площині несучої рами

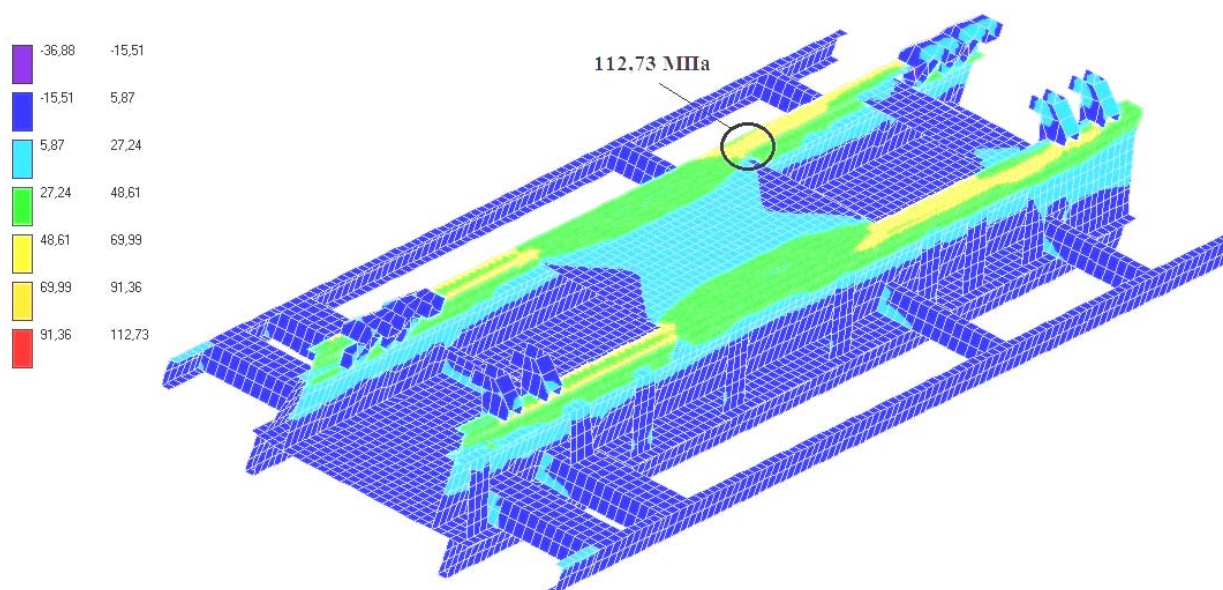


Рис. 6. Поля головних напружень  $\sigma_1$  у центральній частині несучої рами. Транспортний режим (МПа)

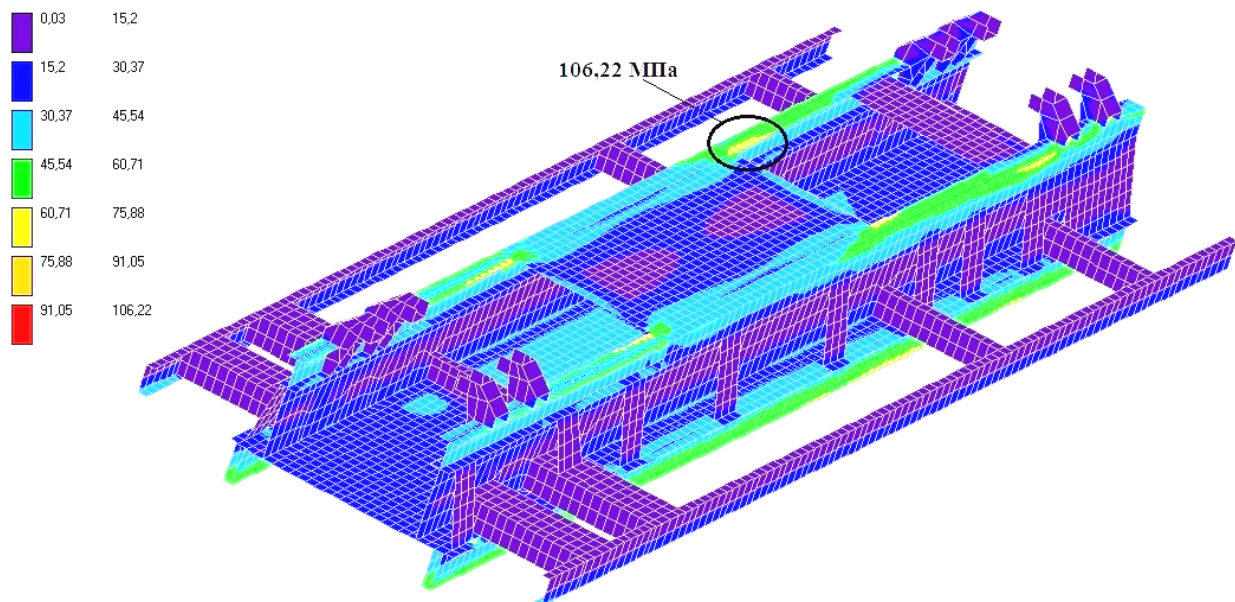


Рис. 7. Поля еквівалентних напружень  $\sigma_{\text{екв}}$  у центральній частині несучої рами. Транспортний режимі (МПа)

Дослідження НДС несучої конструкції колійної машини КРС-1 показало (рис. 6, 7), що її середня частина є найбільш навантаженою при дії статичного навантаження. Зона максимальних напружень розташована у накладці 4 (рис. 3) основного повздовжнього елемента несучої рами у районі підвішування паливного бака (точка Х6R на рис. 8). Значення еквівалентних напружень за енергетичною теорією міцності Губера-Мізеса-Генкі з урахуванням коефіцієнту динаміки, який складає  $k = 1,38$ , у зоні концентрації (точка Х6R) складають  $\sigma_{\text{дин}} = k\sigma_{\text{ст}} = 146 \text{ МПа}$ .

Таким чином, міцність несучої рами машини КРС-1 за допустимими напруженнями забезпечується, оскільки максимальні напруження у транспортному режимі, які становлять  $146 \text{ МПа}$ , не перевищують нормативне значення  $[\sigma] = 155 \text{ МПа}$  [2].

Галузевою науково-дослідною лабораторією динаміки та міцності рухомого складу (ГНДЛ ДМРС) Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна (ДНУЗТ) були проведені ходові динамічні випробування на міцність дослідного зразка машини КРС-1. Випробування проводилися на Одеській залізниці.

Метою випробувань були перевірка відповідності конструкції дослідного зразка машини КРС-1 та її міцнісних показників вимогам Технічного завдання, нормативних документів [2, 3], що визначають умови безпеки руху та експлуатації, а також визначення коефіцієнтів запасу втомлювальної міцності у найбільш навантажених місцях конструкції. Ходові динамі-

чні випробування на міцність були проведені згідно програми-методики, розробленої на підставі Технічного завдання і [3].

Ходові динамічні випробування на міцність колійної машини проводилися при русі дослідної машини на перегоні зі швидкостями до  $90 \text{ км/год}$  (транспортний режим).

На основі проведеного аналітичного дослідження НДС несучої конструкції машини КРС-1 були визначені місця встановлення тензOMETричних датчиків для вимірювання динамічних складових напружень.

Схему розташування тензOMETричних датчиків наведено на рис. 8.

Ходові динамічні випробування на міцність проводились одночасно з ходовими динамічними випробуваннями при русі дослідної машини прямими і кривими ділянками колії, а також по стрілочних переводах.

Значення коефіцієнтів запасу втомлювальної міцності  $n$  для характерних місць конструкції рами рейкозварювальної колійної машини КРС-1 при русі на перегонах і по стрілочних переводах, які визначалися з використанням статичних напружень і найбільших динамічних добавок, наведені у табл. 1.

Коефіцієнт запасу втомлювальної міцності розраховувався за відомим виразом [4]:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma}\sigma_a + \Psi_{\sigma}\sigma_m},$$

де  $\sigma_{-1}$  – границя витривалості гладенького лабораторного зразка при симетричному циклі для базової довговічності;



$\sigma_m$  – середнє значення циклу напружень.  
Приймалося рівним значенню напруження, отриманому при дії статичного навантаження  $\sigma_{ст}$ , тобто  $\sigma_m = \sigma_{ст}$ .

$\sigma_a$  – номінальне значення амплітуди циклу зміни напружень;

$\Psi_\sigma$  – коефіцієнт чутливості й асиметрії циклу;

$K_\sigma$  – сумарний коефіцієнт, який враховує вплив концентрації напружень, масштабною і технологічного факторів.

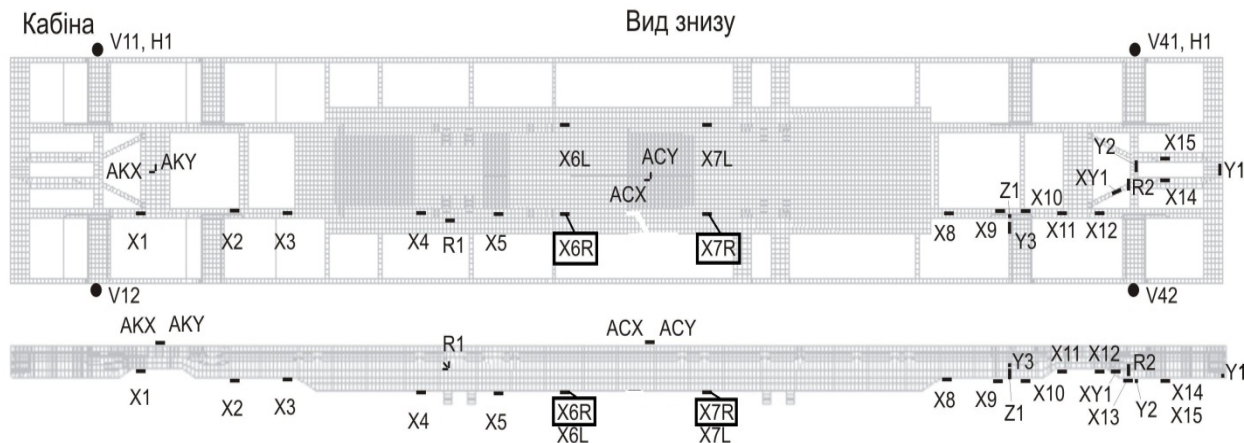


Рис. 8. Схема розміщення тензометричних датчиків на несучій рамі колійної машини КРС-1

Таблиця 1

**Коефіцієнти запасу втомлювальної міцності в елементах несучої конструкції машини КРС-1. Транспортний режим**

Датчик	$v$ , км/год	$n$	$[n]$
X6R	10-30	2,58	1,5
	31-50	2,31	
	51-70	2,09	
	71-90	<b>1,99</b>	
X7R	10-30	2,17	
	31-50	<b>1,98</b>	
	51-70	2,09	
	71-90	2,06	

Втомлювальна міцність несучої рами дослідної машини вважається забезпеченою, якщо у всьому діапазоні швидкостей, для яких проводилися випробування, отримані значення коефіцієнтів запасу втомлювальної міцності не менші за нормативного значення, яке згідно [2, 3] приймалося  $[n] = 1,5$ . В результаті обробки експериментальних даних ходових динамічних випробувань на міцність (табл. 1) можна зробити висновок, що міцність несучої конструкції рами рейкозварювальної колійної машини КРС-1 за коефіцієнтом запасу втомлювальної міцності забезпечується, оскільки отри-

мані значення цього коефіцієнту знаходяться у допустимих межах.

З порівняльної табл. 2 видно, що у найбільш навантажених елементах конструкції (точка X6R) значення коефіцієнтів запасу втомлювальної міцності, отримані аналітичним і експериментальним шляхом, добре узгоджуються і знаходяться у допустимих межах, оскільки не нижче нормованого значення  $[n] = 1,5$  [2, 3].

Таким чином, в результаті аналізу аналітичного та експериментального досліджень, було встановлено, що міцність несучої конструкції рами рейкозварювальної колійної машини КРС-1 у транспортному режимі забезпечена як допустимими напруженнями, так і за коефіцієнтами запасу втомлювальної міцності.

Таблиця 2

**Коефіцієнти запасу втомлювальної міцності несучої конструкції машини КРС-1**

Місце конструкції	Розрахунок конструкції за МСЕ	Ходові динамічні випробування на міцність	$[n]$
X6R	1,96	1,99	1,5
X7R	2,36	1,98	

## БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Путьевые машины [Текст] / С. А. Соломонов [и др.]. – Желдориздат, 2000. – 756 с.

2. Нормы прочности металлоконструкций путевых машин. ОСТ 32.62-96 [Текст] / ВНИИЖТ МПС РФ. – М., 1996.
3. Система испытаний подвижного состава. Организация и порядок проведения приёмочных и сертификационных испытаний тягового подвижного состава. ОСТ 32.53-96 [Текст] / ВНИИЖТ МПС РФ. – М., 1996.
4. Тимошенко, С. П. Сопротивление материалов [Текст] : том II / С. П. Тимошенко. – М.: Наука, 1965. – 480 с.

Надійшла до редколегії 22.04.2011.  
Прийнята до друку 27.04.2011.

Б. Н. ТОВТ, Е. М. ДЗИЧКОВСКИЙ, А. Е. КРИВЧИКОВ

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ РЕЛЬСОСВАРОЧНОЙ ПУТЕВОЙ МАШИНЫ КРС-1**

В статье приведены результаты аналитического и экспериментального исследований напряжённно-деформированного состояния (НДС) несущей конструкции рельсосварочной путевой машины КРС-1. Аналитическое исследование выполнено с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Результаты аналитического исследования использованы при проведении ходовых динамических испытаний на прочность. Выполнено сравнение результатов экспериментального и аналитического исследований. На основе анализа полученных расчётных и экспериментальных данных выполнена оценка прочности несущей конструкции рельсосварочной путевой машины КРС-1.

*Ключевые слова:* путевая машина КРС-1, исследования напряжённно-деформированного состояния, усталостная прочность, МКЭ, испытания

B. M. TOVT, E. M. DZICHKOVSKYY, O. E. KRYVCHYKOV

## **RESEARCH OF STRAINED-AND-STRESSED STATE OF SUPPORTING STRUCTURE OF TRACK MACHINE KRS-1**

In this article the results of analytical and experimental research of the strained-and-stressed state of supporting structure of the track machine KRS-1 are presented. The analytical research is executed with the use of finite-element method (FEM). The results of analytical research are used during realization of running dynamic durability tests. The results of experimental and analytical research are compared. On the basis of analysis of the obtained calculation and experimental data the estimation of durability of supporting structure of the track machine KRS-1 is performed.

*Keywords:* track machine KRS-1, study of strained-and-stressed state, fatigue durability, FEM, test

## ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ЗНОСУ БАГАТОШАРОВИХ ПОКРИТТІВ

В роботі розглянуто вплив фізико-механічних властивостей матеріалів на знос контактуючих пар. В роботі представлені результати теоретичного моделювання зносу, коли поверхневий шар складається з декількох шарів з різними характеристиками, які можливо отримати при відновленні деталей. На підставі теоретичних моделей наведені приклади зносу контактуючих двох тіл, кожне з яких має багатошарову будову покриття.

*Ключові слова:* шаруваті покриття, знос, моделювання, властивості покриття

### Вступ, постановка проблеми

Вивчення зносу пар, що труться, представляє великий інтерес, як з погляду практичної експлуатації, так і в теоретичному плані. У роботі [1] представлений значний матеріал, що стосується тертя і зносу різних матеріалів. У найзагальнішому виді єдиного закону зносу пар, що труться, не виявлено. Проте вказані чинники, що найбільше впливають на знос.

У локальному плані на знос впливають такі чинники:

- 1) відносна швидкість тіл, що труться ( $u$ );
- 2) тиск в області контакту ( $p$ );
- 3) фізико-механічні властивості матеріалів;
- 4) мікрогеометрія в області контакту тіл, що труться;
- 5) наявність у зоні контакту та умови змащування.

До фізико-механічних властивостей матеріалів поверхневого шару, що суттєво впливають на зносостійкість, необхідно віднести такі пружні та пластичні властивості, як (модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, межа текучості).

У роботі [2] частково розглянуті подібні завдання з поверхневими шарами однорідними по глибині. Особливий інтерес представляє ситуація, коли поверхневий шар складається з декількох шарів з різними характеристиками, які можливо отримати при відновленні деталей. Дана робота є логічним продовженням роботи [3].

Метою даної роботи є розробка кількісних методів розрахунку зносу тіл, що труться, які мають шарувату структуру із заданими механічними властивостями.

У цій роботі найдетальніше розглянута ситуація, коли пара, що треться, є підшипником ковзання з тонкими пружними покриттями одного з контактуючих тіл.

### 1. Рівняння поверхні зносу

Припускаємо, що поверхня зносу досить гладка і диференціюється по просторових координатах і часі.

Нехай  $F(x, y, z, t) = 0$  представляє поверхню зносу у момент часу  $t$ . У достатньо близький момент часу  $t + \Delta t$  маємо  $F(x(t + \Delta t), y(t + \Delta t), z(t + \Delta t), t + \Delta t) = 0$ .

Розкладаючи дану залежність в ряд в околиці  $t$  і враховуючи  $F(x(t), y(t), z(t), t) = 0$ , отримуємо

$$\frac{\partial F}{\partial x}(x(t + \Delta t) - x(t)) + \frac{\partial F}{\partial y}(y(t + \Delta t) - y(t)) + \frac{\partial F}{\partial z}(z(t + \Delta t) - z(t)) + \frac{\partial F}{\partial t}\Delta t + 0(\Delta t) = 0.$$

Поділивши на  $\Delta t$  і спрямовуючи  $\Delta t$  до нуля приходимо до наступного рівняння, якому задовольняє поверхня зносу

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} \cdot v_x + \frac{\partial F}{\partial y} \cdot v_y + \frac{\partial F}{\partial z} \cdot v_z = 0. \quad (1)$$

У цьому рівнянні всі частинні похідні обчислені для моменту часу  $t$ .

Ввівши вектор швидкості  $v = (v_x, v_y, v_z)$ , з якою рухається точка на поверхні зносу, рівнянню (1) можна надати вигляд

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \langle v, \nabla F \rangle = 0,$$

де  $\nabla F$  - градієнт в точці поверхні  $(x(t), y(t), z(t))$ ;

$\langle v, \nabla F \rangle$  - скалярний добуток відповідних векторів.

Оскільки  $\nabla F$  паралельний вектору нормалі, то вважаючи, що довжина вектора градієнта

$|\nabla F| \neq 0$ , отримуємо

$$\frac{\partial F}{\partial t} + v_N \cdot |\nabla F| = 0 \quad (2)$$

де  $v_N$  - проекція вектора швидкості на нормаль поверхні зносу.

На рис. 1 представлено розташування поверхні зносу у момент часу  $t$  і  $t + \Delta t$ . Якщо

$dS$  - площа в околиці точки  $M$ , тоді об'єм зносу за час  $\Delta t$  можна представити у вигляді

$$\Delta V = v_N \Delta t \cdot dS.$$

Звідки витікає, що  $v_N$  є лінійним зносом і залежить від розташування точки  $M$  і властивостей тіла в цій точці.

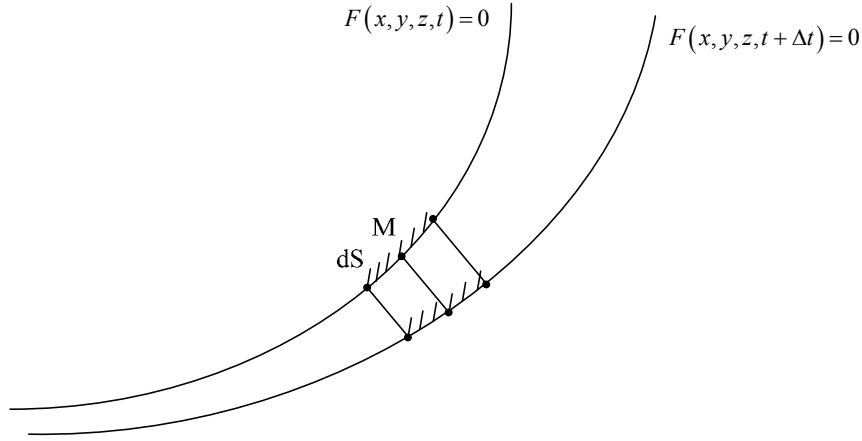


Рис. 1 Поверхні зносу

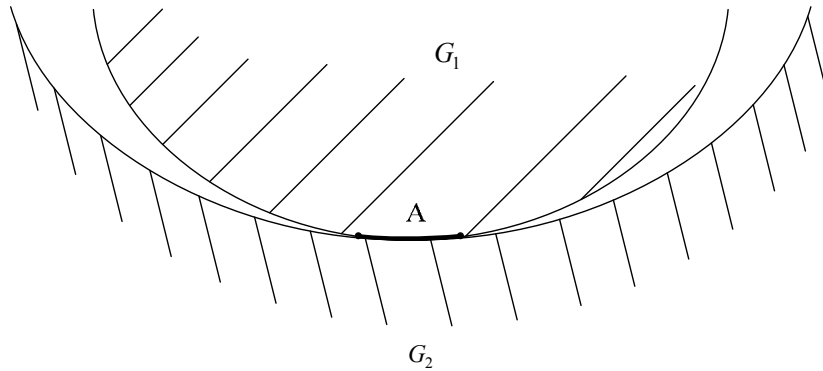


Рис. 2  $G_1$  і  $G_2$  два контактуючих тіл

## 2. Рівняння зносу пари тіл тертя

Нехай  $F_1(x, y, z, t) = 0$  і  $F_2(x, y, z, t) = 0$  поверхні двох контактуючих тіл (рис. 2).

Тоді область  $A$  безліч точок, які задовольняють рівнянню  $F_1 = 0$  і  $F_2 = 0$  буде областю контакту двох тіл  $G_1$  і  $G_2$ . Дана безліч точок  $A$  очевидно задовольнятиме і наступній системі рівнянь типу (2)

$$\begin{cases} \frac{\partial F_1}{\partial t} + v_1 \cdot |\nabla F_1| = 0; \\ \frac{\partial F_2}{\partial t} + v_2 \cdot |\nabla F_2| = 0. \end{cases} \quad (3)$$

У цій системі диференціальних рівнянь  $v_1$  і

$v_2$  є лінійними швидкостями зносу відповідно тіл  $G_1$  і  $G_2$ .

Очевидно, що  $v_1$  і  $v_2$  залежать не тільки від точок  $M$  області контакту  $A$ , але і від відносної швидкості руху тіл  $G_1$  і  $G_2$ , а також від тиску  $P$  в цих точках, тобто

$$\begin{aligned} v_1 &= v_1(u, p, M); \\ v_2 &= v_2(u, p, M), \end{aligned} \quad (4)$$

де  $M \in A$ .

До системи диференціальних рівнянь (3) необхідно приєднати початкові умови

$$\begin{aligned} F_1(x, y, z, 0) &= f_1(x, y, z); \\ F_2(x, y, z, 0) &= f_2(x, y, z) \end{aligned} \quad (5)$$



і врахувати навантаження  $Q(t)$ , що притискує одне тіло до іншого.

Нехай вектор  $\vec{l}$  одиничної довжини, що визначає напрям притискуючої сили  $Q(t)$ , а  $\vec{N}$  - вектор нормалі до поверхні  $F_1$ , тоді

$$\int_{A(t)} p \cos \varphi dS = Q(t), \quad (6)$$

де  $\cos \varphi = \langle \vec{l}, \vec{N} \rangle$ , тобто  $\varphi$  - кут між векторами  $\vec{l}$  і  $\vec{N}$ .

$A(t)$  - область контакту у момент часу  $t$ .

Початкова область контакту  $A(0)$  визначається з рішення системи рівнянь

$$\begin{cases} f_1(x, y, z) = 0; \\ f_2(x, y, z) = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Таким чином, в отриманих співвідношеннях повинні задаватися навантаження  $Q(t)$  і швидкість відносного руху  $u(t)$ .

Надалі викладений підхід розглядатимемо у разі, коли тіла  $G_1$  і  $G_2$  мають багат шарове покриття, що піддаються зносу. Зауважимо, що зносостійкість у даних покриттів різна і спільно з  $Q(t)$  і  $u(t)$  визначають ресурс (час) роботи деталей до граничного зносу.

### 3. Наведемо деякі приклади

Розглянемо приклади зносу контактуючих двох тіл, кожне з яких має багат шарове покриття. Процес зносу досліджується в плоскому варіанті і, як правило, при постійному навантаженні.

#### 3.1. Знос двох плоских смуг

Нехай тіло  $G_1$  має багат шарове покриття товщиною  $h_1$ , а тіло  $G_2$  - покриття товщиною  $h_2$  (рис. 3). Рух тіла  $G_1$  відносно  $G_2$  проходить уздовж осі  $z$ , перпендикулярної площини представленого рисунка.

Позначимо через  $y_1$  сумарну товщину покриттів, тоді у будь-який момент часу умова контакту приймає вигляд

$$y_1(t) = h_1(t) + h_2(t). \quad (8)$$

Рівняння поверхні зносу тіла буде наступним

$$y(t) = y_1(t) - h_1(t)$$

або

$$F_1 = y(t) - y_1(t) + h_1(t) = 0,$$

а для тіла  $G_2$  маємо

$$F_2 = y - h_2(t) = 0.$$

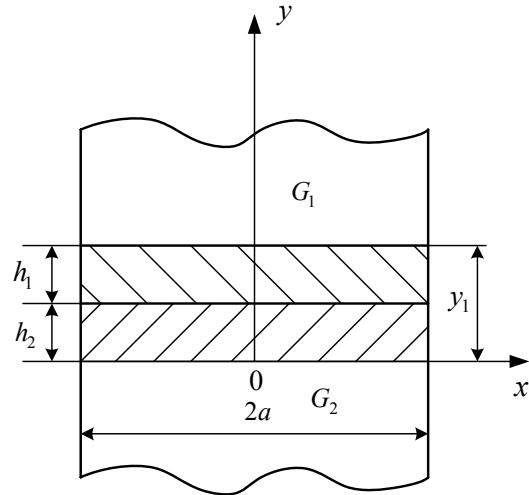


Рис. 3 Контактна взаємодія двох смуг шириною  $2a$

Очевидно, що з врахуванням (8) рівняння поверхні  $F_1$  тотожно співпадає з рівнянням  $F_2$ . Тоді для поверхні  $F_2$  отримуємо

$$-\frac{dh_2}{dt} - v_2 = 0,$$

оскільки лінійна швидкість зносу другого тіла протилежна градієнту  $\nabla F_2 = (0; 1)$ .

Що стосується тіла  $G_1$ , то його шар зменшуватиметься відповідно до рівняння

$$\frac{dh_1}{dt} = -v_1,$$

а саме тіло  $G_1$ , як єдине ціле занурюватиметься з швидкістю

$$\frac{dy_1}{dt} = -(v_1 + v_2).$$

Звідки отримуємо, що товщина двох шарів визначатиметься швидкостями зносу кожного шару окремо.

У даному розгляді істотним є те, що тіло  $G_2$  нерухоме і з ним пов'язана система координат, а тіло  $G_1$  піддається не тільки зносу, але і перенесенню, як єдиного цілого. Цей момент повинен враховуватися в системі рівнянь (3) і його можна визначити, як умова контакту. Оскільки

в даному випадку площа контакту постійна, то із співвідношення (6) отримуємо тиск

$$P = \frac{Q(t)}{2a}$$

і тоді лінійні швидкості зносу будуть наступними

$$v_1 = \alpha_1 \frac{P^{m_1}}{B_1}; \quad v_2 = \alpha_2 \frac{P^{m_2}}{B_2},$$

де  $m_1, m_2$  - показники нелінійності по відношенню до тиску;

$B_1, B_2$  - опори зносу відповідних шарів, які є функціями товщини шарів;

$\alpha_1, \alpha_2$  - коефіцієнти, залежні від відносної швидкості і мікрогеометрії поверхні тертя.

Розглянемо детальніше знос поверхневого шару тіла  $G_2$ . Диференціальне рівняння, що визначає зміну товщини  $h_2$  має вигляд

$$\frac{dh_2}{dt} = -v_2 = -\frac{\alpha_2 P^{m_2}}{B_2}.$$

Величина опору зносу  $B_2$  залежить від локальних властивостей покриття і області контакту, тобто  $B_2$  визначатиметься співвідношенням

$$B_2 = \int_{-a}^a r_2(x, y) dx,$$

де  $r_2(x, y)$  - локальний опір, а  $(x, y)$  - точка поверхні контакту.

Оскільки покриття тіла  $G_2$  є шарами, то  $r_2$  від  $x$  не залежить, а залежить тільки від  $y = h_2$ . Тоді

$$B_2 = r_2(h_2) \cdot 2a,$$

Тому диференціальне рівняння для  $h_2$  буде наступним

$$\frac{dh_2}{dt} = -\frac{\alpha_2 P^{m_2}}{2a \cdot r_2(h_2)}.$$

У разі, коли навантаження постійне  $Q(t) = Q_0$ , то для кожного шару покриття права частина диференціального рівняння буде постійною і тоді рішення задачі Коші для цього рівняння за початкової умови  $h_2(0) = h_{20}$  представлятиме кусково-лінійну функцію (рис. 4).

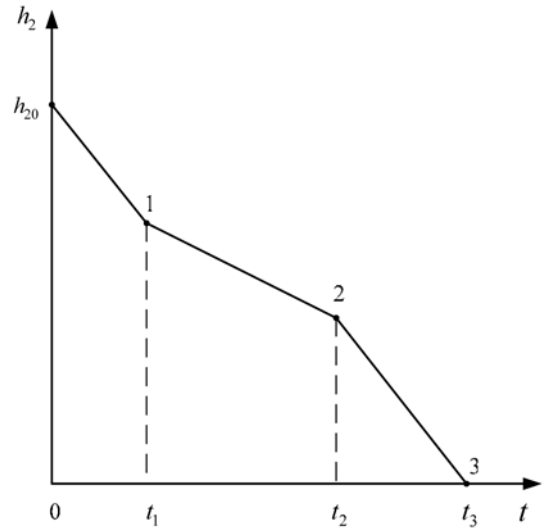


Рис. 4. Якісна залежність зносу тришарового покриття  $G_2$

На рис. 4 час  $t_1$  - час зносу самого верхнього шару покриття,  $t_2 - t_1$  - час зносу наступного шару покриття,  $t_3 - t_2$  - час зносу останнього шару покриття при тришаровому покритті, а  $t_3$  - сумарний час зносу всього покриття.

Аналогічним чином, вирішуючи задачу Коші для багатошарового покриття тіла  $G_1$ , отримуємо залежність  $h_1(t)$  і тоді термін служби пари визначиться із співвідношення

$$\min\{h_1(t), h_2(t)\} = 0.$$

При чисельному рішенні зручно привести початкові диференціальні рівняння до безрозмірного вигляду

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{h}_1}{d\tau} = -\tilde{v}_1(\tilde{h}_1); \\ \frac{d\tilde{h}_2}{d\tau} = -\tilde{v}_2(\tilde{h}_2); \end{cases} \quad (9)$$

за початкових умов

$$\tilde{h}_1(0) = h_{10}; \quad \tilde{h}_2(0) = h_{20}, \quad (10)$$

де  $\tau = v_0 \cdot t$ ;  $\tilde{v}_1 = \frac{v_1}{v_0}$ ;  $\tilde{v}_2 = \frac{v_2}{v_0}$ ;  $\tilde{h}_i = \frac{h_i}{h_0}$ ;  $i = \overline{1, 2}$ .

У якості  $v_0$  можна узяти

$$v_0 = \frac{\alpha_0 P^m}{2a \cdot r_0 \cdot h_0};$$

де  $\alpha_0 = \max\{\alpha_1, \alpha_2\}$ ;  $m = \max\{m_1, m_2\}$ ;  $r_0$  - базовий опір зносу,  $h_0 = \max\{h_{10}, h_{20}\}$ .

Так, наприклад, якщо початкова товщина багат шарового покриття тіла  $G_1$  більша, ніж тіла  $G_2$ , то  $\tilde{h}_1(0)$  буде рівне 1, а  $\tilde{h}_2$  буде рівне  $\frac{h_{20}}{h_0} < 1$ .

Випишемо представлення функцій  $r_1(h_1)$  і  $r_2(h_2)$  через функцію Хевісайда  $H(t)$ . Розглянемо тришарове покриття тіла  $G_2$ , рахуючи шари від тіла  $G_2$ . Нехай  $[y_{20}, y_{21}]$  представляє покриття першого шару,  $[y_{21}, y_{22}]$  - другий шар,  $[y_{22}, h_{20}]$  - третій шар (рис. 5).

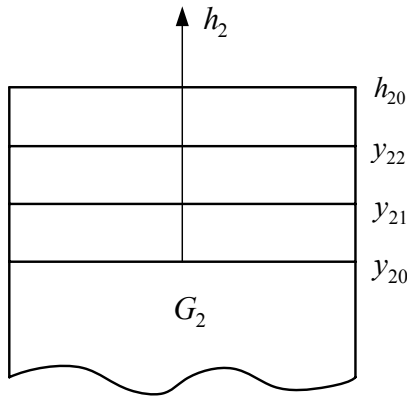


Рис. 5. Тришарове покриття тіла  $G_2$

Опір зносу покриття тіла  $G_2$  можна представити у вигляді

$$r_2(h_2) = \begin{cases} r_{23}, & \text{якщо } h_2 \geq y_{22}; \\ r_{22}, & \text{якщо } y_{21} \leq h_2 < y_{22}; \\ r_{21}, & \text{якщо } y_{20} \leq h_2 < y_{21}. \end{cases}$$

Це визначення через функцію Хевісайда може бути записане у вигляді

$$r_2(h_2) = r_{23} \cdot H(h_2 - y_{22}) + r_{22} (H(y_{22} - h_2) - H(y_{21} - h_2)) + r_{21} (H(y_{21} - h_2) - H(y_{20} - h_2)).$$

Якщо є більш, ніж три шари покриття, тоді в загальному вигляді

$$r_2(h_2) = r_{2n} H(h_2 - y_{2n-1}) + \sum_{i=1}^{n-1} r_{2i} (H(y_{2i} - h_2) - H(y_{2i-1} - h_2)),$$

де  $n$  - число шарів покриття.

Аналогічним чином записується опір зносу багат шарового покриття тіла  $G_1$ :

$$r_1(h_1) = r_{1n} H(h_1 - y_{1n-1}) + \sum_{i=1}^{n-1} r_{1i} (H(y_{1i} - h_1) - H(y_{1i-1} - h_1)),$$

де  $y_{1i}$  - відлічуються від тіла  $G_1$  (рис. 6).

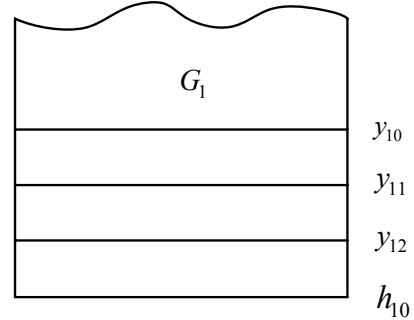


Рис. 6. Тришарове покриття тіла  $G_1$

Чисельна інтеграція системи (9) за початкових умов (10) реалізовуватимемо в пакеті символьних обчислень [4], використовуючи метод Рунге-Кутта четвертого порядку [5].

### 3.2. Знос двох плоских смуг з урахуванням взаємного впливу

У роботі [1] приводиться огляд різних підходів побудови моделі зносу поверхонь, що труться. Так, наприклад, по Холу кількість зношеної речовини, що доводиться на одиницю шляху ковзання дорівнює

$$W = z \frac{q}{HB},$$

де  $z$  - вірогідність видалення атома з поверхні ковзання;

$q$  - навантаження;

$HB$  - твердість матеріалу.

Д. Аргард формулює більш детально дану залежність і пропонує формулу

$$W = K \frac{q}{3\sigma_T},$$

де  $\sigma_T$  - межа текучості;

$K$  - змінюється в межах від  $10^{-2}$  до  $10^{-7}$ .

Проте, в цих формулах відображені механічні властивості тільки одного контактуючого тіла.

Пропонується швидкість зносу будь-якого тіла визначати від властивостей контактуючих тіл, тобто вважаємо, що швидкість зносу будь-якого тіла зворотнопропорційна опору зносу цього тіла і прямопропорційна опору зносу іншого тіла.

При цьому припущенні система рівнянь (9) буде наступною

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{h}_1}{d\tau} = -\tilde{v}_1(\tilde{h}_1, \tilde{h}_2); \\ \frac{d\tilde{h}_2}{d\tau} = -\tilde{v}_2(\tilde{h}_1, \tilde{h}_2) \end{cases} \quad (11)$$

за початкових умов (10).

### 3.3. Знос підшипника ковзання

На рис. 7 представлений підшипник ковзання, у якого вал  $G_1$  радіусом  $R_1$  покритий багат шаровим покриттям товщиною  $h_1$ , а кільце (втулка)  $G_2$  має багат шарове покриття сумарною товщиною  $h_2$  і радіус втулки рівний  $R_2$ .

Нехай вал  $G_1$  обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю  $\omega$ . Нехай у момент часу  $t$  вісь валу має координати  $(0_1, y_1)$ , тоді поверхня покриття валу буде наступною

$$F_1 = x^2 + (y - y_1)^2 - (R_1 + h_1)^2 = 0.$$

У цьому співвідношенні  $y_1$  і  $h_1$  є функціями часу. Обчислимо частинні похідні

$$\frac{\partial F_1}{\partial t} = 2(y - y_1(t)) \frac{dy_1}{dt} - 2(R_1 + h_1(t)) \frac{dh_1}{dt};$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial x} = 2x; \quad \frac{\partial F_1}{\partial y} = 2(y - y_1(t)).$$

Модуль градієнта  $\nabla F$  буде рівний

$$|\nabla F_1| = 2\sqrt{x^2 + (y - y_1)^2} = 2(R_1 + h_1)$$

і тоді отримуємо наступне рівняння зміни поверхні  $F_1$  і руху тіла  $G_1$ , як єдиного цілого

$$(y - y_1(t)) \frac{dy_1}{dt} - (R_1 + h_1(t)) \frac{dh_1}{dt} +$$

$$\begin{aligned} |\nabla F_2| &= 2\sqrt{\left(x + (R_2 - h_2) \frac{\partial h_2}{\partial x}\right)^2 + \left(y + (R_2 - h_2) \frac{\partial h_2}{\partial y}\right)^2} = \\ &= 2\sqrt{x^2 + 2x(R_2 - h_2) \frac{\partial h_2}{\partial x} + (R_2 - h_2)^2 \left(\frac{\partial h_2}{\partial x}\right)^2 + y^2 + 2y(R_2 - h_2) \frac{\partial h_2}{\partial y} + (R_2 - h_2)^2 \left(\frac{\partial h_2}{\partial y}\right)^2} = \\ &= 2\sqrt{x^2 + y^2 + 2(R_2 - h_2) \left(x \frac{\partial h_2}{\partial x} + y \frac{\partial h_2}{\partial y}\right) + (R_2 - h_2)^2 \left(\left(\frac{\partial h_2}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial h_2}{\partial y}\right)^2\right)} = \\ &= 2(R_2 - h_2) \sqrt{1 + \frac{2}{R_2 - h_2} \left(x \frac{\partial h_2}{\partial x} + y \frac{\partial h_2}{\partial y}\right) + \left(\frac{\partial h_2}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial h_2}{\partial y}\right)^2}. \end{aligned}$$

$$+v_{1N}(R_1 + h_1(t)) = 0 \quad (12)$$

де  $v_{1N} = \bar{v}_{1N} + \bar{v}_{1N}$ ,

$\bar{v}_{1N}$  - швидкість зменшення  $h_1$ ;

$\bar{v}_{1N}$  - швидкість руху тіла  $G_1$  з урахуванням зносу шаруватого покриття втулки.

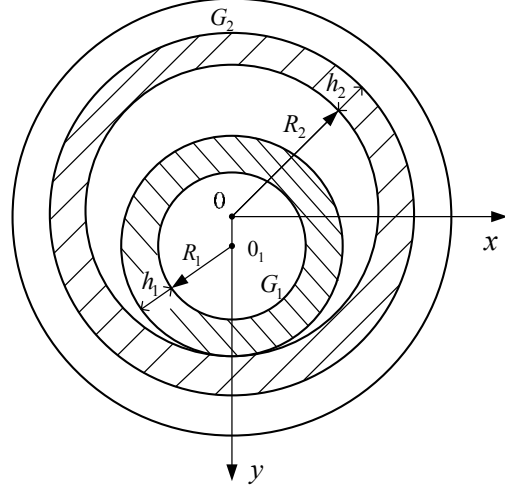


Рис. 7 Підшипник ковзання

Що стосується поверхні  $F_2$  покриття втулки, то у будь-який момент часу вона є

$$F_2 = x^2 + y^2 - (R_2 - h_2(x, y, t))^2 = 0.$$

Частинні похідні цієї поверхні будуть наступними

$$\frac{\partial F_2}{\partial t} = 2(R_2 - h_2(x, y, t)) \frac{\partial h_2(x, y, t)}{\partial t};$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial x} = 2x + 2(R_2 - h_2(x, y, t)) \frac{\partial h_2(x, y, t)}{\partial x};$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial y} = 2y + 2(R_2 - h_2(x, y, t)) \frac{\partial h_2(x, y, t)}{\partial y}.$$

Обчислимо модуль градієнта  $\nabla F_2$ .

Тоді отримуємо рівняння, якому задовольняє  $h_2(x, y, t)$

$$\frac{\partial h_2(x, y, t)}{\partial t} + v_{2N} \sqrt{1 + \frac{2}{R_2 - h_2} \left( x \frac{\partial h_2}{\partial x} + y \frac{\partial h_2}{\partial y} \right) + \left( \frac{\partial h_2}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial h_2}{\partial y} \right)^2} = 0. \quad (13)$$

Враховуючи, що швидкість обертання валу  $G_1$  достатньо велика в порівнянні з швидкістю зносу покриття тіла  $G_1$  вважаємо

$$\frac{dh_1}{dt} = -\bar{v}_{1N} \quad (14)$$

і тоді рівняння (12) набуває вигляд

$$(y - y_1(t)) \frac{dy_1}{dt} - (R_1 - h_1) \cdot \bar{v}_{1N} = 0. \quad (15)$$

Таким чином, рівняння (13)-(15) складають систему для функцій  $y_1(t)$ ,  $h_1(t)$  і  $h_2(x, y, t)$ .

Введемо полярну систему координат, узявши за полярну вісь - вісь  $y$  і кут  $\varphi$ , що відлічується від осі  $y$  проти годинникової стрілки, тоді

$$\varphi = \arctg \frac{x}{y}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{y}{x^2 + y^2}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\frac{x}{x^2 + y^2},$$

що дозволяє спростити рівняння (13), оскільки

$$\begin{aligned} x \frac{\partial h_2}{\partial x} &= x \frac{\partial h_2}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial h_2}{\partial \varphi} \cdot \frac{xy}{x^2 + y^2}; \\ y \frac{\partial h_2}{\partial y} &= y \frac{\partial h_2}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \frac{\partial h_2}{\partial \varphi} \cdot \frac{-xy}{x^2 + y^2}; \\ \left( \frac{\partial h_2}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial h_2}{\partial y} \right)^2 &= \left( \frac{\partial h_2}{\partial \varphi} \right)^2 \left( \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 \right) = \\ &= \left( \frac{\partial h_2}{\partial \varphi} \right)^2 \frac{1}{(R_2 - h_2)^2}. \end{aligned}$$

З урахуванням цих співвідношень рівняння (13) приймає вигляд

$$\begin{aligned} \frac{\partial h_2(y, \varphi, t)}{\partial t} + \\ + v_{2N} \sqrt{1 + \left( \frac{\partial h_2(y, \varphi, t)}{\partial \varphi} \right)^2 \frac{1}{(R_2 - h_2)^2}} = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

Нехтуючи деформацією шарів при навантаженні  $Q(t)$  отримаємо, що контакт між покриттями тіл  $G_1$  і  $G_2$  буде в межах  $\varphi \in [-\varphi_0(t), \varphi_0(t)]$ , де  $[-\varphi_0(t), \varphi_0(t)]$  розчин

кута, що визначає площадку контакту. Причому це буде дуга кола з центром в точці  $O_1$  і радіусу  $R_1 + h_1(t)$  (рис. 8).

Полярні координати точок контакту задовольняють наступному рівнянню

$$y^2 - 2yy_1 \cos \varphi + y_1^2 = (R_1 + h_1)^2.$$

З цього рівняння знаходимо  $y(\varphi)$  і тоді

$$h_2(y(\varphi), \varphi, t) = R_2 + h_2(0) - y(\varphi),$$

а опір зносу в точці з координатами  $(y(\varphi), \varphi)$  складе

$$r_2(\varphi) = r_2(h_2(y(\varphi), \varphi, t)) = r_2(R_2 + h_2(0) - y(\varphi)).$$

Опір зносу всієї площадки контакту буде

$$R_2(\varphi_0(t)) = \int_{-\varphi_0(t)}^{\varphi_0(t)} r_2(\varphi) d\varphi.$$

Відмітимо, що при  $\varphi > \varphi_0(t)$  знос покриття вкладиша відсутній і рівняння (16) необхідно розглядати тільки, коли  $|\varphi| \leq \varphi_0(t)$ , а враховуючи симетрію, можна обмежитися  $0 \leq \varphi \leq \varphi_0(t)$ . Крім того, у будь-який момент часу повинне виконуватися співвідношення

$$y_1(t) = R_2 - R_1 - (h_1(t) + h_2(0, t)),$$

яке необхідно розглядати, як умова контакту двох тіл  $G_1$  і  $G_2$  при  $\varphi = 0$ .

Якщо  $\varphi \neq 0$ , то має місце

$$\begin{aligned} (R_2 - h_2) \cos \varphi - \\ - \sqrt{(R_2 + h_1)^2 - (R_2 - h_2)^2 \sin^2 \varphi} = y_1, \end{aligned}$$

для  $\varphi \in [-\varphi_0(t), \varphi_0(t)]$ , або

$$(R_2 - h_2)^2 - 2y_1(R_2 - h_2) \cos \varphi + y_1^2 = (R_1 + h_1)^2. \quad (17)$$

Якщо позначити через  $P(\varphi, t)$  тиск в області контакту, то умова рівноваги буде наступною

$$\int_{-\varphi_0(t)}^{\varphi_0(t)} P(\varphi, t) \cos \varphi d\varphi = Q(t),$$

де  $Q(t)$  - навантаження, що стискає контактуючі тіла.

$$\int_{-\varphi_0(t)}^{\varphi_0(t)} P(\varphi, t) \sin \varphi d\varphi = 0. \quad (19) \quad (18)$$

Дане співвідношення через парність  $P(\varphi, t)$  по  $\varphi$  виконуватиметься автоматично.

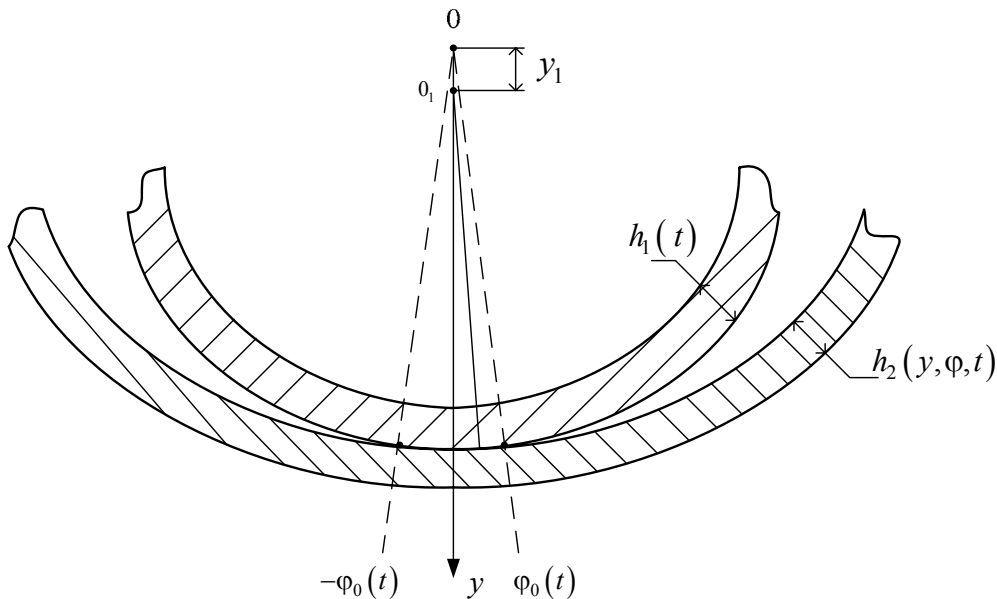


Рис. 8. Контакт валу з вкладишем у момент часу  $t$

Таким чином, для різних умов контакту представлені моделі зносу з врахуванням шаруватості відновлювального покриття однієї або обох контактуючих деталей. Розроблені моделі в перспективі дозволять раціонально підбирати товщину та кількість шарів при умові відповідних можливостей відновлювальних технологій.

## БИБЛИОГРАФИЧНИЙ СПИСОК

1. Крагельский, Н. В. Трение и износ [Текст] / Н. В. Крагельский. - М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.
2. Галахов, М. А. Дифференциальные и интегральные уравнения математической теории трения [Текст] / М. А. Галахов, П. П. Усов. - М.: Наука, Главн. ред. физ.-мат. литер. 1990. - 280 с.
3. Артемчук, В. В. Моделирование износа многослойного покрытия. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології» [Текст] / В. В. Артемчук. - № 2, 2011. - С. 59-65.
4. Прохоров, Г. В. Пакет символьних вычислений Maple V [Текст] / Г. В. Прохоров, М. А. Леде-нев, В. В. Колбеев. - М.: Компания «Петит», 1997. - 200 с.
5. Бахвалов Н. С. Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения [Текст] / Н. С. Бахвалов. - М.: Наука, 1975.

Надійшла до редколегії 09.12.2011.

Прийнята до друку 12.12.2011.

В. В. АРТЕМЧУК (ДІПТ)

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗНОСА СЛОИСТЫХ ПОКРЫТИЙ

В работе рассмотрено влияние физико-механических свойств материалов на износ контактирующих пар. В работе представлены результаты теоретического моделирования износа, когда поверхностный слой состоит из нескольких слоев с различными характеристиками, которые возможно получить при восстановлении деталей. На основании теоретических моделей приведены примеры износа контактирующих двух тел, каждое из которых имеет многослойное строение покрытия.

*Ключевые слова:* слоистые покрытия, износ, моделирование, свойства покрытия

V. V. ARTEMCHUK (DIIT)

## **TEORETICHESKE ASPECTS OF MODELING WEAR LAYERED COATING**

In this paper we examine the effect of physico-mechanical properties of materials on the wear of the contacting pairs. The results of theoretical modeling of wear and tear, when the surface layer is composed of several layers with different characteristics, which may get in the recovery of parts. Based on theoretical models are examples of wear and tear contact of two bodies, each of which has a multilayer structure of the coating.

*Keywords: layered coatings, wear simulation, the properties of the coating*

## ОЦЕНКА РЕЖИМОВ ТРЕНИЯ И СМАЗКИ В ПОДШИПНИКАХ ОСЕВОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ

Рассмотрена зависимость между величиной относительного диаметрального зазора и характеристиками работы моторно-осевых подшипников на различных скоростях движения тепловоза: видом режима смазки, толщиной смазочного слоя, коэффициентом трения и интенсивностью изнашивания.

*Ключевые слова:* трение, смазка, изнашивание, моторно-осевой подшипник, тепловоз

### Постановка проблемы

Моторно-осевые подшипники (МОП) относятся к числу тех немногих узлов локомотивов, которые значительную часть общего ресурса времени эксплуатируется в режимах граничного и смешанного трения, что в целом характеризует их как узлы с тяжелыми условиями нагружения.

Для продления ресурса МОП необходимо определить характер напряженности работы этого узла, параметры режима смазки и внешних сил трения на его рабочих поверхностях. Перечисленные характеристики условий работы МОП во многом зависят от величины относительного диаметрального зазора.

Установленные для тепловозов с циркуляционной системой смазки величины относительного диаметрального зазора  $\psi = (2...8) \times 10^{-3}$  в несколько раз превышают рекомендованные в машиностроении [1, 2] значения, что с учетом особенностей работы узлов осевого подвешивания тепловозов является результатом очевидного конструкторского компромисса. С одной стороны влияние сложного динамического характера нагрузок, технологических перекосов и эксплуатационных смещений МОП требует назначения достаточно большого диаметрального зазора  $\Delta$ , а с другой, – относительное увеличение  $\Delta$  в подшипниках скольжения приводит, в определенных условиях, к ухудшению подачи смазочного материала к поверхностям трения и повышению скорости их изнашивания.

Поэтому какие-либо мероприятия, направленные на повышение ресурса МОП, должны проводиться на основе изучения напряженности режима его работы. В частности, показателями напряженности работы могут рассматриваться характер и границы существования на поверхностях подшипника различных режимов смазки.

Целью работы является рассмотрение зависимости между величиной относительного

диаметрального зазора и характеристиками работы МОП на различных скоростях движения тепловоза: видом режима смазки, толщиной смазочного слоя, коэффициентом трения и интенсивностью изнашивания.

### Основной материал

Для МОП тепловозов с циркуляционной системой смазки величина диаметрального зазора  $\Delta$  установлена в пределах от 0,50 до 1,60 мм [3]. Увеличение значения эксплуатационного параметра  $\Delta$  при неизменных нагрузочно-скоростных характеристиках сопровождается нарастанием напряженности режима работы МОП, результатом чего является увеличение скорости изнашивания и сокращение его ресурса.

Общий характер этих изменений можно рассмотреть с помощью диаграммы Герси–Штрибека, устанавливающей зависимость  $f_{тр} = f(\lambda)$ , величины коэффициента трения  $f_{тр}$  от характеристики  $\lambda$  режима смазки подшипника скольжения

$$\lambda = \eta \cdot n / p, \quad (1)$$

где  $\eta$  – динамическая вязкость масла;

$n$  – частота вращения шейки подшипника;

$p$  – удельное давление.

Для построения указанной диаграммы нами по методикам [1, 2] с использованием данных об особенностях нагружения МОП [4] определены значения характеристики режима  $\lambda$  смазки, толщины  $h$  масляного слоя и коэффициента надежности режима. На основании указанных параметров для различных интервалов скорости движения тепловоза определялся характер напряженности существующего режима работы МОП. Расчеты проведены для трех различных величин диаметрального зазора:  $\Delta = 0,50$ ; 1,00 и 1,60 мм.



При проведении расчетов сделано допущение, что указанные величины не зависят от угла перекоса МОП, связанного с наличием диаметрального зазора и с деформацией оси колесной пары.

Минимальная теоретическая толщина масляного слоя в зазоре подшипника как функция величины диаметрального зазора

$$h_{\min} = 0,5\xi\Delta, \quad (2)$$

где  $\xi$  - относительная толщина слоя масла, определяемая числом Зоммерфельда;

$\Delta$  - диаметральный зазор.

Число Зоммерфельда

$$S_o = \frac{\eta\omega}{p\psi^2}, \quad (3)$$

где  $\omega$  - окружная скорость шейки оси;

$\psi$  - относительная величина диаметрального зазора в подшипнике.

Оценка того или иного режима трения проводилась на основании расчетного значения коэффициента  $\delta$  режима смазки [5]

$$\delta = \frac{h_{кр}}{(R_z^u + R_z^e)}, \quad (4)$$

где  $h_{кр}$  - критическое значение толщины смазочного слоя;

$R_z^u, R_z^e$  - параметры шероховатости поверхностей шейки оси и вкладыша.

В качестве критической принималась такая толщина масляного слоя, которая возникает при переходе подшипника от смешанного к граничному режиму работы. По данным [6] для приработанных рабочих поверхностей шейки оси и вкладышей МОП критическая величина смазочного слоя  $h_{кр} \approx 10$  мкм.

Величина  $\delta$  характеризует существующий на поверхностях подшипника вид режима трения: при  $\delta < 1$  действует граничный режим, при  $1 < \delta < 3$  - смешанный и при  $\delta > 3$  - гидродинамический режим трения [5].

Коэффициент надежности режима работы подшипника рассчитывается как отношение безразмерного числа  $S_o$  Зоммерфельда рабочей характеристики режима к критической толщине  $h_{кр}$  смазочного слоя.

Результаты расчетов параметров режима смазки как функции величины диаметрального зазора  $\Delta$  для МОП приведены в табл. 1.

Известно [1, 2, 5], что изменение частоты  $n$  вращения шипа подшипника скольжения со-

провождается изменением параметра  $\lambda$  его смазочного режима, что, в свою очередь, вызывает изменения толщины  $h_{\min}$  смазочного слоя. Те же закономерности, как следует из табл. 1, отмечаются и в работе МОП.

Из нее видно, что рост скорости движения локомотива сопровождается увеличением параметра  $\lambda$  режима работы МОП, толщины  $h_{\min}$  смазочного слоя, а также формированием того или иного режима смазки поверхностей трения. При номинальном диаметральном зазоре ( $\Delta = 0,50$  мм) возникновение наиболее благоприятного (жидкостного) режима возможно при скорости локомотива, превышающей 60 км/ч. В диапазоне меньших скоростей напряженность работы МОП возрастает, причем наиболее критические условия с точки зрения повреждаемости поверхности трения возникают при скоростях 0...30 км/ч, при которых на поверхностях МОП действует граничный режим смазки.

По данным табл. 1 построен график изменения минимального теоретического значения толщины смазочного слоя как функции скорости движения локомотива 2ТЭ116 при различной величине диаметрального зазора - рис. 1.

Изнашивание МОП в процессе эксплуатации сопровождается увеличением диаметрального зазора  $\Delta$ , что, как следует из табл. 1 и рис. 1, ведет к ужесточению режима его работы. Так, при увеличении диаметрального зазора с  $\Delta = 0,50$  мм до  $\Delta = 1,00$  мм границы существования граничного и смешанного трения распространяются до скорости 70 км/ч, а в случае предельного зазора  $\Delta = 1,60$  мм - до 80 км/ч. При этом продолжительность действия режима граничного и смешанного трения на рабочих поверхностях МОП соответственно составляет от 55 до 85 % от общего времени движения локомотива.

Одновременно с этим уменьшается область существования жидкостного трения. Например, при достижении предельного зазора  $\Delta = 1,6$  мм условия для жидкостного трения возникают только при скоростях, превышающих 80 км/ч. Подобные же выводы содержатся в работе Г. Г. Головинова [7].

Определение коэффициента  $f_{тр}$  сил внешнего трения на контактных поверхностях МОП проведено нами по методике [8, 9] с использованием материалов [4]

$$f_{тр} = \left( \frac{\tau_0}{HB} \right) + \beta + 0,52\sqrt{\Delta} \left( \frac{P_c}{HB} \right)^{0,25}, \quad (5)$$

где  $\tau_0$  - касательное напряжение от действия сил межмолекулярного взаимодействия;  
 $HV$  - твердость материала трения;  
 $\beta$  - коэффициент упрочнения адгезионной связи;

$\Delta$  - безразмерный комплекс, характеризующий геометрический профиль поверхностей трения;

$p_c$  - контурное давление.

Результаты расчета коэффициента  $f_{тр}$  трения на поверхностях МОП приведены в табл. 2.

Таблица 1

**Характеристика режима смазки МОП как функция скорости тепловоза 2ТЭ116 и величины диаметального зазора**

Скорость локомотива, км/ч	Характеристика режима $\lambda$	Параметры режима смазки в зависимости от величины диаметального зазора $\Delta$ в МОП								
		$\Delta = 0,50$ мм			$\Delta = 1,00$ мм			$\Delta = 1,60$ мм		
		$h_{min}$ , мкм	коэф. надежности	Режим смазки	$h_{min}$ , мкм	коэф. надежности	Режим смазки	$h_{min}$ , мкм	коэф. надежности	Режим смазки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0...10	85	4,5	менее 1,0	граничный	менее 5,0	менее 1,0	граничный	менее 10,0	менее 1,0	граничный
10...20	130	6,0								
20...30	174	7,7								
30...40	211	10,5	1,0	смешанный	5,0	1,1	смешанный	14,4	1,4	смешанный
40...50	288	12,5	1,2		8,5					
50...60	395	18,7	1,9		11,0					
60...70	905	35,0	3,5	жидкостный	21,0	2,1	жидкостный	19,2	1,9	жидкостный
70...80	1359	55,0	5,4		35,0	3,5		33,6	3,3	
80...90	2141	75,0	7,4		47,5	4,7		42,4	4,2	
90...100	3138	100,0	9,9		70,0	6,9				

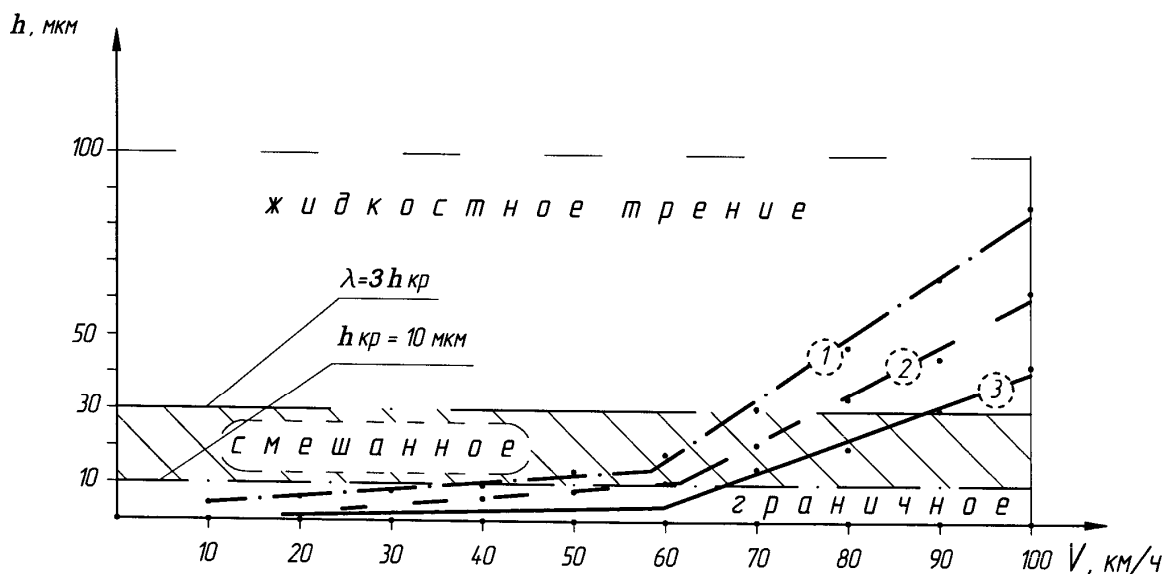


Рис. 1. График изменения толщины смазочного слоя на поверхностях трения МОП локомотива 2ТЭ116:  
 $\delta$  - коэффициент режима смазки;  $h_{кр}$  - критическая толщина смазочного слоя; 1 - диаметальный зазор  $\Delta = 0,50$  мм;  
 2 -  $\Delta = 1,00$  мм; 3 -  $\Delta = 1,60$  мм

**Расчет зависимости коэффициента трения  $f_{mp}$  от нагрузочно-скоростного режима МОП и диаметрального зазора**

Скорость движения, км/ч	Мощность от максимальной, %, [B-2]	Контурная площадь, $A_c$ , см <sup>2</sup>	Контурное давление, МПа	Коэффициент трения при диаметральном зазоре		
				$\Delta = 0,50$ мм	$\Delta = 1,00$ мм	$\Delta = 1,60$ мм
1	2	3	4	5	6	7
0...10	43	7,08	42,5	0,1081		
10...20	56	7,60	45,5	0,1089		
20...30	71	7,15	42,9	0,1082		
30...40	85	6,93	41,7	0,1077	0,1079	
40...50	87	6,22	37,4	0,0950	0,1067	
50...60	86	5,81	35,0	0,0523	0,1001	0,1059
60...70	84	5,07	30,7	0,0024	0,0432	0,0815
70...80	82	4,42	26,8	0,0030	0,0033	0,0521
80...90	80	*	*	0,0042	0,0039	0,0047
90...100	76	*	*	0,0055	0,0046	0,0052

На основании расчетных данных из табл. 1 и 2 в логарифмическом виде построена диаграмма Герси-Штрибека для пары трения МОП тепловоза 2ТЭ116Б (рис. 2). В целом характер полученной диаграммы отвечает характеру подобной зависимости для подшипников скольжения. Вместе с тем в отношении МОП эта диаграмма имеет ряд особенностей.

Известно, что наибольшие повреждения поверхностей любой пары трения связаны с работой в режимах смешанного и особенно граничного трения. Из диаграммы следует, что режим смешанного трения для кривой 1 существует в области  $A_1 - B_1$ .

Наименее напряженные условия работы на поверхностях трения МОП существуют при величине диаметрального зазора  $\Delta = 0,50$  мм – кривая 1. Наименьшее значение коэффициента трения  $f_{min}$  отмечается в точке  $B_1$  при значении характеристики режима  $\lambda_{крит} \approx 870$ . Участок кривой 1, лежащий правее точки  $B_1$ , отражает работу подшипника в условиях жидкостного трения. При переходе характеристики режима к значениям меньшим  $\lambda_{крит}$  (левее точки  $B_1$ ) на поверхностях складываются условия для смешанного трения, а при дальнейшем уменьшении параметра  $\lambda$  (слева от точки  $A_1$ ) действует область граничного трения.

По мере увеличения диаметрального зазора  $\Delta$  от 0,50 мм до 1,00 мм и далее к  $\Delta = 1,60$  мм кривая функции  $f_{mp} = f(\lambda)$  смещается относительно кривой 1 вправо и вверх, в область больших значений  $\lambda$  и  $f_{mp}$  – (кривые 2 и 3).

При этом область существования режима жидкостного трения (участок на кривых 2 и 3 правее точек  $B_2$  и  $B_3$ ) в МОП существенно уменьшается, в то же время как область действия граничного трения (участки левее точек  $A_2$  и  $A_3$ ) – расширяется. Увеличение продолжительности действия граничного трения на поверхностях МОП сопровождается увеличением более чем на 30% среднего значения коэффициента трения. Это означает, что условия работы подшипника становятся более напряженными.

Смещение характеристической точки  $B_i$  вправо в работе [10] трактуется как результат ступенчатого увеличения нагрузки на подшипник. Следовательно, аналогичную тенденцию в смещениях точки  $B_1$  к  $B_2$  и далее к  $B_3$  (рис. 2) можно рассматривать как признак дополнительной нагрузки на подшипник, обусловленный увеличением диаметрального зазора.

На участке скорости движения (0...30) км/ч, одновременно с увеличением скорости, локомотив плавно наращивает мощность, достигая к концу этого участка около 70% [11] от своей максимальной величины (табл. 2). Поэтому еще

одной особенностью построенной диаграммы является то, что на этом участке коэффициент трения характеризуется некоторой стабильной

величиной, близкой для всех трех кривых к  $f_{mp} = (0,1080-0,1090)$ .

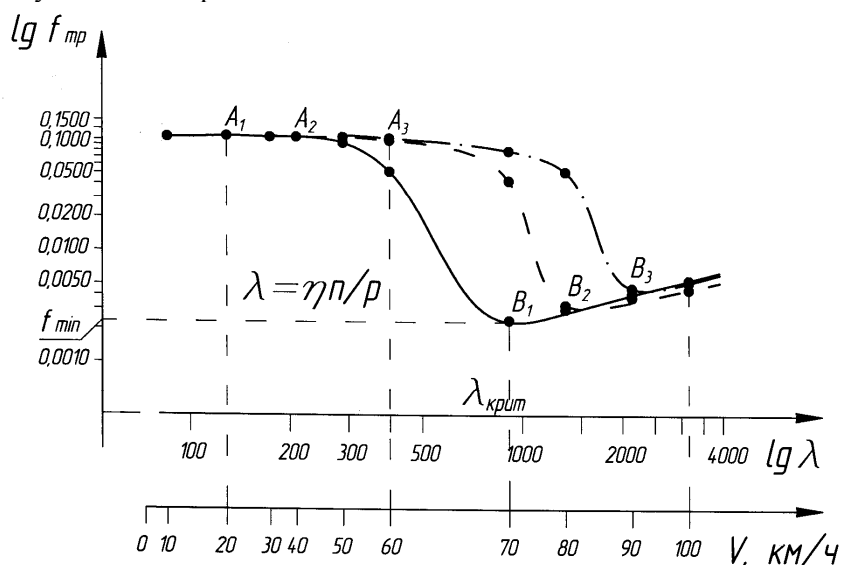


Рис. 2. Диаграмма Герси-Штрибека для пары трения МОП при различной величине диаметального зазора  $\Delta$  и скорости  $V$  движения локомотива 2ТЭ116:  
1 – диаметальный зазор  $\Delta = 0,50$  мм; 2 -  $\Delta = 1,00$  мм; 3 -  $\Delta = 1,60$  мм

Дальнейшее увеличение скорости локомотива способствует возникновению и прогрессированию на контактных площадках трения МОП гидродинамических явлений, благодаря чему граничный режим трения уступает место смешанному, а величина  $f_{mp}$  резко снижается (рис. 2). Причем, если при номинальном зазоре (кривая 1) минимум  $f_{mp}$  достигается при скорости 70 км/ч, то в зависимости от степени износа поверхностей МОП (кривые 2 и 3) достижение минимальных значений  $f_{mp}$  для этих кривых сдвигается до набора скоростей соответственно 80 и 90 км/ч. В целом эти изменения можно уподобить тем, которые произошли бы в МОП в случае ужесточения его нагрузочно-скоростного режима.

Таким образом, рост диаметального зазора приводит к увеличению длительности эксплуатации подшипника в режимах граничного и смешанного трения при одновременном сокращении продолжительности его работы в жидкостном режиме. В целом эти изменения способствуют переводу подшипника к работе в условиях более напряженной эксплуатации.

Количественную оценку степени напряженности режима эксплуатации МОП как функции величины его диаметального зазора можно получить, проведя расчеты скорости изнашивания и износа поверхностей трения. Эти расчеты проводились по методике [12].

Результаты расчета для наиболее нагруженного моторно-осевого подшипника тягового электродвигателя ЭД118А приведены в табл. 3. В соответствии с ними построены графики изменения относительной скорости изнашивания и износа в зависимости от скорости движения локомотива – рис. 3.

Под относительной величиной скорости изнашивания понимается отношение  $\gamma_i/\gamma_0$ , где  $\gamma_i$  – скорость изнашивания на  $i$  – м участке движения локомотива;  $\gamma_0$  – единица измерения скорости изнашивания.

За единицу измерения скорости изнашивания  $\gamma_0$  нами принята величина скорости изнашивания, которая свойственна условиям работы МОП при диаметральном зазоре  $\Delta = 0,50$  мм и движению тепловоза на скорости от 0 до 10 км/ч.

Износ  $U$  определялся как произведение относительной скорости изнашивания на продолжительность режима трения в определенном интервале скорости движения локомотива.

Суммарная площадь каждой гистограммы (рис. 3) представляет собой величину износа. Кривая 1-2-3 характеризует изменение скорости относительного изнашивания от величины диаметального зазора при скорости движения локомотива от 50 до 60 км/ч.

**Относительная скорость изнашивания и износ в сопряжении МОП  
на различной скорости тепловоза 2ТЭ116**

Скорость движения, км/ч	Коэффициент трения, $f_{тр}$			Относительная скорость изнашивания, $\gamma_i/\gamma_0$			Относительный износ, $U_i/U_0$		
	$\Delta = 0,50$ мм	$\Delta = 1,00$ мм	$\Delta = 1,60$ мм	$\Delta = 0,50$ мм	$\Delta = 1,00$ мм	$\Delta = 1,60$ мм	$\Delta = 0,50$ мм	$\Delta = 1,00$ мм	$\Delta = 1,60$ мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0...10	0,1081			1,00			1,00		
10...20	0,1089			2,18			2,05		
20...30	0,1082			3,05			3,27		
30...40	0,1077	0,1079		3,95	3,96		7,18	7,19	
40...50	0,0950	0,1067		3,90	4,38		8,02	9,01	
50...60	0,0523	0,1001	2,41	*	4,62	4,89	5,29	10,12	10,71
60...70	0,0024	0,0432	0,0815	*	2,04	3,85	*	4,61	8,70
70...80	0,0030	0,0033	0,0521	*	*	2,45	*	*	5,28
80...90	0,0042	0,0039	0,0047	*	*	*	*	*	*
90...100	0,0055	0,0046	0,0052	*	*	*	*	*	*
Суммарная величина относительного износа поверхностей трения МОП на участке пути локомотива длиной $L$							26,81 (100 %)	37,25/ (139 %)	47,21/ (176 %)

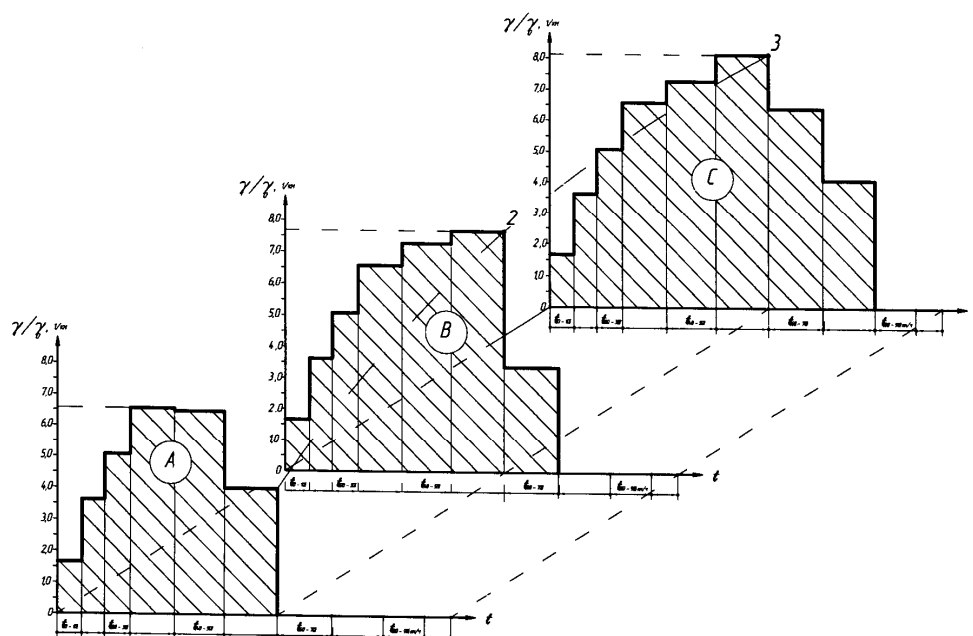


Рис. 3. Гистограммы относительного износа поверхностей трения МОП:  $\gamma_i/\gamma_0$  - относительная скорость изнашивания;  $t$  - время преодоления тепловозом участка пути длиной  $L$ ;  $t_{(20-30)}$  - интервал времени, на котором тепловоз движется с указанной скоростью (от 20 до 30 км/ч); А - величина диаметрального зазора  $\Delta = 0,50$  мм; В - то же при  $\Delta = 1,00$  мм; С - то же при  $\Delta = 1,60$  мм

Анализ данных табл. 3 и рис. 3 показывает, что продление режима действия граничного и смешанного трения в случае увеличения диаметрального зазора  $\Delta$  приводит к росту скорости изнашивания поверхностей подшипника. Если в качестве отправных величин рассматривать значения  $\gamma$  и  $U$ , свойственные значению характеристики  $\lambda$  режима работы МОП при скорости движения локомотива 10 км/ч, то можно отметить:

- с увеличением скорости движения в пределах действия граничного и смешанного режимов возрастают показатели  $\gamma$  и  $U$  повреждения поверхностей трения МОП;

- при номинальной величине диаметрального зазора во всем диапазоне рабочих скоростей локомотива показатель скорости изнашивания  $\gamma$  увеличивается относительно базового значения до 4 раз, а величина износа  $U$  - до 8 раз;

- естественный рост величины диаметрального зазора приводит к расширению диапазона скоростей движения, на которых действует режим граничного и смешанного трения, следствием чего является ускоренный, - до 75%, износ рабочих поверхностей МОП;

- максимальные темпы износных повреждений рабочих поверхностей МОП наблюдаются при нагрузках, действующих в подшипниках в диапазоне скоростей движения локомотива 40...70 км/ч.

### Выводы

1. Основная масса износных повреждений рабочих поверхностей МОП наблюдается на участках реализации граничного и смешанного трения. Границы действия этих участков при одинаковых нагрузочно-скоростных параметрах МОП зависят от величины диаметрального зазора.

2. При прочих равных условиях увеличение диаметрального зазора приводит к значительному ухудшению условий образования эффективного смазочного слоя и создает, тем самым, предпосылки для перевода подшипника в режим более напряженной эксплуатации.

3. Расширение области действия граничного и смешанного трения сопровождается возрастанием доли металлического контакта сопрягаемых поверхностей, что приводит к росту средних величин коэффициента трения, а также влечет за собой увеличение скорости износных

повреждений рабочих поверхностей МОП и ускоренную выработку его ресурса.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орлов, П. И. Основы конструирования [Текст] : В 3-х кн. – Кн. 2. / П. И. Орлов. – М. : Машиностроение, 1977. – 574 с.
2. Расчет опорных подшипников скольжения [Текст] / Е. И. Квитницкий [и др.]. – М. : Машиностроение, 1979. – 70 с.
3. Тепловоз 2ТЭ116. Моторно-осевые подшипники тяговых электродвигателей с циркуляционной системой смазки. Инструкция по эксплуатации и обслуживанию. 2ТЭ116.30.58.009Д162 [Текст].
4. Астахов, В. Н. Особенности нагружения поверхностей трения в моторно-осевых подшипниках локомотивов [Текст] / В. Н. Астахов, Е. Н. Лысиков, П. Е. Коновалов // 36. наук. пр. Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Х., 2011. – Вип. 125. – С. 18-24.
5. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) [Текст] / А. В. Чичинадзе [и др.]; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
6. Азаренко, В. А. Повышение надежности моторно-осевых подшипников скольжения магистральных локомотивов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. А. Азаренко. – М., 1984.
7. Головінов, Г. Г. Тертя і мащення тягових приводів локомотивів [Текст] : монографія / Г. Г. Головінов. – Луганськ : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 1996. – 116 с.
8. Комбалов, В. С. Оценка триботехнических свойств контактирующих поверхностей [Текст] / В. С. Комбалов. – М. : Наука, 1983. – 136 с.
9. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ [Текст] / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М. : Машиностроение, 1977. – 526 с.
10. Конвисаров, Д. В. Трение и износ металлов [Текст] / Д. В. Конвисаров. – Свердловск: Свердлов. отделение Машгиза, 1947. – 184 с.
11. Волков, Н. Н. Подшипники качения колесных пар вагонов и локомотивов [Текст] / Н. Н. Волков, Н. В. Родзевич. – М. : Машиностроение, 1972. – 168 с.
12. Трение, изнашивание и смазка [Текст] : справочник / под ред. И. В. Крагельского, В. В. Алисина. – В 2-х кн. – Кн. 1. – М. : Машиностроение, 1978. – 400 с.

Поступила в редколлегия 21.11.2011.

Принята к печати 23.11.2011.

В. М. АСТАХОВ, Є. М. ЛИСІКОВ, П. Є. КОНОВАЛОВ

## **ОЦІНКА РЕЖИМІВ ТЕРТЯ ТА ЗМАЩЕННЯ В ПІДШИПНИКАХ ОСЬОВОГО ПОДВІШУВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ**

Розглянуто залежність між величиною відносного діаметрального зазору та характеристиками роботи моторно-осьових підшипників на різних швидкостях руху тепловоза: видом режиму змащування, товщиною змащувального шару, коефіцієнтом тертя та інтенсивністю зношування.

*Ключові слова:* тертя, змащування, зношування, моторно-осьовий підшипник, тепловоз

V. N. ASTAKHOV, E. N. LYSIKOV, P. E. KONOVALOV

## **ESTIMATION OF MODES FRICTIONS AND GREASING IN BEARING AXIAL HANGING OF LOCOMOTIVES**

Dependence is considered between the size of relative diametral gap and descriptions of work of the motor-axial bearing on the different rates of movement of diesel engine: by the type of the mode of greasing, thickness lubricating layer, by the coefficient of friction and intensity of wear.

*Keywords:* friction, greasing, wear, motor-axial bearing, diesel engine

## СТРАТЕГІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ЛОКОМОТИВІВ

Розглянуто основні стратегії експлуатації, технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів, та переваги від впровадження стратегії обслуговування і ремонту локомотивів за станом.

*Ключові слова:* локомотив, експлуатація, технічне обслуговування, ремонт

Важливе значення в методологічному плані має питання про терміни, що використовуються при вирішенні задач з обслуговування та ремонту локомотивів. У виконаних дослідженнях та спеціальній літературі з експлуатації складних технічних об'єктів [1, 2, 3] останнім часом все частіше став застосовуватися термін стратегія – сукупність правил і керуючих впливів, об'єднаних загальною метою при вирішенні задач великої проблеми. Стратегія повинна відображати, насамперед, ідеологічну спрямованість дій і прийняту при цьому концепцію.

Виходячи з цього, стосовно до поняття технічного обслуговування і ремонту локомотивів, термін стратегія в самому загальному розумінні може бути визначений наступним чином. Стратегія – сукупність прийнятих принципів, правил і керуючих впливів, що визначають комплексно розвиток експлуатаційних властивостей конструкції локомотивів, методів технічного обслуговування і ремонту. Дане визначення стратегії спрямовує на необхідність системного підходу до вирішення проблеми підвищення ефективності технічного обслуговування і ремонту, націлює на спільні погоджені дії в рамках єдиної програми всіх установ і підприємств, що створюють, експлуатують і ремонтують локомотиви.

Відповідно до *ГОСТ 242-12-80* стратегія технічного обслуговування (ремонту) являє собою систему правил управління технічним станом транспортного засобу в процесі технічного обслуговування (ремонту). Стандартизовано наступні стратегії:

- технічного обслуговування за наробітком, при якій перелік і періодичність виконання операцій визначаються значенням наробітку транспортного засобу з початку експлуатації або після капітального ремонту;

- технічного обслуговування за станом, при якій перелік і періодичність виконання операцій визначається технічним станом транспортного засобу в момент початку технічного обслуговування;

- ремонту за наробітком, при якому обсяг розбирання транспортного засобу та дефектація його складових частин, призначається єдиним для парку однотипних транспортних засобів у залежності від наробітку з початку експлуатації або після капітального ремонту, а перелік операцій відновлення визначається з урахуванням результатів дефектації складових частин транспортного засобу;

- ремонту за технічним станом, при якому перелік операцій, у тому числі розбирання, визначаються за результатами діагностування транспортного засобу в момент початку ремонту, а також за даними про надійність цього транспортного засобу та однотипних транспортних засобів.

Як основну ознаку, що характеризує стратегію технічного обслуговування і ремонту технічного об'єкта, доцільно застосовувати характер інформації про надійність і технічний стан, що використовується при призначенні періодичності та обсягів регламентних робіт. Цю інформацію можна розділити: *за часом отримання і використання* – на апіорну (отриману до дослідів) і апостеріорну – (отриману при проведенні дослідів) *по джерелах отримання* – на інформацію про сукупність об'єктів і про окремий об'єкт. При цьому під дослідом розуміється серійна експлуатація об'єкта. Об'єднання всіх видів інформації дадуть нам чотири стратегії технічного обслуговування і ремонту (табл. 1).

Стратегія технічного обслуговування та ремонту за станом (стратегія за станом) суттєво відрізняється від стратегії обслуговування та ремонту за наробітком (стратегії за наробітком). Вони відрізняються не тільки в самому характері технологічних процесів технічного обслуговування і ремонту, але й у розподілі ресурсів, необхідних на розвиток виробничо-технічної бази, що відповідає вимогам тієї чи іншої стратегії. Стратегія за станом передбачає забезпечення високого рівня експлуатаційно-ремонтної технологічності локомотива, створення в достатніх обсягах ефективних засобів



діагностування, неруйнівного контролю, розвиток виробничо-технічної та експериментальної бази, експлуатаційних і ремонтних підприємств локомотивів. Стратегія ж за наробітком передбачає розвиток експериментальної бази підприємств промисловості і забезпечення на цій основі обґрунтованих ресурсів для виконання ремонту кожної серії локомотивів. Іншими словами, стратегія за станом спрямована на удосконалення експлуатаційних властивостей локомотивів та на розвиток ремонтної бази. Від своєчасного вибору відповідної стратегії у значній мірі залежать своєчасність і правильність вибору необхідної технічної політики розвитку локомотивобудування на багато років.

Таблиця 1

**Класифікація інформації для отримання відповідної стратегії технічного обслуговування та ремонту локомотивів**

Характер інформації	Інформація	
	Априорна	Апостеріорна
Сукупність локомотивів	За наробітком	За станом з контролем рівня надійності
Окремий локомотив	За наробітком, що встановлений для окремого локомотива	За станом з контролем параметрів

Основним принципом стратегії обслуговування і ремонту за станом можна вважати принцип дотримання строгої плановості при проведенні форм технічного обслуговування і ремонту. Однак запланованими тут є лише частина стандартних регламентованих операцій за наробітком, роботи з технічного діагностування і контролю складових локомотива і сама періодичність їхнього виконання. Регульовальні, демонтажно-монтажні, відбудовні роботи на локомотивах виконуються тільки за результатами діагностування та контролю. Інший важливий принцип обслуговування за станом – своєчасне попередження відмов функціональних систем і їх найбільш важливих вузлів за умови забезпечення максимально можливого їх наробітку до заміни. Попереджувальний характер тут забезпечується шляхом організації постійного спостереження при експлуатації за рівнем надійності, а в ряді випадків і технічним станом функціональних систем і окремих вузлів для своєчасного виявлення передвідмовного стану останніх з наступною заміною вузлів локомотивів або регулюванням їхніх параметрів.

Наступний не менш важливий принцип – забезпечення економичності технічної експлуатації шляхом застосування оптимальних стратегій обслуговування і ремонту локомотивів, що знаходяться в експлуатації. Висока економічна ефективність досягається за рахунок найбільш повного використання працездатності кожного конкретного вузла або деталі.

Задачі використання індивідуальних можливостей вузлів локомотивів у відношенні їхньої працездатності при експлуатації вирішуються конструкторськими організаціями на етапах створення локомотивів і розробки програми їх технічного обслуговування і ремонту. В залежності від наявних можливостей визначення граничного стану працездатності складових локомотива у процесі експлуатації і від прийнятого критерію для встановлення термінів їхніх замін на локомотивах розрізняють стратегії експлуатації (використання) до вичерпання ресурсу (термін служби), до відмови та до передвідмовного стану.

Стратегія обслуговування і ремонту, природно пов'язані зі стратегіями експлуатації (використання) локомотивів (табл. 2), для кожної із яких можна вибрати цілком визначені, які відрізняються найбільшою ефективністю, стратегії технічного обслуговування і стратегії ремонту (позначені знаком «+»). Із табл. 2 випливає, що для стратегії експлуатації локомотивів до вичерпання ресурсу (термін служби) найбільш ефективною є стратегія технічного обслуговування за наробітком. Під час виконання ремонту локомотивів можливі стратегії за наробітком і за технічним станом, але це залежать від типу локомотива і рівня його контролепридатності під час ремонту.

Якщо ж для транспортного засобу прийнята стратегія експлуатації до передвідмовного стану, то необхідною і обов'язковою умовою її здійснення на практиці є прийняття стратегії обслуговування даного типу локомотива за станом з контролем параметрів і стратегії ремонту за технічним станом. Якщо ж навпаки, то локомотиви обслуговуються за контролем параметрів і найбільш ефективною стратегією експлуатації (використання) таких локомотивів стане стратегія до передвідмовного стану.

Відповідно для локомотивів, які експлуатуються за стратегією до відмови, найбільш ефективними є при обслуговуванні стратегія за станом з контролем рівня надійності, а при ремонті так само, як і для ресурсних вузлів, стратегія за наробітком і технічним станом звідси і випливає, що окремі вузли, встановлені на сучасних локомотивах, можна експлуатувати, обслу-

говувати і ремонтувати, як правило, тільки по одній із зазначених стратегій.

Для функціональних систем і локомотива в цілому найбільш ймовірне застосування всіх зазначених у табл. 2 стратегій або так названої «змішаної» стратегії.

Таблиця 2

**Стратегії технічного обслуговування та ремонту**

Стратегія технічного обслуговування та ремонту	Стратегія експлуатації (використання)		
	До відпрацювання ресурсу (терміну служби)	До передвільного стану	До відмови
Технічне обслуговування	+	-	-
За наробітком	-	+	-
За станом з контролем параметрів	-	-	+
За станом з контролем рівня надійності			
Ремонт	+	-	+
За наробітком	+	+	+
За технічним станом			

Перехід на обслуговування і ремонт локомотивів за станом вимагає вирішення ряду питань методологічного плану. Насамперед повинні бути знайдені і відповідним чином узаконені правильні співвідношення між такими поняттями, як експлуатація, технічне обслуговування і ремонт.

Викладений підхід, на наш погляд, найбільш правильно відображає сам механізм процесу експлуатації локомотивів, а отже, і співвідношення між цими поняттями. Ремонт і технічне обслуговування доцільно розглядати як складові частини більш широкого поняття, такого як технічна експлуатація. Важливе значення для переходу на обслуговування і ремонт за станом мають питання правильного трактування термінів стратегії про установлення взаємозв'язку між стратегіями експлуатації (використання) технічного обслуговування і ремонту рухомого

складу. Як показав проведений аналіз, з цих питань немає ще єдності поглядів. Запропонований методологічний підхід до рішення цих питань не претендує на повноту і завершеність. Однак він може бути використаний фахівцями для подальшої активної роботи в даному напрямку.

Застосування програм обслуговування і ремонту за станом засновано на забезпеченні високого рівня надійності та експлуатаційної технологічності транспортних засобів, глибокому знанні характеристик надійності функціональних систем і їхніх складових у процесі експлуатації, чіткої організації інформаційного забезпечення, широкому використанні бортових і стаціонарних засобів і методів контролю технічного стану.

Проведені розрахунки [5] і закордонна практика показують, що впровадження стратегії обслуговування і ремонту техніки за станом дозволяє скоротити витрати на технічну експлуатацію до 30 %.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Саркисян, С. А. Большие технические системы. Анализ и прогноз развития [Текст] / С. А. Саркисян, В. М. Ахундов, Э. С. Миняев. – М.: Наука, 1977. – 350 с.
2. Босов, А. А. Теоретические основы и методика расчета плановых восстановлений локомотивов и вагонов [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук / А. А. Босов. – Л., 1986. – 283 с.
3. Володин, А. И. Научные основы и пути повышения качества технического обслуживания и ремонта тепловозов [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / А. И. Володин. – Омск: Омский ин-т ж/д трансп., 1990. – 40 с.
4. Капіца, М. І. Розвиток наукових основ удосконалення систем утримання тягового рухомого складу [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / М. І. Капіца. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – 40 с.
5. Федорец, В. А. Определение рациональных параметров систем тепловозов методом узловых точек [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / В. А. Федорец. – Д.: Днепропетр. ин-т инж. ж/д трансп., 1991. – 50 с.

Надійшла до редколегії 17.11.2011.

Прийнята до друку 23.11.2011.

М. И. КАПИЦА, Р. А. КОРЕНЮК, (ДИИТ)

## **СТРАТЕГИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЛОКОМОТИВОВ**

Рассмотрены основные стратегии эксплуатации, технического обслуживания и ремонта транспортных средств, а также преимущества от внедрения стратегии обслуживания и ремонта локомотивов по состоянию.

*Ключевые слова:* локомотив, эксплуатация, техническое обслуживание, ремонт

М. I. KAPITSA, R. O. KORENJUK

## **STRATEGIES FOR THE OPERATION, MAINTENANCE AND LOCOMOTIVE REPAIR**

The basic strategy of operation, maintenance and repair of transportation facilities, as well as the benefits from implementing the strategy of maintenance and repair of locomotives according to their conditions are considered.

*Keywords:* locomotive, operation, maintenance, repair

## МЕТОДИКА РОЗПОДІЛЕННЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ НА ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ДІЛЯНКАХ

В порівнянні з перевезеннями вантажів по тарифній відстані, в деяких випадках економічно обґрунтовано, вигідніше направляти поїзда по паралельних напрямках, що мають більш простий профіль але довші за тарифні. З введенням в дію оптового ринку електроенергії для залізниці економічно вигідніше виконувати вантажні перевезення у нічний час, що забезпечить нижчу собівартість перевезень, дозволить уважніше обробляти состави поїздів в світлий час доби, поліпшить охорону праці під час виконання технологічних операцій на технічних станціях.

*Ключові слова:* перевезення, тягові розрахунки, режими роботи локомотивів, оптовий ринок електроенергії

Економіко-математичне моделювання перевезень вантажів є головним складовим важелем вдосконалення експлуатаційної роботи і засновано на якісному інформаційному забезпеченні її управління на базі автоматизації перевізного процесу. Моделювання управління вантажними перевезеннями базується на розцінці всіх ділянок залізниці за показниками різних складових собівартості, що дає можливість в автоматичному режимі отримувати інформацію про витрати і доходи як на окремих напрямках, так і на всій ділянці перевезення вантажопотоків.

Ефективність вживання методом вдосконалення експлуатаційної роботи, які зв'язані, в першу чергу, із забезпеченням високого рівня транспортних послуг, з оцінкою економічних важелів регулювання процесом перевезень, з рівнем зміни якісних показників використання рухомого складу під впливом вживання новітньої технології і передових методів оцінюється за допомогою укрупнених економічних показників і методик їх використання.

Основним завданням залізничного транспорту є задоволення зростаючих потреб національної економіки і населення в перевезеннях, підвищення їх якості та зменшення вартості транспортної складової у ціні продукції [1].

За умов зростання обсягів перевізної роботи при гострому дефіциті рухомого складу питання удосконалення технології роботи залізниці все більше набувають актуальності і від досконалої роботи їхніх напрямків залежить кінцевий результат [2].

Вже на цей час на окремих залізничних напрямках української мережі, особливо до чорноморських морських портів, відчувається дефіцит пропускної спроможності, який можливо ліквідувати за рахунок підвищення технічного оснащення, удосконалення технології пропуску

вагонопотоків по них та розподілу вагонопотоків по паралельних ходах.

Для забезпечення високої якості обґрунтування різних варіантів удосконалення експлуатаційної роботи залізниці розроблена методика аналізу і розрахунку собівартості перевезень з урахуванням тих змін, які відбулися в останнє десятиріччя в економіці України.

Необхідність посилення пропускної спроможності дільниці «Знам'янка–Помічна–Колосівка–Одеса» та «Знам'янка–Долинська–Миколаїв–Херсон–Вадим–Джанкой» визначена [3].

Методи тягових розрахунків включають комплекс способів визначення маси состава, швидкості руху і часу ходу по перегонам, витрати палива, електроенергії на тягу, вирішення тормозних задач. До основних нормативів для тягових розрахунків відносяться: дані про визначення опору руху рухомого складу, сили натиску тормозних колодок, коефіцієнт щеплення коліс локомотивів і вагонів з рейками при тязі і гальмуванні, конструктивні і допустимі швидкості руху, розрахункові значення сили тяги і швидкості локомотивів на підйомі, сили тяги при торганні поїзда з місця, допустимі швидкості руху, розрахункові значення сили тяги і швидкості локомотивів на підйомі, допустимі значення поздовжніх зусиль при різних режимах тяги і гальмування, які обмежують струми і граничні температури електричних машин електровозів і тепловозів. Ці норми залежать від типів рухомого складу, їх конструкції та умов експлуатації [4, 5].

Дослідженнями завантаження і режимів роботи локомотивів у різні періоди року було встановлено, що на ділянках, де систематично спостерігаються особливо несприятливі погодні умови, раніше встановлені ваги поїздів часто не можуть бути реалізовані локомотивами без

зниження надійності їх роботи, що впливає на стійкість руху поїздів на цілий напрямок.

В тягових розрахунках використовують сукупність методів для розрахунку сил діючих на поїзд, способів вирішення рівняння руху поїздів в конкретних умовах і вирішення узагальнених, прийнятих за розрахункові, нормативів фактичних даних про характеристики різних видів рухомого складу. На цих напрямках були виконані програмою «Railway» розрахунки за умови ведення поїздів вагою 6000, 7000, 8000 та 9000 т

Результати, одержані із застосуванням прийнятої в Укрзалізниці методики і програмних засобів за розрахунком нормативних графіків ведення вантажних поїздів показують, що умови ОРЕ припускають необхідність застосування режимних карт по раціональному управлінню тягою поїзда.

Це найбільш актуально за умови постійного зростання вартості електроенергії на тягу поїздів.

В роботі проаналізовано зростання тарифів за період 2004–2010 рік з прогнозом на 2011 рік.

Виконані дослідження, які спрямовані на вирішення проблеми зменшення вартості електроенергії на тягу поїздів, спожитої в умовах застосування змінних тарифів, насамперед для умов оптового ринку електроенергії.

Як показали розрахунки, враховуючи змінні за періодами доби тарифи на електричну енергію, одержані раніше рекомендації для вибору оптимальних відносно витрат енергії режимів ведення поїзда виявляються обмеженими. Розроблені більш загальні методи розрахунків режимів управління рухом поїздів, які враховують як змінність за періодами доби тарифів, так і відмінність у ціні активної і реактивної складових енергії.

Необхідно створити програмні засоби, які дадуть можливість виконати аналіз вигідності закупівлі залізницею електроенергії на основі

змінних тарифів, якщо відомий графік руху поїздів по напрямках, а також розрахувати оптимальні по критерію мінімуму вартості режимні карти управління тягою поїздів.

Методика визначення собівартості вантажних перевезень є вихідною базою подальших розрахунків показників ефективності. Її автоматизація дає можливість оперативно оцінювати результати використання методів експлуатаційної роботи з метою підвищення ефективності всього перевізного процесу.

Для формування моделі процесу управління вантажними перевезеннями необхідно встановити економіко-математичні складові, що враховують особливості експлуатаційної діяльності. Процес моделювання пропуску вантажопотоків на мережі залізниць включає виконання операцій на пунктах переходу та підходах до них і проходить в реальному масштабі часу з урахуванням особливостей технології роботи залізничних напрямків та стикових станцій.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Статут залізниць України [Текст].
2. Кірпа, Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему : монографія [Текст] / Г. М. Кірпа. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 267 с.
3. «Про схвалення Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року» [Текст] Постанова Кабінету Міністрів України № 1555-р від 16 грудня 2009 року.
4. Правила тягових расчетов [Текст].
5. Яновський, П. О. Дослідження впливу факторів на час перебування поїздів на дільницях [Текст] / П. О. Яновський // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 3. – С. 25–29.

Надійшла до редколегії 09.11.2011.

Прийнята до друку 12.11.2011.

Н. А. ЛОГВИНОВА

## МЕТОДИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК ПО ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ХОДАМ НА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ УЧАСТКАХ

По сравнению с перевозкой грузов по тарифному расстоянию, в некоторых случаях экономически обосновано, выгоднее направлять поезда по параллельным направлениям, которые имеют более простой профиль, но длиннее тарифных. С вводом в действие оптового рынка электроэнергии для железной дороги экономически выгоднее выполнять грузовые перевозки в ночное время, что обеспечит снижение себестоимости

*Ключевые слова:* перевозки, тяговые расчеты, режимы работы локомотивов, оптовый рынок электроэнергии.

N. O. LOGVINOVA

## **METHOD OF DISTRIBUTING OF FREIGHT TRANSPORTATIONS ON PARALEL'NYM TO MOTIONS ON THE ELECTRIFIED AREAS**

As compared to transportation of loads on tariff distance, it is economic grounded on occasion, it is advantageous to send trains on parallel directions which have more simple type, but longer tariff. With the starting-up of wholesale market of electric power for a railway it is economic advantageous to execute freight transportations in a night-time, that will provide the decline of prime price

Keywords: transportations, hauling calculations, the modes are robots of locomotives, wholesale market of electric power.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ПАРКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕКУЩЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

Разработана технология эксплуатации парков электродвигателей железнодорожных стрелочных переводов с использованием нечетко-статистических экспертных систем. Технология включает мониторинг и диагностику текущего технического состояния двигателей без исключения из привода, позволяет определить очередность ремонтов двигателей.

*Ключевые слова:* парк электродвигателей, мониторинг, диагностирование, нечетко-статистические экспертные системы, эксплуатация по текущему состоянию

### **Введение**

Одним из основных требований к железнодорожным перевозкам является обеспечение их безопасности. При этом ответственными системами являются стрелочные переводы с электродвигателями (ЭД) постоянного тока, которых в Укрзализныце (УЗ) имеется свыше 30 тыс., из них на Приднепровской железной дороге – 8 тыс. В связи с этим задача обеспечения работоспособности, а также сокращения расходов на эксплуатацию и ремонт парков ЭД, является актуальной.

Электродвигатели постоянного тока широко используются в промышленности и на железнодорожном транспорте, где в настоящее время обслуживание и ремонт ЭД стрелочных переводов выполняется по планово-предупредительному методу. При этом предполагается исключение ЭД из эксплуатации, что требует значительных материальных и временных ресурсов. Ремонт и замена стрелочных приводов происходит согласно принятым в УЗ нормативам, что часто ведет к преждевременному капитальному ремонту двигателя с неиспользованным ресурсом. Для парков ЭД важной и все более актуальной задачей является переход к обслуживанию ЭД с учетом текущего технического состояния [1]. Для автоматизированного решения этой задачи необходимо разработать эффективную технологию, соответствующие модели и методы, а также создать программно-технические средства для эксплуатации парков ЭД, которые обеспечивают своевременную оценку фактического состояния двигателей, а в случае исчерпания технических ресурсов указывают на необходимость их замены, или же позволяют определить очередность ремонтов

ЭД в условиях ограниченных временных и других ресурсов [2].

Своевременная диагностика двигателей позволяет значительно сократить расходы на их эксплуатацию и ремонт. Выявление в условиях эксплуатации неисправности задолго до полного отказа ЭД дает возможность повысить безопасность и снизить издержки, вызванные простоем и обслуживанием соответствующих приводов. В статье разработан метод и информационная технология автоматизированного мониторинга и диагностирования парка ЭД железнодорожных стрелочных приводов без их исключения из эксплуатации. Технология основана на формировании средствами интеллектуальных систем индивидуальных моделей процессов эксплуатации ЭД стрелочных переводов. Она позволяет выявлять больше неисправностей, чем применяемые в УЗ методы диагностирования, а также дает возможность определять скрытые неисправности двигателя задолго до его отказа.

Разработка современных методов и средств, обеспечивающих возможность эксплуатации парков ЭД на основе параметров их текущего состояния, является актуальной для железных дорог Украины.

### **Многоуровневая система моделей для управления эксплуатацией парка электро- двигателей стрелочных переводов на основе параметров текущего состояния**

Общая схема разработанной автоматизированной системы управления эксплуатацией (АСУЭ) парка электродвигателей (ПЭД) представлена на рис. 1. Здесь показано, что кабели, питающие стрелочные двигатели, сводятся в релейную, где происходит снятие кривой тока

электродвигателей, что позволяет реализовать постоянный контроль технического состояния всех стрелочных электродвигателей на станции без исключения ЭД из процесса эксплуатации.

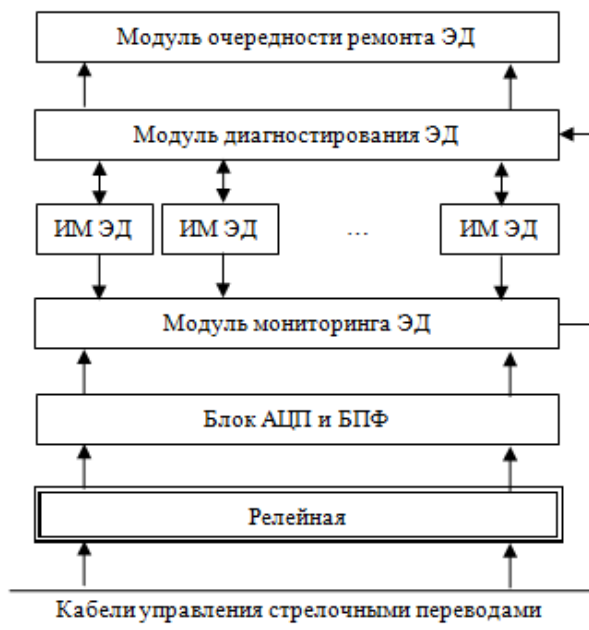


Рис. 1. Многоуровневая система управления эксплуатацией парка электродвигателей стрелочных переводов

Автоматизированная технология диагностики и управления парком ЭД основана на анализе частотного спектра рабочего тока двигателя. Дискретизация тока электродвигателя реализуется в блоке аналого-цифрового преобразователя (АЦП), получение спектральных характеристик тока ЭД реализовано с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ). Входными данными модуля мониторинга электродвигателей является частотный спектр тока ЭД, рассчитанный в блоке БПФ. Для каждого электродвигателя формируется индивидуальная модель (ИМ), которая хранит спектральные характеристики исправного состояния двигателя. Модуль мониторинга сравнивает спектр, полученный из блока БПФ, со спектром исправного состояния, прочитанного из соответствующей ИМ ЭД. При обнаружении существенных различий в этих спектрах модуль мониторинга передает спектральные характеристики анализируемого ЭД в модуль диагностирования. На выходе модуля диагностирования получаем оценки достоверностей выявляемых неисправностей электродвигателя. Эти оценки сохраняются в ИМ ЭД, формируя временной ряд, который используется для прогнозирования технического состояния электродвигателя. Текущее и спрогнозированное техническое состояние каждого ЭД

из модуля диагностирования передается в модуль очередности ремонта электродвигателей, который рассчитывает рекомендации о порядке ремонта ЭД.

Разработанная АСУЭ ПЭД производит измерения характеристик двигателя, находящегося под воздействием номинальных, рабочих значений напряжения, тока, магнитного поля и центробежных сил. Это позволяет выявлять больше неисправностей, чем при использовании статических методов диагностики, и делает возможным замену электродвигателя до его полного выхода из строя. Разработанные модели диагностирования могут автоматически настраиваться для выявления новых видов неисправностей на основе анализа тока двигателей с эталонными неисправностями. Применение системы не требует высококвалифицированного инженера электромеханика как для настройки, так и для эксплуатации.

### Получение частотного спектра рабочего тока электродвигателя

Для получения спектра рабочий ток двигателя был дискретизирован. Разрядность выборки составляла 16 бит, а частота дискретизации —  $f_d = 11025$  Гц. Для последующей обработки полученная последовательность дискретных значений записывалась в wav-файлы, соответствующие стандарту файлов uncompressed Microsoft PCM audio. Согласно теореме Найквиста-Котельникова максимальная частота спектра  $f_{\max}$  после дискретизации аналогового сигнала составила  $f_{\max} = 0,5 \cdot f_d = 5512,5$  Гц, что достаточно для отражения физических процессов в двигателе.

При получении частотного спектра тока двигателя размер блока БПФ  $F_s$  был выбран равным  $F_s = 512$ . Следовательно, ток двигателя был представлен  $N_h = 0,5 \cdot F_s = 256$  гармониками преобразования Фурье. Частотное разрешение гармоник спектра при этом составило  $\Delta f = \frac{f_{\max}}{N_h} \approx 21,5$  Гц. Каждая гармоника в полученном множестве гармоник  $\{f_i\}$  имела частоту, равную

$$f_i = \Delta f * i \text{ Гц}, i = \overline{1, N_h}, \quad (1)$$

и была представлена парой коэффициентов  $(\text{Re}_i, \text{Im}_i)$ ,  $i = \overline{1, N_h}$ .



Для каждой гармоники преобразования Фурье вычислялась интенсивность частоты  $I_i$ :

$$I_i = \sqrt{\operatorname{Re}_i^2 + \operatorname{Im}_i^2}, \quad i = \overline{1, N_h}. \quad (2)$$

Полученные значения интенсивностей гармоник преобразования Фурье рабочего тока ЭД использовались моделями интеллектуальных систем (ИС) для выявления неисправностей в двигателях железнодорожных стрелочных приводов.

### Планирование очередности ремонтов электродвигателей железнодорожных стрелочных переводов на основе индивидуальных моделей

При управлении парком решается одна из основных подзадач эксплуатации ЭД железнодорожных стрелочных переводов – определение очередности ремонтов тех электродвигателей, при диагностике которых установлены различные скрытые типы неисправностей. Задача установления очередности ремонтов возникает при ограниченности ресурсов, к которым отнесены время ремонта, персонал, запасные части, денежные средства и др.

В работе для определения очередности ремонта ЭД предложен показатель и соответствующий критерий, который получил название «стоимость отказа электродвигателя». Оценка стоимости отказа электродвигателя  $C$  определяется в следующем виде

$$C = f(R, F, Z), \quad (3)$$

где  $R$  – стоимость ремонта электродвигателя;  
 $F$  – прогнозируемая стоимость ремонта электродвигателя;  
 $Z$  – издержки, вызванные задержкой поездов в случае отказа электродвигателя и прекращения работы стрелочного перевода.

В простейшем случае оценка стоимости отказа ЭД железнодорожного стрелочного перевода представима, как

$$C = Z + \frac{1}{2}(R + F). \quad (4)$$

Когда в качестве  $d_i$  используется значение вероятности неисправности некоторого вида, которые считаются независимыми, то оценка ожидаемой стоимости ремонта электродвигателя  $R$  представима следующим образом:

$$R = \sum_{i=1}^N d_i c_i, \quad (5)$$

где  $d_i$  – достоверность  $i$ -ой неисправности,  $d_i \in [0; 1]$ ;

$c_i$  – стоимость ремонта  $i$ -ой неисправности;

$N$  – число неисправностей, выявляемых системой диагностики электродвигателей.

В разработанной информационной технологии автоматизированной эксплуатации парка ЭД значение достоверности  $i$ -ой неисправности  $d_i$  вычисляется системой диагностики электродвигателей по текущему состоянию ЭД. В частности, если для выявления неисправностей в электродвигателях используются искусственные нейронные сети [4], то значение достоверности  $i$ -ой неисправности  $d_i$  определяется значением нейрона выходного слоя многослойного персептрона. Для выявления неисправностей в электродвигателях также может быть использована экспертная система классификации объектов по частотному спектру на основе адаптивной базы нечетко-статистических правил [3, 5].

Прогнозируемая стоимость ремонта электродвигателя  $F$  вычисляется как

$$F = \sum_{i=1}^N d_i^F c_i, \quad (6)$$

где  $d_i^F$  – прогнозируемое значение достоверности  $i$ -ой неисправности,  $d_i^F \in [0; 1]$ .

Методика автоматизированной эксплуатации парков ЭД железнодорожных СП основана на анализе значений достоверностей неисправностей, которые вычисляются системой диагностики электродвигателей. Система диагностики осуществляет постоянный контроль технического состояния электродвигателей. Этот контроль в нашем случае реализуется следующим образом: оценка текущего технического состояния ЭД происходит без его извлечения из стрелочного привода (оценка «по текущему состоянию»). Подобный мониторинг технического состояния ЭД реализуется путем периодического поиска неисправностей в электродвигателях. Мониторинг технического состояния конкретного двигателя позволяет получить временной ряд оценок достоверностей для каждой  $i$ -ой неисправности  $d_i$ :

$$D_i = \{d_i^1, d_i^2, \dots, d_i^k, d_i^{k+1}, \dots, d_i^L\}, (i = \overline{1, N}). \quad (7)$$

При работе электродвигателя его детали стареют и изнашиваются, поэтому можно предположить, что с течением времени каждое

последующее значение  $d_i^{k+1}$  достоверности  $i$ -ой неисправности временного ряда (7) будет не меньше предыдущего  $d_i^k$ :  $d_i^k \leq d_i^{k+1}, (i = \overline{1, N})$ .

При вычислении прогнозируемой стоимости ремонта электродвигателя  $F$  (6) необходимо для каждой достоверности  $i$ -ой неисправности спрогнозировать значение  $d_i^F$  на основе данных временного ряда (7), соответствующего  $i$ -ой неисправности.

Для нахождения оценок спрогнозированных значений  $d_i^F$  можно воспользоваться классическими методами экстраполяции, в простейшем случае в работе использована параболическая экстраполяция.

Издержки  $Z$ , вызванные задержкой поездов в случае отказа электродвигателя и прекращения работы стрелочного перевода, могут быть оценены как

$$Z = N_p T_v C_z P_z, \quad (8)$$

где  $N_p$  - среднее число поездов, проходящих через стрелочный перевод в час;

$T_v$  - время, необходимое для возобновления работы стрелочного перевода;

$C_z$  - стоимость задержки одного поезда на один час;

$P_z$  - вероятность отказа стрелочного перевода.

Если не учитываются взаимные влияния различных типов неисправностей ЭД, вероятность отказа стрелочного перевода  $P_z$  может быть оценена на основании достоверностей неисправностей электродвигателя стрелочного перевода согласно  $P_z = \max(d_i)$ .

### Выводы

В работе разработаны методы и средства, предназначенные для эффективной эксплуатации по текущему техническому состоянию парков электродвигателей железнодорожных стрелочных переводов. При этом усовершенствованы методы мониторинга и диагностирования электродвигателей стрелочных переводов, использующие модели интеллектуальных систем.

Разработанные методы диагностики и математические модели позволяют выявлять боль-

шее число неисправностей электродвигателей, чем методы, применяемые на железных дорогах Украины. Усовершенствована автоматизированная технология диагностики электродвигателей, которая основана на анализе частотного спектра рабочего тока двигателя. Диагностика может проводиться как на стенде во время планового осмотра, так и без извлечения двигателя из стрелочного привода. Разработанная система диагностики реализует мониторинг технического состояния электродвигателей парка стрелочных переводов.

В целом технология эксплуатации парков электродвигателей железнодорожных стрелочных переводов позволяет перейти от плановой, установленной нормативами замены двигателей с неиспользованными эксплуатационными ресурсами к обслуживанию двигателей по их фактическому техническому состоянию.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ивченко, Ю. Н. Методы автоматизированного управления парком электродвигателей железнодорожных стрелочных приводов «по текущему состоянию» [Текст] / Ю. Н. Ивченко, О. М. Шве́ц, М. В. Скалозуб // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 4. – С. 96–102.
2. Автоматизация процессов диагностики электродвигателей стрелочных переводов в условиях эксплуатации [Текст] / А. П. Разгонов [и др.] // Заліз. трансп. України. – 2009. – № 6. – С. 20–22.
3. Скалозуб, В. В. Метод и информационные технологии нечетко-статистического управления [Текст] / В. В. Скалозуб // Системні технології. Регіональний міжвузівський зб. наук. пр. – Вип. 1 (50). – Д., 2008. – С. 120–127.
4. Скалозуб, В. В. Нейросетевые модели диагностики электродвигателей постоянного тока [Текст] / В. В. Скалозуб, О. М. Шве́ц // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 4. – С. 7–11.
5. Шве́ц, О. М. Классификация объектов по частотному спектру на основе адаптивной базы нечетко-статистических правил [Текст] / О. М. Шве́ц // Системні технології. Регіональний міжвузівський зб. наук. пр. – Вип. 3 (68). – Д., 2010. – С. 133–139.

Поступила в редколлегию 10.11.2011.

Принята к печати 15.11.2011.

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ПАРКУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРІВ ПОТОЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ**

Розроблена технологія експлуатації парків електродвигунів залізничних стрілочних переводів з використанням нечітко-статистичних експертних систем. Технологія включає моніторинг і діагностику поточного технічного стану двигунів без виключення з приводу, дозволяє визначити черговість ремонтів двигунів.

*Ключові слова:* парк електродвигунів, моніторинг, діагностування, нечітко-статистичні експертні системи, експлуатація по поточному стану.

$$n \frac{\gamma_i}{\gamma_0} dt$$

V. V. SKALUZUB, O. M. SHVETS

## **AUTOMATION OF MONITORING AND EXPLOITATION MANAGEMENT OF POINTWORK ELECTRIC MOTOR PARKS BASED OF THE PARAMETERS OF CURRENT TECHNICAL STATE**

Exploitation technology of pointwork electric motor parks is developed based on the fuzzy-statistical expert system. Technology includes monitoring and diagnostics of engine current technical state without an exception from a drive, allows defining the order of engine repairs.

*Keywords:* electric motor park, monitoring, diagnosis, fuzzy-statistical expert system, current state exploitation.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РЕЙКОВИХ КІЛ З ЕЛЕКТРОРУХОМИМ СКЛАДОМ ПОДВІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ З АСИНХРОННИМИ ТЯГОВИМИ ДВИГУНАМИ ТА ТЯГОВОЮ МЕРЕЖЕЮ

В роботі використано досліди багатьох авторів про вплив струмових завад від існуючого електрорухомого складу з асинхронними тяговими двигунами (АТД) на рейкові кола, можливість перевищення їх норм, допустимих за безпекою руху поїздів. Для значного зниження впливу завад на пристрої СЦБ та зв'язку розроблено нову перспективну схему силового кола електровоза подвійного живлення з АТД із застосуванням проміжного високочастотного трансформатора.

*Ключові слова:* проміжний високочастотний трансформатор, асинхронний тяговий двигун, електромагнітні завади, рейкове коло, інвертор

Безпека перевізного процесу на залізничному транспорті розуміється як властивість транспортної системи (ТС) не створювати небезпеки для забезпечення перевезеного вантажу, технічних засобів, об'єктів навколишнього середовища, що перебуває в зоні впливу перевізного процесу [1].

Значну роль в забезпеченні безпеки руху поїзду належить системам залізничної автоматики (СЖАТ), яка визначається як властивість системи безперервно зберігати справний, працездатний або захисний стан протягом певного часу або напрацювання.

Електрифіковані залізниці є джерелом потужних електромагнітних завад, що впливають на системи автоматики та можуть привести до небезпечних збоїв в їх роботі. Згідно [2] до 10 % збоїв в роботі рейкового кола (РК) припадає на електромагнітні завади (ЕМЗ). Основними джерелами потужних електромагнітних завад на електрифікованих залізницях є завади, що генеруються силовими тяговими та допоміжним електроустаткуванням електрорухомого складу (ЕРС).

Останнім часом на залізницях України вводять в експлуатацію ЕРС подвійного живлення з асинхронними тяговими двигунами з імпульсними інверторами, що при роботі створюють завади в широкому діапазоні частот  $1 \dots 10^3$  Гц [3], внаслідок чого збільшуються збої в роботі РК.

Тяговий струм протікає від тягової підстанції до ЕРС по контактній мережі та повертається на підстанцію по рейковій лінії і землі.

Завади від тягового струму можуть вплинути на роботу РК за одним з каналів передачі, як зворотній тяговий струм, що протікає по рейковій лінії (РЛ), або як струм, наведений (індуктований) в РК електромагнітним полем тяго-

вої мережі. На величину ЕМЗ, які попадають на вхід колійного приймача (КП), впливає не тільки гармонійний склад тягового струму, але й електричні параметри рейкової лінії, що також визначають амплітуду та спектральний склад завад [4].

Небезпечним впливом на роботу РК зі сторони тягового струму є вплив, що може призвести до помилкового контролю вільності РК при її фактичній зайнятості, а заважаючий б може призвести до порушення нормальної роботи колійного реле при вільній ділянці, внаслідок чого фіксується помилкова зайнятість ділянок при вільній блок-ділянці, що приводить до невинуватених затримок поїзда [5].

Сутність впливу завад тягового струму на роботу РК визначається рівнем його в рейках.

Рух швидкісних поїздів на ділянках з електротягою постійного струму приведе до збільшення струму в тяговій мережі до 5...10 кА, що потребує переобладнання контактної мережі і зворотної тягової мережі (дросьель-трансформаторів, рейкових і міжрейкових з'єднань та ін.). При таких значеннях тягового струму та високих швидкостях руху існуючої системи сигналізації, централізації та блокування не зможуть забезпечити необхідний рівень безпеки, внаслідок частих збоїв в роботі РК і АЛСН під дією тягового струму.

Завади тягового струму в рейковій лінії швидкісної колії з електротягою змінного струму, по якій рухається ЕРС з АТД та імпульсними перетворювачами енергії, обумовлені протіканням зворотного тягового струму по рейках своєї колії (кондуктивний вплив).

На основі дослідження [4] встановлено, що для одного локомотива з АТД в фідерній зоні струму гармоніки частотою 25 Гц не перевищував значення 1 А, але вже для двох локомотивів

струм гармоніки 25 Гц мав значення 1,073 А, що вважається за впливом на роботу рейкових кіл з сигнальним струмом 25 Гц небезпечним.

Також встановлено [4], що перевищення граничного рівня завад в точці безпосередньо перед локомотивом та в точці підключення відсмоктуючого фідера тягової підстанції при збільшенні загальної кількості локомотивів в межах фідерної зони до п'яти спостерігалось для всіх частот тонального діапазону (420, 480, 520, 720, 780 Гц).

Для двох- або багатоколіїних залізничних дільниць з електротягою одного й того ж струму на сусідніх коліях, індуктивний вплив однієї колії на суміжну є меншим, ніж кондуктивні завади від тягового струму своєї колії. Але для електрифікованих залізниць з різним родом тягового струму на сусідніх коліях при їх зближенні і паралельному проходженні ситуація зовсім інша. Тяговий струм колії змінного струму частотою 50 Гц та його гармоніки в тональному діапазоні частот індуктують е.р.с. і струм взаємодукції в рейкових колах колії з електротягою постійного струму. Індуктовані завади мають частоту 50 Гц та частоти діапазону ТРЦЗ і можуть викликати небезпечний або заважаючий збій в роботі рейкових кіл колії з електротягою постійного струму. Для зменшення електромагнітного впливу електрифікованих залізниць на лінії зв'язку було запропоновано використовувати відсмоктуючі трансформатори, автотрансформатори [6], а також екрануючі проводи [7, 8].

Визначення граничних рівнів електромагнітного впливу тягового рухомого складу і тягової мережі на роботу РК проведено в роботі [4] на основі математичного моделювання з експериментальним підтвердженням основних результатів розрахунків.

Критерієм заважаючого впливу є порушення виконання нормального режиму внаслідок впливу завад при вільному і справному РК, що можливо при зниженні струму приймача нижче струму спрацювання ( $I_{\text{рн}} < I_{\text{спр}}$ ). Критерієм небезпечного впливу є порушення шунтового або контрольного режиму внаслідок впливу завади, що можливо при підвищенні струму колійного приймача вище струму спрацювання або надійного повернення якоря (сектора) реле.

В роботі [4] встановлено, що гармонійна завада в рейковій лінії в нормальному режимі із діючим (ефективним) струмом більше 4,1 А з частотою в інтервалі 19...31 Гц може привести до заважаючого впливу на роботу кодової РК, а завади з діючим струмом більше 1,1 А і часто-

тою в інтервалі 23...27 Гц при попаданні в РЛ при роботі РК в шунтовому або контрольному режимі може викликати небезпечний збій в роботі кодової РК.

Для зменшення завад тягового струму в РК з електротягою постійного струму, що викликані індуктивним впливом електромагнітного поля тягової мережі сусідньої колії змінного струму в роботі [4] запропоновано метод та засіб на основі регулюючого пристрою, який утворює в активному екрануючому проводі компенсуючий струм, що співпадає за частотою з сигнальним струмом сусідньої колії, амплітуда якого вибирається за умови максимальної компенсації завад в РК. Проте в роботі [4] не приведено експериментальних підтверджень.

Таким чином, одержані в роботі [4] основні наукові результати і рекомендації при використанні їх під час проведення експлуатаційних випробувань нового ЕРС подвійного живлення з АТД, проектуванні і експлуатації електрифікованих залізниць, пристроїв СЦБ не дозволяють в повній мірі підвищити електромагнітну сумісність між тяговим електропостачанням та рейковими колами і як наслідок не зможе підвищити функціональну безпеку рейкового кола.

Особливо гостро стоїть вирішення цієї задачі для електровозів подвійного живлення, які доцільно будувати для залізниць України з метою ліквідації витрат часу при зміні електровозів у місцях стикування контактних мереж постійного струму напругою 3 кВ з мережею змінного струму на 25 кВ, а також зменшення експлуатаційних витрат.

В кінці 80-х років спеціальна комісія Міжнародного Союзу Залізниць (МСЗ) дослідила економічну ефективність використання багатосистемного ЕРС Європи і дійшла наступних висновків [10]:

- економічна ефективність застосування багатосистемного рухомого складу досягається в першу чергу, за рахунок скорочення числа локомотивів в порівнянні з односистемними на 15...20 %;

- досягається економія часу за рахунок відмови від зупинок для зміни локомотивів не менше 30 хв;

- зменшується кількість локомотивних бригад.

Останнім часом НВО «Електровозобудування» випускає чотирьохвісні електровози змінного струму з асинхронними тяговими двигунами ДСЗ і видано завдання до проектування електровоза подвійного живлення з АТД.

В силових схемах таких електровозів застосовується чотирьохквadrантний випрямляч, який являє собою з'єднувальне коло тягового перетворювача з контактною мережею через головний трансформатор.

Напруга проміжного контуру вище, ніж напруга вторинної обмотки трансформатора. Це досягається почерговим замиканням вторинної обмотки трансформатора силовими IGBT-транзисторами і підключенням проміжного контуру до конденсаторів. При цьому виникають пульсації струму з піковими значеннями. За рахунок індуктивності розсіювання трансформатора пульсація струму згладжується і, тим самим, зменшуються пікові значення струму. Ці пульсації струму передаються через трансформатор в рейкові кола. Тяговий перетворювач 4QS зменшує паразитні струму додатково тим, що усі 4QS тактуються зі зміщенням.

Оскільки рейкові кола одночасно використовують в системах автоматики і автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), а також для пропускання зворотного тягового струму на електрифікованих ділянках залізниць, то дії завад, які генерує рухомий склад, не повинні впливати на роботу АЛС [4].

Для усунення зазначених недоліків запропонована нова перспективна схема силового кола з АТД [12].

Струм який поступає від контактної мережі спочатку випрямляється перетворювачем 4QS1 (рис. 1), згладжується за допомогою LC фільтра і поступає в блок інвертора, де вона перетворюється знову в змінну напругу, але більш високої частоти (400 Гц). Блок інвертора складається з перетворювача високої частоти і трансформатора.

В даній схемі на рис. 1 блок інвертора (БІ) перетворює випрямлений струм напругою 22,5 кВ в змінний напругою 3750 В, але більш високої частоти відносно частоти струму тягової мережі. Принцип роботи блока інвертора розкрито в роботі [11]. Для зниження напруги на елементах БІ пропонується включити «п» вхідних перетворювачів електровоза послідовно. При цьому вторинна сторона трансформатора підвищеної частоти має по одній обмотці на кожний перетворювач, який безпосередньо живить трифазний тяговий двигун.

В схемі перетворювача вхідна ланка, яка працює в режимі випрямляча, виконана на підвищену частоту. Решта модулів не вимагають внесення змін і залишаються такими ж, як і в традиційній схемі трифазного тягового привода [12]. Схема регулювання перетворювача ко-

нтролює потік потужності через трансформатор. При цьому метою регулювання являється підтримання постійної величини напруги в проміжному контурі цього перетворювача незалежно від величини навантаження на тягових двигунах.

В перетворювачі запропонованої схеми система керування роботою модулів виконана на базі мікропроцесора і дає змогу регулювання потоків потужності в двох напрямках, тобто реалізацію режимів тяги і рекуперативного гальмування.

На рис. 1 представлена структурна схема пристрою керування і діагностики (ПКД).

ПКД або «блок керування» призначений для управління і діагностики тяговим перетворювачем. Він забезпечує наступні функції:

- здійснює контроль температури транзисторів перетворювачів, випрямляючих діодів;
- забезпечує відключення перетворювачів при аварійних ситуаціях;
- виробляє ШІМ-сигнали для управління драйверами потужних IGBT-транзисторів перетворювачів та ін.

Змінюючи коефіцієнт модуляції і кут між мережевою і вхідною напругою можна регулювати споживання реактивної потужності і підтримувати високий коефіцієнт  $\cos\phi$ , близький до одиниці. При цьому обмотка високочастотного трансформатора буде споживати синусоїдальної форми кривої струму.

Тому зворотній вплив перетворювача на мережу, і відповідно, і на пристрій СЦБ і зв'язку значно знизиться до допустимої величини, враховуючи встановлення мережевого дроселя невеликої індуктивності на вході (рис. 1).

Частота мережі 50 Гц повинна бути перетворена каскадом в таку частоту, яка обумовить компроміс між масою (об'ємом) трансформатора, з однієї сторони, і втратами потужності в силових вентилях перетворювача, з другої.

Для визначення оптимальної частоти було проведено розрахунки однофазних силових трансформаторів від робочої частоти. Аналіз показав, що збільшення робочої частоти з 50 Гц до 400 Гц знижує активну масу трансформатора до 90 %.

Трансформатор підвищеної частоти 400 Гц дозволяє знизити масу одного тягового блока на 50 % порівняно з трансформатором частотою 50 Гц. При цьому ККД тягового трансформатора підвищується до 95 % і вище, що відповідає зниженню втрат в 2 рази порівняно з схемою електровоза ДСЗ (рис. 2).

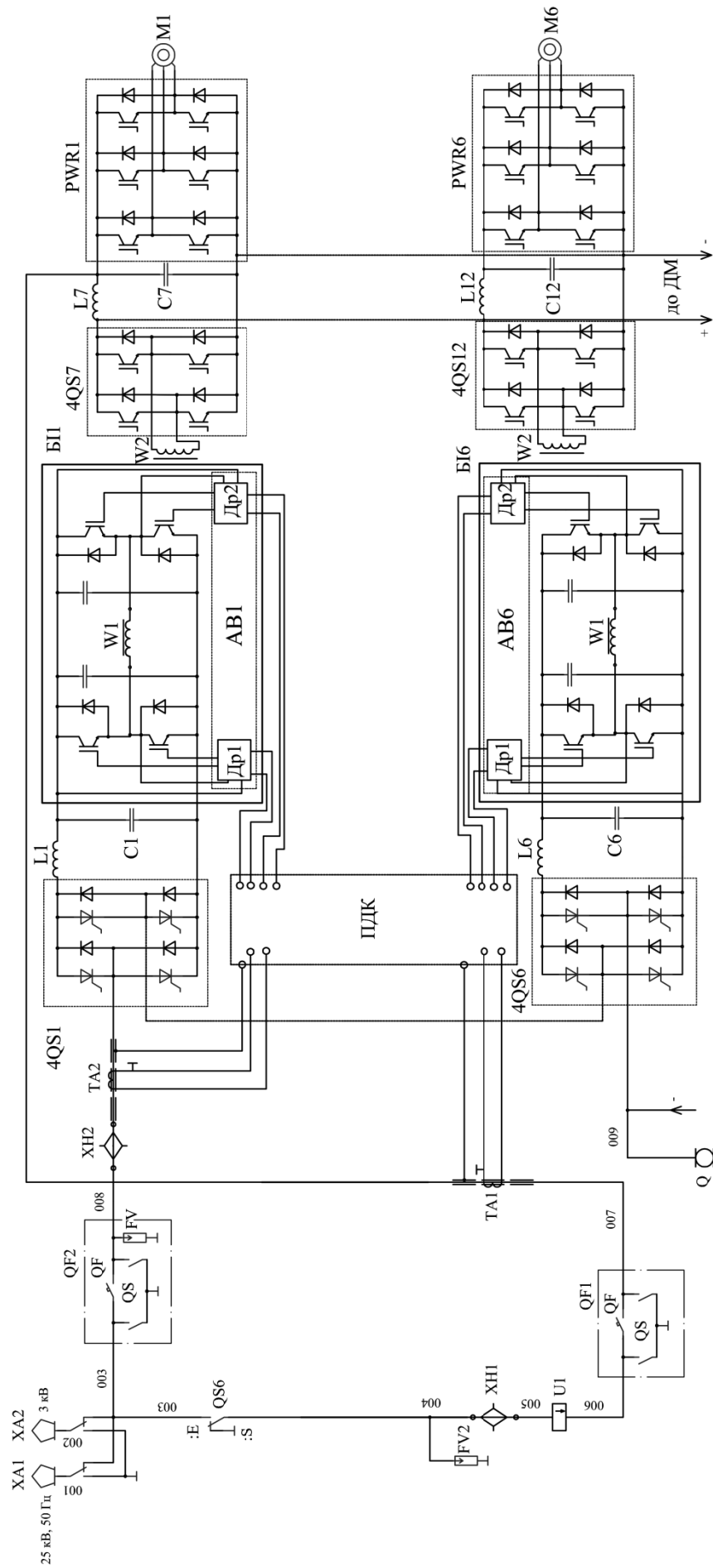


Рис. 1. Структурна схема пристрою керування і діагностики електровоза подвійного живлення

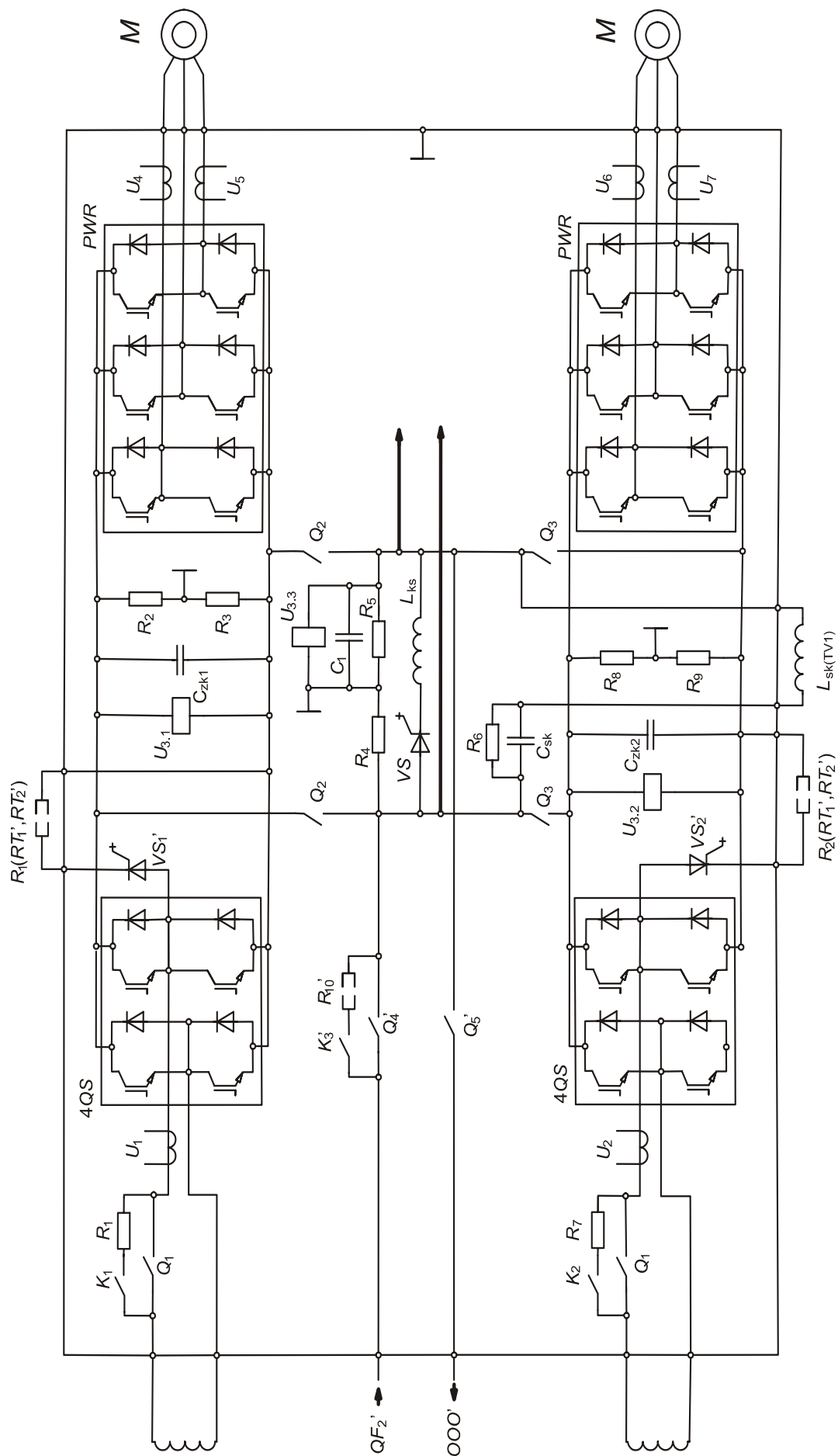


Рис. 2. Электрична схема тягового перетворювача ДС3



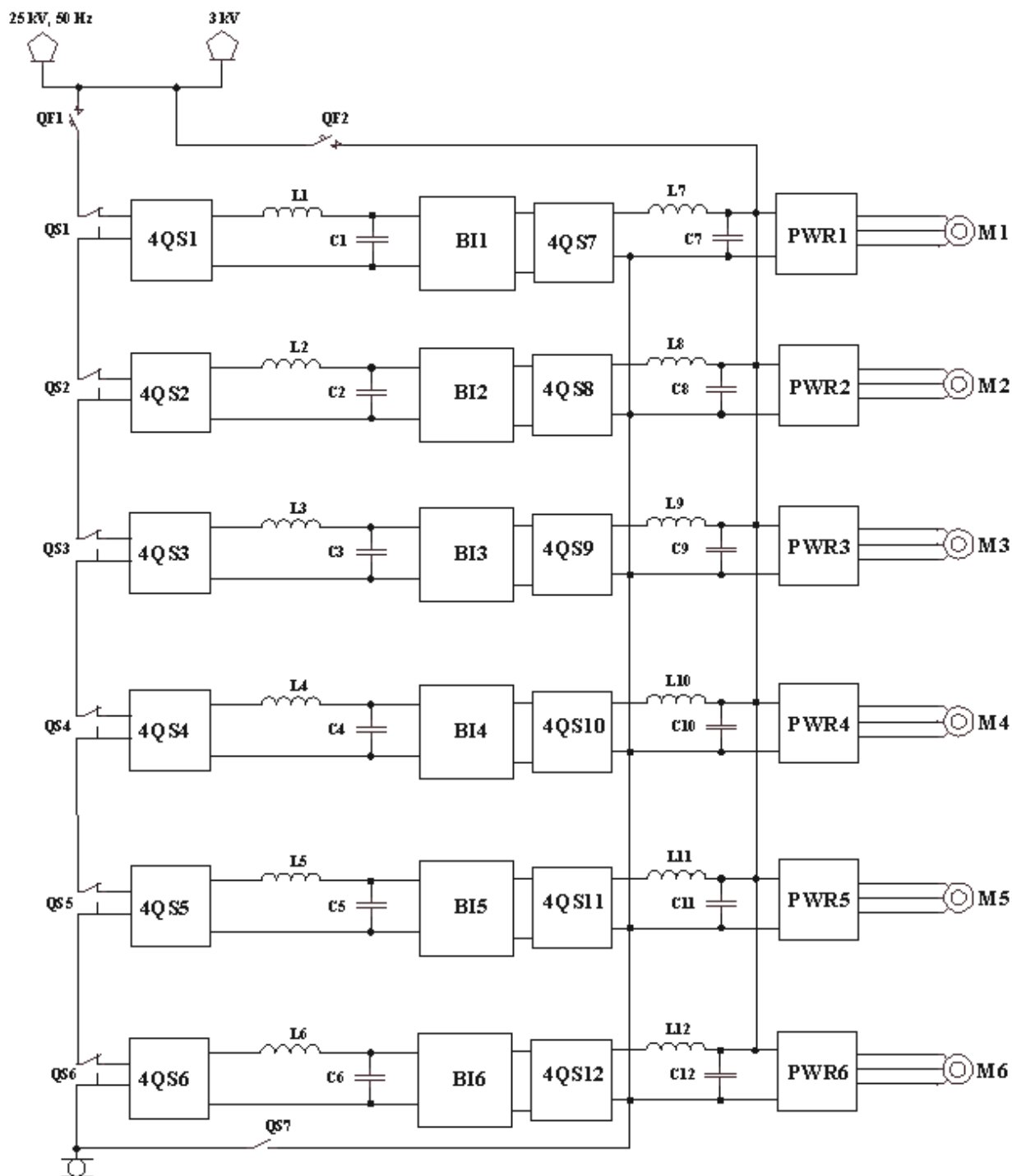


Рис. 3. Функціональна схема електровоза подвійного живлення

Стосовно ККД по тракту випрямляч, інвертор і трансформатор можна очікувати, що він не буде нижчим існуючих схем за рахунок того, що обмотки трансформатора будуть виготовлятися із багатопроволочного мідного проводу, і загальні втрати в трансформаторі, не дивлячись на роботу з частотою 400 Гц, не складуть більше існуючих на 50 Гц, так як маса їх знизиться в два рази. Проте, це вимагає експериментального підтвердження.

Високу експлуатаційну надійність роботи схеми тягового перетворювача з трансформатором підвищеної частоти можна досягти в тому випадку, якщо буде передбачена можливість відключення в процесі експлуатації несправних блоків без порушення роботи тягового привода (тобто аварійна схема).

Це виконується за допомогою силових викиачів  $F$ , які перемикають відповідні входні

клеми несправного модуля і відмикають його від обмотки трансформатора (див. рис. 1).

На базі силових напівпровідникових венти-лів IGBT з напругою запирання 6,5 кВ можна встановити ще один (резервний) каскад модуля на первинній стороні ЕРС при умові, що у ви-падку виникнення несправності буде забезпе-чена можливість відключити один модуль [13]. Цим забезпечиться зберігання більшої частини працездатності електровоза (див. рис. 3).

### Висновки

Розроблена нова перспективна схема сило-вого кола ЕРС подвійного живлення з асинх-ронними тяговими двигунами в порівнянні з існуючими схемами має наступні переваги:

1. Відсутність імпульсного відбору енергії перетворювачем від джерела живлення дозво-ляє значно знизити рівень зворотних імпульсів струму в рейковому колі, тягової мережі і на ЕРС і відповідно зменшити вплив на пристрої СЦБ і зв'язку до допустимого рівня [4]. При цьому безпека руху поїздів значно підвищуєть-ся.

2. Завдяки високій частоті подачі вхідної напруги (400 Гц замість 50 Гц) на проміжний височастотний трансформатор маса його знижується в 2 рази.

Для дослідження запропонованої нової си-лової схеми ЕРС подвійного живлення з АТД необхідно розробити та виготовити дослідний зразок макету тягового привода малої потужно-сті та випробувати його на стенді за спеціально розробленою програмою. Після цього можна буде рекомендувати до розробки технічного проекту заводу-виробнику нового варіанта ЕРС подвійного живлення з АТД.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Сертификация и доказательство систем желез-нодорожной автоматики [Текст] / В. В. Сапож-ников [и др.]; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1997. – 288 с.
2. Кайнов, В. М. Надежная работа устройств ЖАТ – первостепенная задача [Текст] / В. М. Кай-нов // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 4. – С. 4–9.
3. Ермоленко, Д. В. Повышение электромагнитной совместимости систем тягового электроснаб-жения с тиристорным электроподвижным со-ставом [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн.

наук : 05.22.09 «Электротранспорт» / Д. В. Ер-моленко. – М., 1991. – 22 с.

4. Завгородній, О. В. Підвищення функціональної безпеки рейкових кіл шляхом забезпечення їх електромагнітної сумісності з тяговою мережею [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту / О. В. Завгородній. – Д., 2011. – 24 с.
5. Лисенков, В. М. Безопасность технических средств в системах управления движением по-ездов [Текст] / В. М. Лисенков. – М.: Транс-порт, 1986. – 83 с.
6. Павлов, И. В. Отсасывающие трансформаторы в тяговых сетях переменного тока [Текст] / И. В. Павлов. – М.: Транспорт, 1965. – 204 с.
7. Бочев, А. С. Эффективность экранирующих проводов многопроводной тяговой сети пере-менного тока [Текст] / А. С. Бочев, Т. П. Добро-вольскис, В. А. Мишель // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. – № 8. – С. 17–20.
8. Корниенко, В. В. Испытания тяговой сети с эк-ранирующими и усиливающими проводами [Текст] / В. В. Корниенко // Заліз. трансп. України. – 2001. – № 5. – С. 11–14.
9. Сапожников, В. В. Надежность систем железно-дорожной автоматики и телемеханики [Текст] : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / Вл. В. Сапожников, В. П. Шаманов; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2003. – 263 с.
10. Литовченко, В. В. Современные многосистем-ные электровозы [Текст] / В. В. Литовченко // Локомотив. – 1999. – № 1. – С. 6–12.
11. Горбачев, Н. Г. Промышленная электроника [Текст] / Н. Г. Горбачев, Е. Е. Чаплыгин. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – С. 303–306.
12. Вісін, М. Г. Шестивісний магістральний вантаж-ний електровоз подвійного живлення із засто-суванням проміжного трансформатора з висо-кочастотною розв'язкою і з асинхронними тя-говими двигунами [Текст] // М. Г. Вісін, Д. О. Забаріло // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 36. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 66–71.
13. Victor, M. Преобразование энергии на электро-подвижном составе переменного тока с помо-щью трансформатора повышенной частоты [Текст] / M. Victor // Железные дороги мира. – 2006. – № 6. – С. 49–53.

Надійшла до редколегії 22.11.2011.

Прийнята до друку 24.11.2011.

Н. Г. ВИСИН, Д. А. ЗАБАРИЛО

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ С ЭЛЕКТРОПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ С АСИНХРОННЫМИ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ И ТЯГОВОЙ СЕТЬЮ**

В работе использованы исследования многих авторов о влиянии токовых помех от существующего электроподвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями (АТД) на рельсовые цепи, возможность превышения их норм, допустимых по безопасности движения поездов. Для значительного снижения воздействия помех на устройства СЦБ и связи разработана новая перспективная схема силовой цепи электровоза двойного питания с АТД с применением промежуточного высокочастотного трансформатора.

*Ключевые слова:* промежуточный высокочастотный трансформатор, асинхронный тяговый двигатель, электромагнитные помехи, рельсовая цепь, инвертор

N. G. VISIN, D. A. ZABARYLO

## **IMPROVING THE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF TRACK CIRCUITS WITH ELECTRIC ROLLING STOCK OF DOUBLE POWER SUPPLY WITH INDUCTION TRACTION MOTORS AND ELECTRIC-TRACTION NETWORK**

In this article the research results of many authors on the effect of current interference from the existing electric rolling stock with induction traction motors (ITM) on the track circuits and the possibility of exceeding the train traffic safety standards are used. The new promising scheme of power circuit for electric locomotive of double power supply with an ITM applying the intermediary high-frequency transformer for reducing significantly the interference effects to SCB and communication devices is developed.

*Keywords:* intermediary high-frequency transformer, induction traction motor, electromagnetic interference, track circuit, inverter

## ЗАДАЧИ АЭРОДИНАМИКИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ МЕТРОПОЛИТЕНА

Анализ аварийных режимов работы систем тоннельной вентиляции, применяемых в метрополитенах показал, что они не обеспечивают устойчивое движение газозвдушных потоков при пожаре в подвижном составе и его остановке в тоннеле, а также отсутствует методическое обеспечение расчетов устойчивости газозвдушных потоков при пожарах в тоннелях. Существующая технология оценки устойчивости вентиляционных потоков, применяемая на угольных шахтах и в автодорожных тоннелях не позволяет учесть особенности пожаров в метрополитенах.

*Ключевые слова:* системы тоннельной вентиляции, метрополитен, аварийный режим работы, пожар

### Введение

Анализ особенностей пожаров и аварийных режимов вентиляции в метрополитене показывает, что при возникновении пожара в метрополитене основную опасность представляют опасные факторы пожара (ОФП), воздействие которых может полностью или частично блокировать пути эвакуации пассажиров, к тому же, затрудняют работу пожарных подразделений по спасению пассажиров и тушению пожара. Поиск новых путей решения, связанных с локализацией и тушением пожара, а также создание незадымляемой зоной на пути эвакуации пассажиров и в местах, где предполагается работа пожарных подразделений является актуальной задачей [1].

*Целью данной статьи* является анализ имеющихся в литературе результатов исследований по вопросам пожаробезопасности метрополитена и формулировка на основе проведенного анализа основных задач по выработке рациональных мероприятий по борьбе с чрезвычайными ситуациями и обеспечению безопасности людей при возникновении пожара в метрополитене.

### Изложение основного материала

Одним из основных элементов пожарной безопасности метрополитенов является обеспечение безопасности людей. Их спасение и успешная ликвидация пожаров во многом зависят от правильного выбора и своевременного применения аварийного режима вентиляции. При пожаре в тоннеле или на станции метрополитена существует возможность быстрого распространения продуктов горения и возникновение угрозы для жизни сразу нескольких тысяч людей. В этой связи особого внимания заслуживают наиболее опасные ситуации, когда поезд с горящим вагоном останавливается в тоннеле и

необходимо решать задачи, связанные с обеспечением безопасной эвакуации пассажиров.

Распространение ОФП по тоннелю происходит за очень короткое время – вследствие движения вентиляционных потоков. Для того чтоб создать более комфортные условия для работы пожарных подразделений, обеспечить безопасность эвакуирующимся пассажирам необходимо повысить эффективность аварийных режимов, а этого можно добиться путем применения вентиляционных перемычек. Перемычка диаметром 6м пригодна для перекрытия тоннелей метрополитена. Эксплуатационные параметры: время установки – 2...3 мин., минимальная скорость движения воздуха, при которой перемычка функционирует – 0,5 м/с, вес – 20 кг. Однако, для того, чтобы парашютная перемычка перекрыла сечение, необходимо, чтобы сила, действующая на нее, превосходила собственный вес в 1,5...2 раза [2]. Следовательно, в перегонных тоннелях метрополитена, ее можно применять, где скорость движения воздуха составляет 2,5...3,0 м/с. В качестве пассивного способа регулирования воздушных потоков представляют собой воздушные завесы, создаваемые вентиляторами.

Одним из основных элементов обеспечения пожарной безопасности подземных сооружений является система дымоудаления. Главным показателем ее работы при пожарах является обеспечение свежего воздуха на маршрутах эвакуации пассажиров, маршрутах движения пожарных подразделений и подразделений Министерства чрезвычайных ситуаций (МЧС). Это в полной мере относится ко всем тоннелям, включая и тоннели метрополитенов [3].

В большинстве метрополитенов используется реверсивная система вентиляции. Она составляет основу системы тоннельной вентиляции метрополитенов, на которую возложены функции удаления дыма и нагретых пожарных газов. В настоящее время выбор режимов рабо-

ты вентиляторов при пожарах в метрополитенах Украины регламентирует инструкция 4095 [4]. В ней предусматриваются различные варианты включения вентиляторов, в зависимости от места возникновения пожара.

Основным этапом выбора аварийного режима проветривания пожарного объекта является оценка величины тепловой депрессии пожара [2]. Тепловая депрессия пожара рассматривается как приращение статического давления вдоль выработки за счет уменьшения плотности (веса) воздуха в результате его нагревания. Эта депрессия воздействует на объем газозвдушного потока в целом, и рассматривается как дополнительный источник тяги от нижнего конца выработки к верхнему (по высотным отметкам). Оценка устойчивости проветривания тоннелей метрополитена при пожарах сводится к определению критических параметров тоннелей в аварийных режимах работы системы тоннельной вентиляции и сопоставлении их величин с расчетными величинами тепловой депрессии пожара.

При возникновении пожара на станции основной опасностью является поступление продуктов горения в эскалаторные ходки, переходы и вестибюли. При этом продукты горения могут полностью или частично блокировать пути эвакуации пассажиров, в то же время, затрудняя доступ на станцию пожарным подразделениям. Частичное решение этой задачи обеспечивается на станциях, у входов на эскалаторы, установкой противодымных барьеров. В этой связи, достаточно актуальным является решение задачи по обеспечению устойчивого нисходящего движения потока воздуха по эскалаторным ходкам. Этот вопрос представляет собой интерес не только с точки зрения обеспечения безопасной эвакуации пассажиров, но и с точки зрения эффективности ликвидации пожаров, так как быстрое начало тушения уменьшает материальные затраты на тушение и убытки метрополитена.

В нормальных условиях, нисходящее движение воздуха по эскалаторному ходу должно обеспечиваться работой системы тоннельной вентиляции «на вытяжку», когда вентиляторы, расположенные у станций и на ближайшем перегоне забирают воздух из тоннелей и «выдают» его на поверхность. Однако такой режим проветривания ходка эскалатора не всегда возможен, прежде всего, из-за наличия естественной тяги, которая формируется за счет разности температур, в вентиляционном контуре, включающем эскалаторные ходки и вентиляционные шахты. Эта тяга возникает из-за разности высотных отметок тоннелей и поверхности земли. Разница высотных отметок определяет глубину

заложения станции. Таким образом, нисходящему движению воздуха по эскалаторному ходу препятствует действие естественной тяги. В теплое время года температура воздуха, поступающего с поверхности, как правило, выше, чем в вентиляционной шахте, а зимой для этой цели воздух нагревают калориферные установки. В нормальных условиях работы метрополитена направлению движения в эскалаторных ходках, как правило, не придают большого значения. Тем более что под действием поршневого эффекта движущихся поездов оно может изменяться. При возникновении пожара на станции, при остановке поездов, при восходящем движении воздуха в эскалаторных ходках, существует угроза поступления в него нагретых продуктов горения и возникновения тепловой депрессии. На станциях глубокого заложения это практически невозможно.

Вышеприведенное показывает, что задача обеспечения устойчивого нисходящего движения воздуха по эскалаторным ходкам, сводится к тому, чтобы, с одной стороны предупредить быстрое поступление нагретых продуктов горения в эти ходки, а с другой стороны, обеспечить оперативный перевод в режим «вытяжки». Количество вентиляторов, необходимых для преодоления действия естественной тяги и обеспечения нисходящего движения воздуха в эскалаторных ходках, для каждой станции лучше всего определять экспериментально. Однако точные расчеты здесь затруднены из-за отсутствия информации о высотных отметках, но даже приблизительные оценки показывают, что в вентиляционных контурах с двухступенчатыми эскалаторными ходками естественная тяга, для холодного времени года, может составить 50 Па и более. Преодолеть противодействие такой естественной тяги только за счет работы системы тоннельной вентиляции, очень сложно. Интересным решением является использование подвижного состава в качестве своеобразных регуляторов, повышающих влияние вентиляторов на режим проветривания эскалаторных ходков.

Исследованиям вопросов дымоудаления и работы системы тоннельной вентиляции метрополитенов посвящены работы Цодикова В. Я. [5, 6], Беляцкого В. П., Виноградова Ю. И., Бондарева В. Ф., Рыжова А. М., Махина В. С. и др. [2]. Вместе с тем, необходимо отметить, что рассматривая вопросы дымоудаления в комплексе с вопросами устойчивости газозвдушных потоков в тоннелях метрополитена, авторы работы [2] ориентируются на методики, разработанные для угольной отрасли. Все элементы (этапы) технологии выбора и оценки эффективности аварийных вентиляционных

режимов, разработанные для угольной отрасли, почти в полной мере, применимы для метрополитенов. Однако, основная сложность состоит в отсутствии методического обеспечения применения этой технологии для метрополитенов.

Здесь нельзя провести аналогию и с автодорожными тоннелями.

Многие работники метрополитенов, пожарных служб и ученые вообще придерживаются того мнения, что

- в системах метрополитенов или вовсе нет независимой системы воздушных потоков, или

- система потоков полностью обуславливается характеристиками ветра в наружной зоне у порталов тоннелей или

- движение воздуха «в глубине тоннеля» управляется только движением поездов.

Эти допущения оказались неверными. Если оценка распространения вредных веществ в простых транспортных тоннелях может быть произведена относительно легко, то этого нельзя утверждать в отношении тоннельных сооружений метрополитенов. Железнодорожные или автодорожные тоннели из одной или двух труб, как правило, имеют мало поперечных соединений, а оба противоположных портала являются главными отверстиями. Метрополитен, напротив, представляет собой сложную сетевую систему с многочисленными вертикальными и горизонтальными поперечными соединениями. Система воздушных потоков в такой сети тоннелей и станций, в отличие от простых тоннелей с их двумя возможными направлениями воздушных потоков, имеет большую возможность варьирования; это влияет и на определение возможных путей проведения спасательных работ и на направление вывода людей из опасного пространства. В случае пожара или террористического акта состояние этой системы потоков оказывает существенное влияние на распространение дыма, химических и биологических веществ внутри системы метрополитена и в прилегающих к ней зон на поверхности земли. То обстоятельство, что распространение дыма и других ядовитых веществ зависит только от характеристик рассматриваемых потоков, т.е. от воздухообмена между станцией и тоннелем, а также между метрополитеном и внешней атмосферой указывает на необходимость увеличения исследований в этой области с целью предотвращения катастроф или обеспечения эффективного устранения их последствий.

Следует констатировать и тот факт, что обзор зарубежных исследований в области распространения воздушных потоков в подземных сооружениях метрополитена [7] показывает, что в отношении динамики воздушных потоков в подземных тоннельных системах речь идет о

чрезвычайно сложной структуре, обуславливаемой воздействиями многочисленных факторов. В ходе выполненных до сих пор исследований было установлено, что речь может идти не о простом, непрерывном, равномерно сформированном движении воздуха, а о системе потоков высокой сложности, отличающихся чрезвычайно разнообразным варьированием в пространстве и времени. А также было доказано наличие в тоннелях основного и фоновых воздушных потоков, не зависящих от движения поездов и работы вентиляционных устройств. Поэтому необходимо проведение ряда научных исследований.

Следует указать и на то, что каждая система метрополитена из-за строительных, геологических и других особенностей имеет свою собственную динамику воздушных потоков, которая должна специально изучаться для выбора оптимальных действий при чрезвычайных ситуациях.

### Выводы

Для выработки рациональных мероприятий по борьбе с чрезвычайными ситуациями в метрополитене необходимо решить следующие задачи:

1. Провести теоретические исследования особенностей тепломассопереноса при пожаре в тоннеле метрополитена и разработать методику расчета тепловых факторов пожара.

2. Исследовать особенности определения критических параметров газозаполненных потоков в тоннелях метрополитена и разработать методику их расчета.

3. Исследовать особенности вентиляционной сети линии и разработать для нее схемы вентиляции и вентиляционных соединений.

4. Определить аэродинамические параметры вентиляционной сети линии метрополитена.

5. Исследовать особенности формирования аварийных вентиляционных режимов в условиях линии метрополитена.

6. Разработать методику оценки устойчивости вентиляционных потоков при пожаре в вагоне и остановки поезда в тоннеле метрополитена.

7. Разработать математические модели и исследовать аварийные ситуации с целью выработки рациональных мероприятий по борьбе с чрезвычайными ситуациями в метрополитене (локализация пожара, борьба с распространением ядовитых газов и т.д.).

8. Разработать программное обеспечение (информационную систему) для ускорения ввода в действие аварийной вентиляции метрополитена.

9. Разработать аварийные режимы работы тоннельной вентиляции для линии метрополитена.

10. Введение аварийного режима должно сопровождаться выполнением ряда организационно-технических решений:

- дополнительно повысить эффективность аварийных режимов можно путем применения вентиляционных перемычек, устанавливаемых пожарными после возникновения пожара;

- целесообразна установка воздушных завес, создаваемых вентилятором со щелевым раздаточным устройством;

- для предупреждения поступления нагретых продуктов горения в эскалаторные ходки на станциях глубокого заложения необходимо оборудовать противодымные барьеры входов на эскалаторы и включить на вытяжку ближайшие к станции вентиляторные установки;

- в тех случаях, когда работа вентиляторных установок метрополитена не обеспечивает устойчивое нисходящее движение воздуха по эскалаторным ходкам, для повышения устойчивости следует предусматривать использование пустых составов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косар, А. М. Розробка метода і технічних засобів забезпечення безпеки людей при пожежах у

метрополітені [Текст] / А. М. Косар. – М.: Київ, 2002. – 28 с.

2. Розробити аварійні режими вентиляції Салтівської лінії Харківського метрополітену на випадок пожеж та інформаційне забезпечення вводу у дію аварійної вентиляції [Текст] : звіт про НДР / НИИГД, Донецк, 2001. – 535 с.
3. Власов, С. Н. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов [Текст] / С. Н. Власов, Л. В. Маковский, В. Е. Меркин. – М.: ТИМР, 1997. – 183 с.
4. СНиП II-40-80. Метрополитены. Госстрой СССР [Текст]. – М.: Стройиздат, 1981. – № 2. – С. 71–73.
5. Цодиков, В. Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов [Текст] / В. Я. Цодиков. – М.: Недра, 1975. – 313 с.
6. Цодиков, В. Я. Взаимодействие системы тоннельной вентиляции и поршневого эффекта движущихся в метрополитене поездов [Текст] / В. Я. Цодиков // М.: Транспортное строительство. – 1974. – № 5. – С. 47–49.
7. Андросюк, В. Н. Система воздушных потоков в метрополитенах, ее роль в предупреждении и ликвидации последствий катастроф [Текст] / В. Н. Андросюк // Сб. обзорной информ. «Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях». – М., 2002. – Вып. № 5. – С. 84–89.

Поступила в редколлегию 04.11.2011.  
Принята к печати 07.11.2011.

С. А. ГРЯЗНОВА, Н. В. ХВОРОСТ

## ЗАДАЧИ АЭРОДИНАМИКИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ МЕТРОПОЛИТЕНА

Аналіз аварійних режимів роботи систем тунельної вентиляції, що застосовуються в метрополітенах показав, що вони не забезпечують стабільний рух газоповітряних потоків при пожежі в рухомому складі та його зупинці в тунелі, а також відсутнє методичне забезпечення розрахунків стійкості газоповітряних потоків при пожежах в тунелях. Існуюча технологія оцінки стійкості вентиляційних потоків, що застосовується на вугільних шахтах і в автодорожніх тунелях не дозволяє врахувати особливості пожеж в метрополітенах.

*Ключові слова:* системи тунельної вентиляції, метрополітен, аварійний режим роботи, пожежа

S. A. GRYAZNOVA, N. V. KHVOROST

## PROBLEMS OF AERODYNAMICS FOR PROVIDING THE FIRE SAFETY IN SUBWAYS

Analysis of emergency operation modes of a tunnel ventilation systems used in subway systems has shown that they do not provide stable gas air streams in case of fire in the rolling stock and its stop in the tunnel, and there is no methodological support for calculations of stability of gas air streams in tunnel fires. The existing technology of assessing the stability of ventilation streams applied in coal mines and road tunnels did not take into account the characteristics of fires in subways.

*Keywords:* systems of tunnel ventilation, subway, emergency operation mode, fire

## РОЗВИТОК ТЕОРІЇ СПЕКТРІВ ТА ЇЇ АДАПТАЦІЯ ДО ЗАДАЧ АНАЛІЗУ ПЕРЕХІДНИХ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ

У статті введено поняття поточного і миттєвого спектрів для аналізу детермінованих функцій електричних величин системи тягового електропостачання постійного струму в аварійних режимах її роботи.

*Ключові слова:* енергетичні показники, спектральний аналіз, перетворення Фур'є, спектр

Ця робота є розвитком робіт [1, 2] по теорії спектрального аналізу перехідних величин, отриманих при дослідженні аварійних режимів в системі електричної тяги постійного струму. Зазначені перехідні величини можуть бути отримані у вигляді детермінованих чи випадкових імпульсів. Тому подальше викладення розвитку теорії спектрів в цій роботі викладено як для детермінованих, так і для стохастичних імпульсних процесів.

### 1. Детермінований імпульсний процес

В попередніх роботах [1, 2] визначали частотний спектр, точніше спектральну функцію  $F(j\omega)$ , імпульсу перехідної величини (напруги чи струму), як неперіодичної функції  $f(t)$  за весь термін часу  $T$  її існування за умови розглядання цієї функції, що  $T \rightarrow \infty$ ; для цього використано пряме перетворення Фур'є:

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (1)$$

Згідно з (1) неперіодична  $f(t)$  може бути представлена сумою нескінченно великої кількості нескінченно малих синусоїдних коливань нескінченно близьких за частотою. Комплексна амплітуда кожного окремого коливання нескінченно мала і дорівнює:

$$dC = \frac{1}{n} \cdot F(j\omega) d\omega. \quad (2)$$

Частотний інтервал між двома сусідніми коливаннями також нескінченно малий і дорівнює  $d\omega$ , тобто має місце неперервна послідовність усіх частот (суцільний спектр). Тобто у випадку інтеграла Фур'є (1) сума не володіє істотною властивістю своїх доданків, що треба пам'ятати при спектральному розкладанні за Фур'є.

Для визначення частотного спектру за виразом (1) інтегрування здійснюється в нескінченних границях. Однак для знаходження нових певних ознак, на яких базувався б релейний захист тягового електропостачання (або з ін-

шою метою), часто потрібно розглядати лише частину імпульсу перехідної величини, найчастіше початкову його частину (крутизну) поточною тривалістю  $t$ . Тому для спектрального аналізу лише цієї частини імпульсу введемо поняття поточного спектра  $F_t(j\omega)$  [3], для визначення якого інтегрування в (1) може бути виконано в межах від  $t_0$  (початку процесу) до поточного моменту часу  $t$  існування імпульсу (рис. 1):

$$F_t(j\omega) = \int_{t_0}^t f(t) e^{-j\omega t} dt = \int_0^t f(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (3)$$

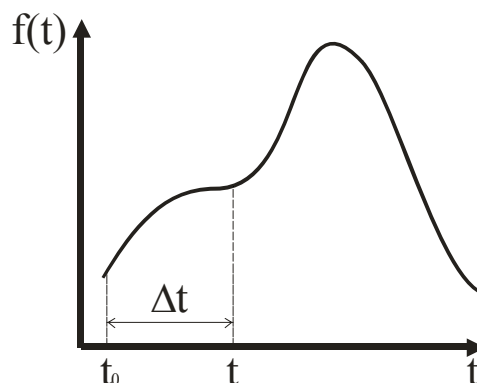


Рис. 1

Спектр короткого відрізка імпульсу, за великий термін часу від його початку, однорідний, бо це спектр короткого імпульсу.

Уведення поняття поточного спектру значно розширює уявлення спектрального аналізу, бо воно перекидає місток між частотним і часовим описанням перехідного процесу. Для подальшого зближення частотної і часової точок зору розглянемо ще одне поняття: поняття миттєвого спектру, введеного Пейджем [3] для потужності (миттєвий спектр потужності) у вигляді:

$$\rho(\omega, t) = \frac{d}{dt} |F_t(j\omega)|^2, \quad (4)$$

де  $F_t(j\omega)$  – поточний спектр.



Інтеграл від миттєвого спектру потужності по всій вісі частот дає миттєву потужність

$$\frac{1}{\pi} \int_0^{\omega} \rho(\omega, t) d\omega = \rho(t), \quad (5)$$

а інтеграл від  $\rho(\omega, t)$  за часом дає квадрат модуля поточного спектру

$$\int_{-\omega}^t \rho(\omega, t) dt = |F_t(j\omega)|^2. \quad (6)$$

Однак з розрахунковою метою доцільно мати більш простіший вираз миттєвого спектру, який можна записати у вигляді (рис. 2):

$$F_t(j\omega, t) = \int_{t-T}^t f(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (7)$$

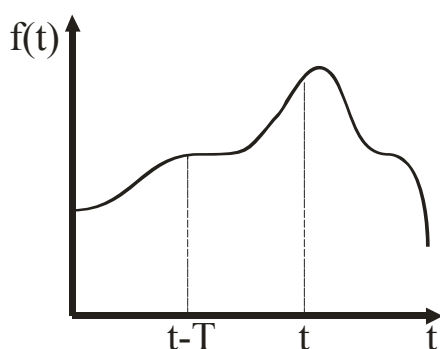


Рис. 2

Тобто, миттєвий спектр визначається як спектр відрізка імпульсу тривалістю  $T$ , що безпосередньо передуює даному моменту часу  $t$ . У виразі (7) ми маємо справу з «ковзним» інтегруванням: це коли інтервал інтегрування має постійну довжину, але переміщується по вісі часу; розташування ж інтервалу незмінне відносно поточного моменту  $t$ .

Як відомо, для розв'язання багатьох задач, зокрема електромагнітної сумісності, потрібен дискретний спектр перехідних величин, а в той час як поточний, так і миттєвий спектри є суцільними і отже мають усі частоти. Тому для використання цих спектрів будемо визначати діапазон частот цього суцільного спектру, в якому зосереджена значно переважна частина електроенергії  $W$  розглядуваної перехідної величини. Цей діапазон частот називають «ефективною шириною спектру» або просто – «шириною спектру»,  $\Delta\omega$ , а інколи ще простіше – «спектром».

Як відомо, зв'язок між енергією неперіодичної електричної величини  $f(t)$  та її спектром  $F(j\omega)$  дається рівнянням теореми Рейлі (рівністю Парсеваля):

$$W = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} F^2(\omega) d\omega, \quad (8)$$

або з урахуванням понять і формул (3) і (7) поточного і миттєвого спектрів можна записати відповідно як:

$$W_t = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} F_t^2(\omega) d\omega; \quad (9)$$

$$W_T = \frac{1}{\pi} \int_{t-T}^t F_T^2(\omega) d\omega. \quad (10)$$

При спектральному аналізі за допомогою поточного і миттєвого спектрів будемо виділяти в імпульсі досліджуваної перехідної величини певний інтервал  $\Delta t$  (мініімпульс) (рис. 1) з шириною спектру  $\Delta f$ , який і потрібен для розв'язування практичних задач. Між тривалістю  $\Delta t$  і шириною імпульсу  $\Delta\omega$  існують різні співвідношення в залежності від форми мініімпульсу [3]:

- для прямокутного:

$$\Delta t \cdot \Delta f = 1, \quad (11)$$

- для трикутного:

$$\Delta t \cdot \Delta f = 2. \quad (12)$$

Із виразів (11) і (12) при заданій тривалості  $\Delta t$  може бути знайдена ефективна ширина спектру. Особливо це стосується формули (11), оскільки тривалість  $\Delta t$  мініімпульсу мала, і тому він може бути представлений як прямокутний мініімпульс.

З практичної точки зору також важливо знати, за якої найменшої тривалості  $\Delta t$  буде найменшою ширина спектру  $\Delta f$ , тобто щоб добуток  $\Delta t \cdot \Delta f$  мав найменше значення. В [3] мінімізація цього добутку дала таке співвідношення:

$$\Delta t \cdot \Delta f \geq \frac{1}{4\sqrt{3}\pi} = 0,046. \quad (13)$$

Отже, із виразів (11)–(13) випливає, що в загальному випадку добуток тривалості мініімпульсу і ширини спектру являє собою деяку сталу величину, яка залежить від форми імпульсу, а також його параметрів  $\Delta t$  і  $\Delta f$ .

## 2. Випадковий імпульсний процес

Як відомо [5, 6], фідерна напруга, напруга в тяговій мережі та на струмоприймачі ЕРС, параметри тягової мережі, а також, і особливо, тягове навантаження є випадковими процесами чи величинами. Тому і всі перехідні величини

$a(t)$ , в аварійному чи експлуатаційному режимах, є також випадковими (рис. 3), в яких окремий імпульс є детермінованим. У зв'язку з цим розглянемо поняття поточного та миттєвого спектрів відносно випадкових імпульсів.

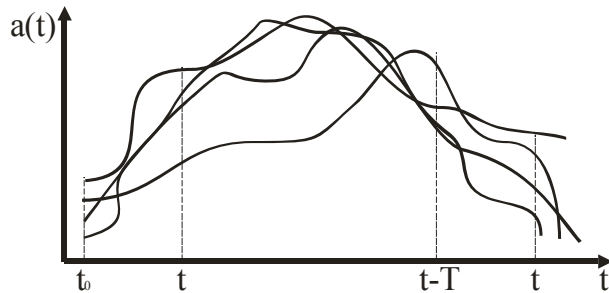


Рис. 3

За аналогією з формулами (3) і (7) запишемо вираз поточного спектру однієї реалізації випадкової функції  $a(t)$  (див. рис. 3):

$$F_T^{(1)}(j\omega) = \int_{t-T}^T a(t) e^{-j\omega t} dt, \quad (14)$$

а миттєвого – у вигляді (див. рис. 3)

$$F_t^{(1)}(j\omega) = \int_0^t a(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (15)$$

Оскільки  $a(t)$  – випадкова функція часу  $t$ , то і спектри  $F_T^{(1)}(j\omega)$ ,  $F_t^{(1)}(j\omega)$  будуть випадковими функціями змінної  $\omega$ .

П. Е. МИХАЛИЧЕНКО, Н. А. КОСТИН

## РОЗВИТИЕ ТЕОРИИ СПЕКТРОВ И ЕЕ АДАПТАЦИЯ К ЗАДАЧАМ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

В статье введено понятие текущего и мгновенного спектра для анализа детерминированных функций электрических величин системы тягового электроснабжения постоянного тока в аварийных режимах ее работы.

*Ключевые слова:* энергетические показатели, спектральный анализ, преобразование Фурье, спектр

P. Ye. MIKHALICHENKO, N. A. KOSTIN

## DEVELOPMENT OF THEORY OF SPECTRA AND ITS ADAPTATION TO THE TASKS OF ANALYSIS OF TRANSIENT EMERGENCY REGIMES FOR ELECTRIC TRACTION SYSTEMS

In the article the notion of current and instantaneous spectrum is introduced for the analysis of the deterministic functions of electric values of the system of DC electric traction supply in the case of its emergency operation regimes.

*Keywords:* energy indices, spectral analysis, Fourier transformation, spectrum

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Костін, М. О. Гармонійний склад фідерних напруг та струмів при аварійних режимах тягової мережі [Текст] / М. О. Костін, П. Є. Михаліченко // Матеріали XIII міжн. наук.-техн. конф. «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта, практика». – 2011. – Вип. 1. – С. 164–165.
2. Михаліченко, П. Є. Спектральний аналіз перехідних електричних величин системи тягового електропостачання постійного струму в аварійних режимах її роботи [Текст] / П. Є. Михаліченко // Праці Луганськ. відділення Міжн. акад. інформатизації. – 2011. – № 3 (25). – С. 47–53.
3. Харкевич, А. А. Спектры и анализ [Текст] / А. А. Харкевич. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1962. – 236 с.
4. Page, C. H. Instantaneous power spectra [Текст] / C. H. Page // J. Appl. Phys. – 1952. – P. 103–106.
5. Саблин, О. И. Спектральный анализ случайных функций тягового тока и напряжения на токоприемнике электроподвижного состава [Текст] / О. И. Саблин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 15. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 41–47.
6. Петров, А. В. Методи спектрального аналізу випадкових технологічних коливань напруги та струму фідера тягової підстанції постійного струму [Текст] / А. В. Петров // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 77–80.

Надійшла до редколегії 02.11.2011.  
Прийнята до друку 09.11.2011.

## ПЕРЕБУДОВА КРИВИХ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ

Приведена методика визначення раціональних параметрів радіусів і перехідних кривих, які забезпечують максимально допустиму швидкість при мінімальних витратах на реконструкцію плану

*Ключові слова:* максимальна швидкість, радіус кривої, параметр перехідної кривої, зміщення вісі колії

### 1. Постановка задачі

Одним з основних напрямів реалізації Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року є поетапне впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів [1]. Щодо планів на 2012 рік, то серед пріоритетів залишається підготовка залізниць до організації пасажирських перевезень, пов'язаних із проектом «СВРО-2012».

Допустимий рівень швидкості визначають, як правило, параметри кривих в плані. Наприклад, на напрямку Київ–Львів максимальну швидкість 160 км/год обмежують 187 кривих. Постає питання щодо можливості й доцільності перебудови певної кількості кривих. Рекомендації ДБН В.2.3-19-2008 з цього приводу такі «Величину радіусів кривих в плані встановлюють у кожному конкретному випадку в залежності від швидкості руху поїздів і значень радіусів кривих існуючої колії». Щоб отримати більш конкретні рішення, були проведені додаткові дослідження.

Ще в 70-х роках минулого століття проф. А. І. Іоаннісян в роботі «Улучшение трассы существующих железных дорог» [2] поставив питання: *що краще, прийняти більший радіус, але меншу перехідну криву, чи менший радіус і більшу довжину перехідної кривої за умови забезпечення максимально встановленої швидкості?*

Відомо, що збільшення радіусу призводить до зміщення осі колії. У меншій мірі спостерігається зміщення осі при подовженні перехідних кривих. Виникла потреба дослідити, яким чином все це відбивається на обсягах робіт, вартості перебудови кривих та на динамічних показниках взаємодії рухомого складу й колії.

### 2. Методика дослідження

Зсув  $\Delta$  при збільшенні радіуса з  $R_{існ}$  до  $R_{пр}$  дорівнює різниці бісектрис  $\Delta_R = B_{пр} - B_{існ}$  і різ-

ниці зсувів від перехідних кривих  $\Delta_l = p_{пр} - p_{існ}$  тобто

$$\Delta = (B_{пр} + p_{пр}) - (B_{існ} + p_{існ}),$$

або

$$\Delta = \left[ R_{пр} \left( \sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) + \frac{l_{пр}^2}{24 R_{пр}} \right] - \left[ R_{існ} \left( \sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) + \frac{l_{існ}^2}{24 R_{існ}} \right].$$

Після перетворень отримаємо

$$\Delta = \Delta R \left( \sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) + \frac{R_{існ} (l_{пр}^2 - l_{існ}^2) - l_{існ}^2 \Delta R}{24 R_{існ} (R_{існ} + \Delta R)}. \quad (1)$$

З'ясуємо, яка частка зсуву формується за рахунок зміни радіусу і яка – за рахунок подовження перехідних кривих. Відомо, що перехідна крива представляє собою радіоідальну спіраль, рівняння якої  $\rho = \frac{C}{S}$ . В цьому рівнянні

$C$  представляє собою постійну величину, що названа параметром перехідної кривої. При  $\rho = R$ ,  $S = L$  параметр перехідної кривої  $C = R \cdot L$ .

Для кривих з кутом повороту 20, 40 і 60° були визначені зміщення осі колії за формулою (1) і побудовані графіки  $\Delta = f(C)$  (рис. 1).

З рис. 1 видно, що величина зміщення осі  $\Delta$  тим менша (що має велике значення при перебудові кривої), чим менший кут повороту і більший параметр перехідної кривої  $C$ . Частка впливу довжини перехідної кривої на величину зсуву залежить також від кута повороту  $\alpha$  і параметра  $C$  (рис. 2), тобто зсув осі від подовження перехідних кривих  $\Delta_l$  тим більший, чим менший кут повороту і чим більший параметр  $C$ .

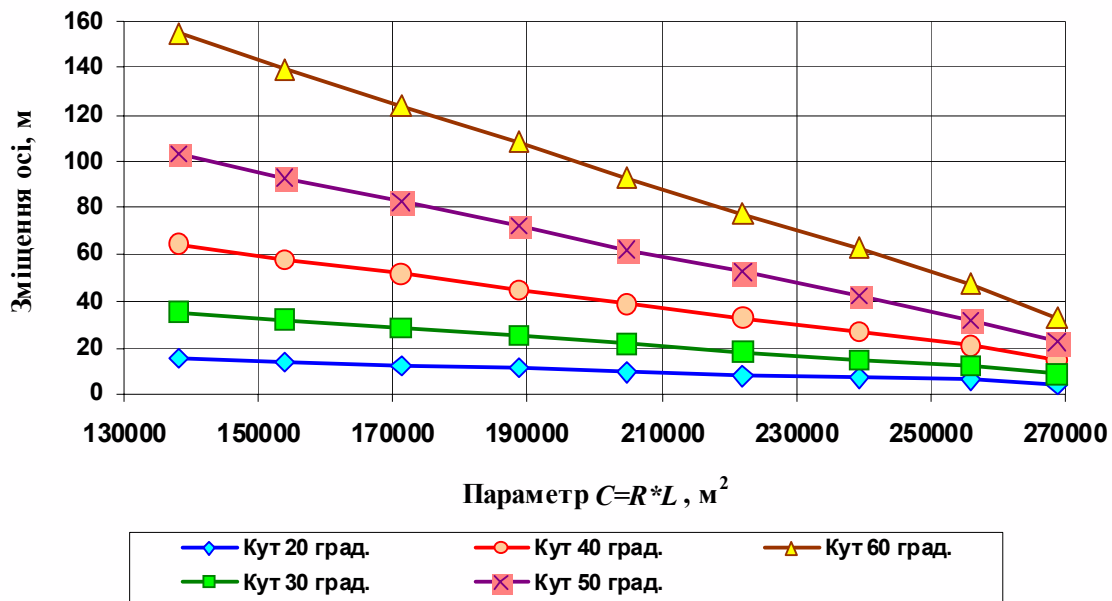


Рис. 1. Залежність зміщення осі колії від параметра  $C$  і кута  $\alpha$

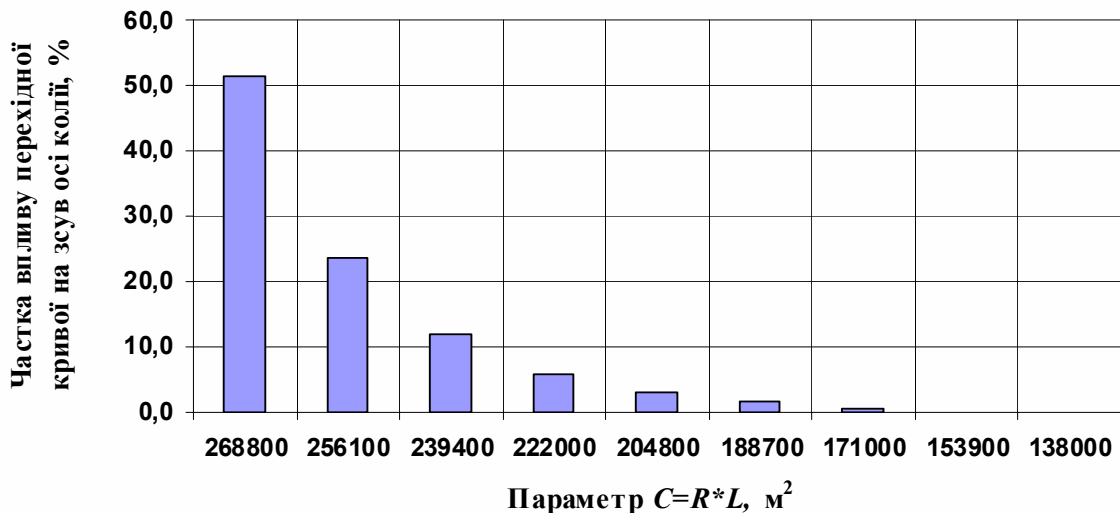


Рис. 2. Вплив перехідної кривої у формуванні загального зсуву осі колії (кут повороту  $20^\circ$ )

Якщо параметр кривої  $C$  встановлюється за умови забезпечення максимально допустимої швидкості  $V_{\max}$ , то має місце таке співвідношення:

$$C_{R_1}^{V_{\max}} > C_{R_2}^{V_{\max}} > \dots C_{R_n}^{V_{\max}}, \text{ (де } R_1 < R_2 < \dots R_n \text{),}$$

тобто параметр  $C$  має більші значення при менших проектних радіусах але довгих перехідних кривих і зростає при збільшенні кута повороту кривої. У цьому випадку, при кутах повороту  $20, 30$  і  $40^\circ$  частка перехідної кривої у формуванні загального зсуву осі колії при перебудові кривих становить від  $51,6$  до  $22,6$  і  $12,4$  % відповідно (радіус  $1200$  м, перехідна крива  $220$  м), або  $23,6$ ;  $10,3$  і  $5,7$  (радіус  $1300$  м, перехідна крива  $200$  м).

Поставимо питання, який параметр  $C$  можна вважати найбільш раціональним для забезпечення максимально встановленої швидкості на існуючих ділянках залізниці. Відповідно з графіками (рис. 3)  $V_{\max} = 160$  км/год можна забезпечити при  $R_{\text{пр}} = 1200$  м тільки якщо  $C = 240000 \text{ м}^2$ , при  $R_{\text{пр}} = 1600$  м, якщо  $C$  знаходиться в діапазоні  $192000 \dots 320000 \text{ м}^2$ . Частка впливу перехідної кривої у формуванні загального зсуву осі колії в наведених прикладах незначна і визначається в основному величиною, що залежить від  $dR = R_{\text{пр}} - R_{\text{існ}}$ .

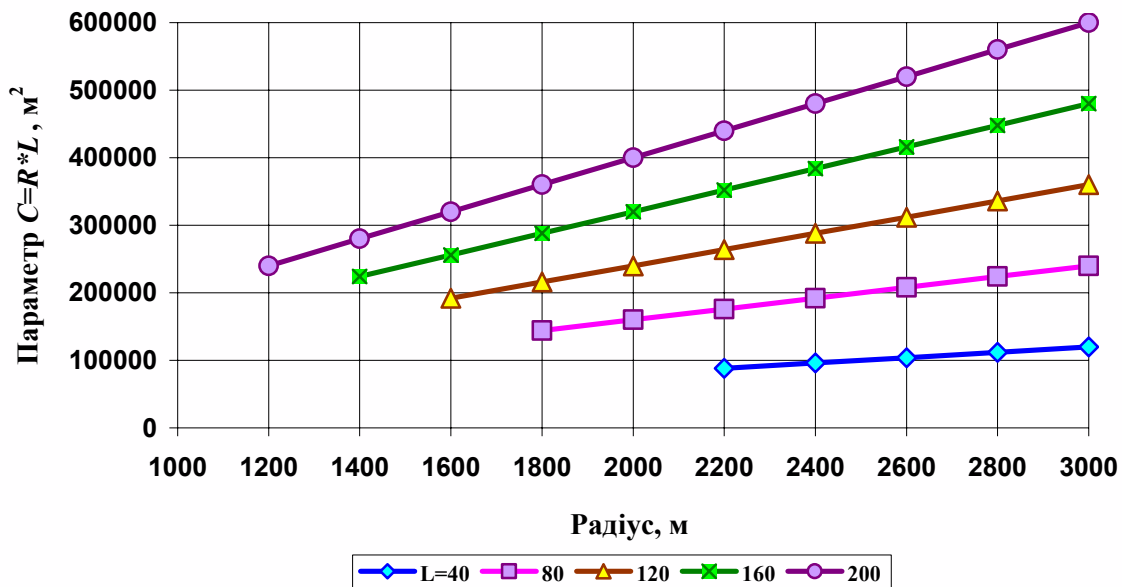


Рис. 3. Допустимі значення параметра  $C$  при  $V_{\max} = 160$  км/год

З використанням програми RWPlan і методики, що передбачає урахування відповідних робіт з перебудови кривої, була розрахована за формулою (2) вартість по кожному варіанту (рис. 4)

$$K = \sum_{i=1}^{i=4} a_i l_i + \sum_{i=5}^{i=7} a_i l_i + \sum_{i=8}^{i=10} a_i Q_i, \quad (2)$$

де  $a_1, \dots, a_4$  – витрати на зміщення осі існуючої колії відповідно до 60 мм, 61...120 мм, 121...120 мм і більше 250 мм;

$l_1, \dots, l_4$  – довжина ділянок з відповідним діапазоном зсувів;

$a_5, \dots, a_7$  – витрати відповідно на перекладання верхньої будови колії, перенесення контактної мережі, пристроїв СЦБ;

$l_5, \dots, l_7$  – довжина ділянок перекладання колії, перенесення контактної мережі, кабелів СЦБ;

$a_8, \dots, a_{10}$  – вартість 1 м³ баласту, ґрунту для розширення існуючого земляного полотна та ґрунту для відсіпання земляного полотна на новій трасі;

$Q_8, \dots, Q_{10}$  – об'єм баласту й ґрунту для розширення існуючого земляного полотна чи для відсіпання нового земляного полотна.

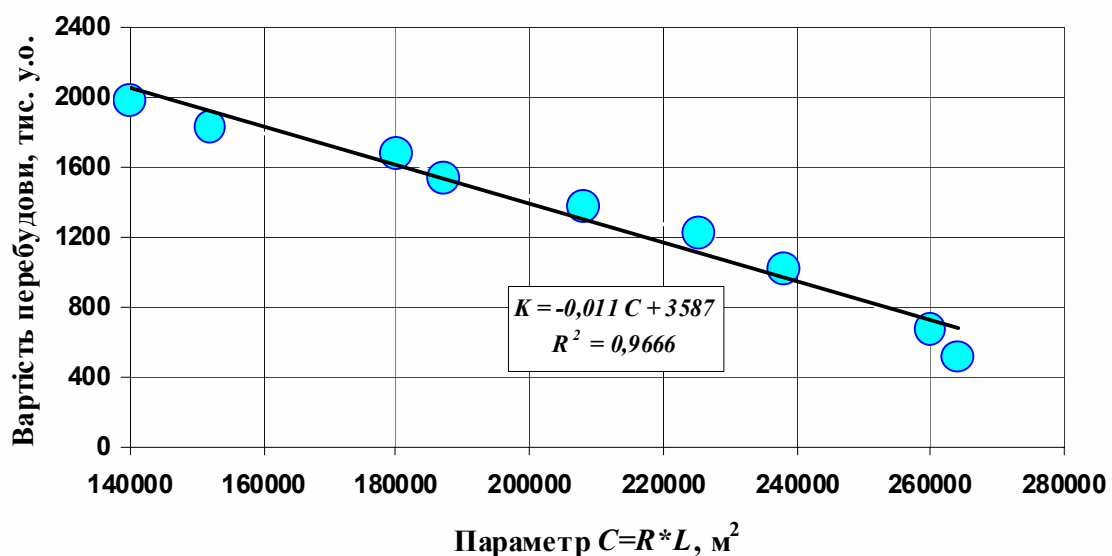


Рис. 4. Вартість перебудови кривої в залежності від параметра  $C$  (кут повороту 30°)

З результатів розрахунків виконаних при різних значеннях кута повороту випливає, що в кривих з кутом 30 град. вартість перебудови кривих збільшується у 2.3...3.3 рази у порівнянні з кутом повороту 20 град. В кривих з кутом повороту 40 град вартість збільшується відповідно у 4...5,9 рази. Тому, рекомендації ДБН В.2.3-19-2008 щодо урахування значень радіусів кривих існуючої колії хоча і є не конкретними, але правомірними.

Отже, за умови мінімальної вартості перебудови кривих бажано, щоб  $C \rightarrow \max$  при  $R \rightarrow \min, L \rightarrow \max$ . Розглянемо це питання з позиції динаміки взаємодії екіпажів в кривих з різними параметрами  $C$ .

За базову прийнята модель просторових ко-

ливань швидкісного пасажирського вагона [3], що була адаптована для вирішення конкретних задач в дисертації. Були встановлені залежності бокових  $Y_B$ , рамних сил  $Y_R$ , коефіцієнта горизонтальної динаміки  $k_{GD}$  та інших показників від параметру  $C$ .

Для прикладу на рис. 5 і 6 наведені залежності  $Y_R$  і  $k_{GD}$  від параметру  $C$ .

Коефіцієнт горизонтальної динаміки визначається як відношення максимальної рамної сили  $Y_R$  до статичного навантаження  $P_{ст}$  колісних пар на рейки

$$k_{GD} = \frac{Y_R}{P_{ст}} \leq 0,4. \quad (3)$$

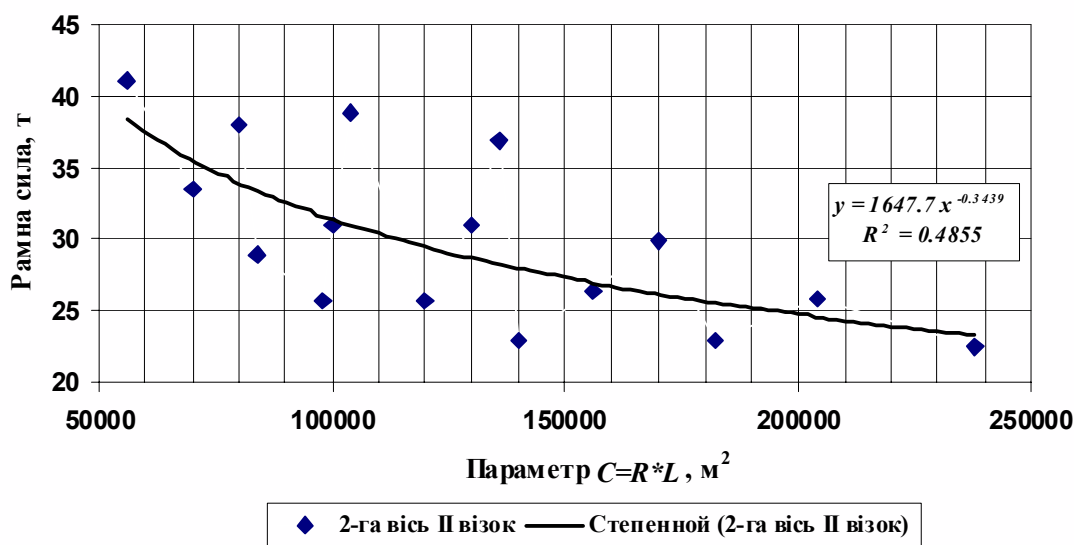


Рис. 5. Зміна величини рамної сили від параметру  $C$

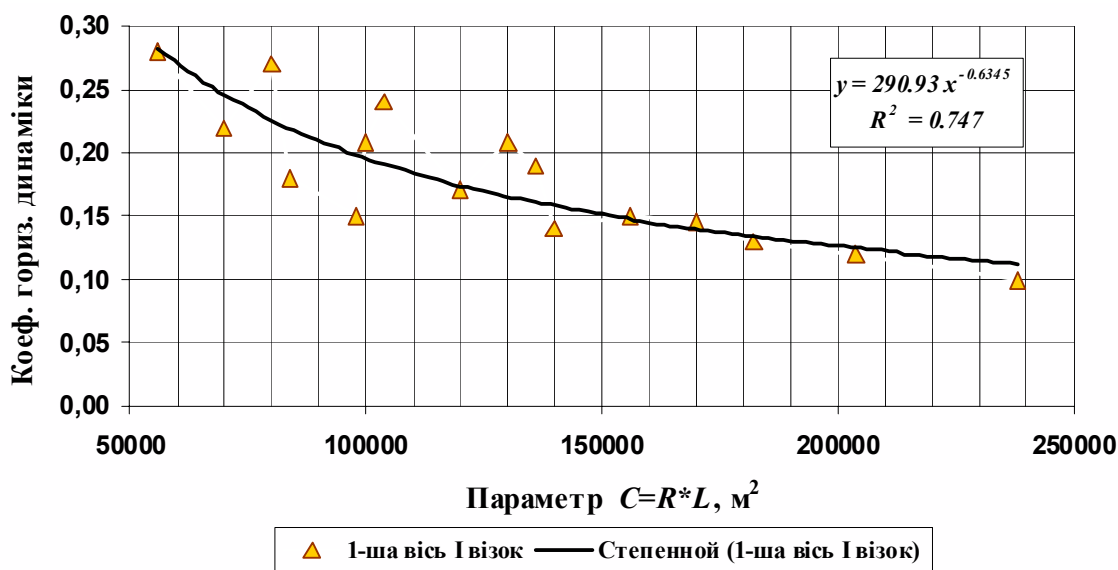


Рис. 6. Зміна коефіцієнту горизонтальної динаміки від параметру  $C$ .

З рис. 6 видно, що при збільшенні параметра  $C$  з 50000 до 250000 м<sup>2</sup> коефіцієнт  $k_{GD}$  зменшується від 0,28 до 0,12, тобто умова безпеки від поперечного зсуву рейко-шпальної решітки (3) виконується і тим надійніше, чим більший параметр  $C$ .

Аналіз таких графіків дозволяє зробити висновки на користь прийняття більшого параметру  $C$ , так як проглядається тенденція до зменшення як бокових, так і рамних сил при його зростанні.

### 3. Реалізація запропонованої методики

Для прикладу застосування запропонованої методики розглядається перегін Максимівка-Бірки Великі Львівської залізниці. За результатами тягових розрахунків (електровоз ДСЗ, маса рухомого складу 600 т) побудована крива швидкості руху  $V = f(S)$ , рис. 7. З аналізу кривої  $V = f(S)$  видно, що максимальна швидкість 160 км/год не реалізується за двома причинами: *по-перше*, за наявності на 1312 км кривої радіусом  $R_{існ} = 1050$  м із перехідними

$L_1 = L_2 = 90$  м; *по-друге*, за наявністю ділянки 1312 км – 1314 км в парному напрямку підйому близько 6‰.

Безумовно, найбільш вагомим фактором є перший. Інститутом «Київдіпротранс» в роботі [4] запропоновано збільшити радіус до  $R_{пр} = 1500$  м з перехідними  $L_1 = L_2 = 220$  м при максимальному зміщенні осі колії близько 6 метрів.

Виникає питання, чи можна вважати таке рішення оптимальним. Щоб на нього відповісти, ДПТом були виконані розрахунки для таких умов (1–4):

Максимальна швидкість на перегоні 160 км/год.

Непогашене прискорення для пасажирських поїздів  $[\alpha_{нп}]_{пас} = 0,7$  і  $1,0$  м/с<sup>2</sup>.

Непогашене прискорення для вантажних поїздів  $[\alpha_{нп}]_{ван} = -0,3$  м/с<sup>2</sup>.

Зміщення осі існуючої колії у межах смуги відводу  $S \leq 15$  м.

Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Мінімальна швидкість вантажного поїзда $V_{min}$ , км/год	Проектний радіус $R_{пр}$ , м	Довжина перехідної кривої $L$ , м	Параметр перехідної кривої $C = R \cdot L$ , м <sup>2</sup>	Зміщення осі колії $S$ , м
---	-------------------------------	-----------------------------------	---	----------------------------

Непогашене прискорення:

для пасажирських поїздів  $[\alpha_{нп}]_{пас} = 0,7$  м/с<sup>2</sup>, для вантажних  $[\alpha_{нп}]_{ван} = -0,3$  м/с<sup>2</sup>

45	1820	80	145600	7,6
60	1700	100	170000	6,4
75	1550	120	186000	4,9
90	1350	160	216000	3,2

Непогашене прискорення:

для пасажирських поїздів  $[\alpha_{нп}]_{пас} = 1,0$  м/с<sup>2</sup>, для вантажних  $[\alpha_{нп}]_{ван} = -0,3$  м/с<sup>2</sup>

45	1400	90	126000	3,2
60	1310	110	144100	2,3
75	1200	140	168000	1,3
90	1100	180	198000	0,7

З Правил [5] відомо, що на вибір проектних параметрів кривої впливають не тільки максимальна швидкість пасажирських поїздів, але й мінімальна швидкість вантажних. Відповідно до ПТР [6] вантажний поїзд з електровозом

ВЛ80 може рухатись при повному (нормальному) збудженні тягових двигунів на 29 і 25 позиціях. У першому випадку швидкість в кінці підйому становить 60 км/год, у другому – 45 км/год (рис. 8). При таких швидкостях вантаж-

ного поїзда, мінімальний радіус кривої може знаходитись в діапазоні 1700-1820 м при довжині перехідних кривих відповідно 100 і 80 ме-

трів. При цьому зміщення осі існуючої колії складе 6,4...7,6 метрів.

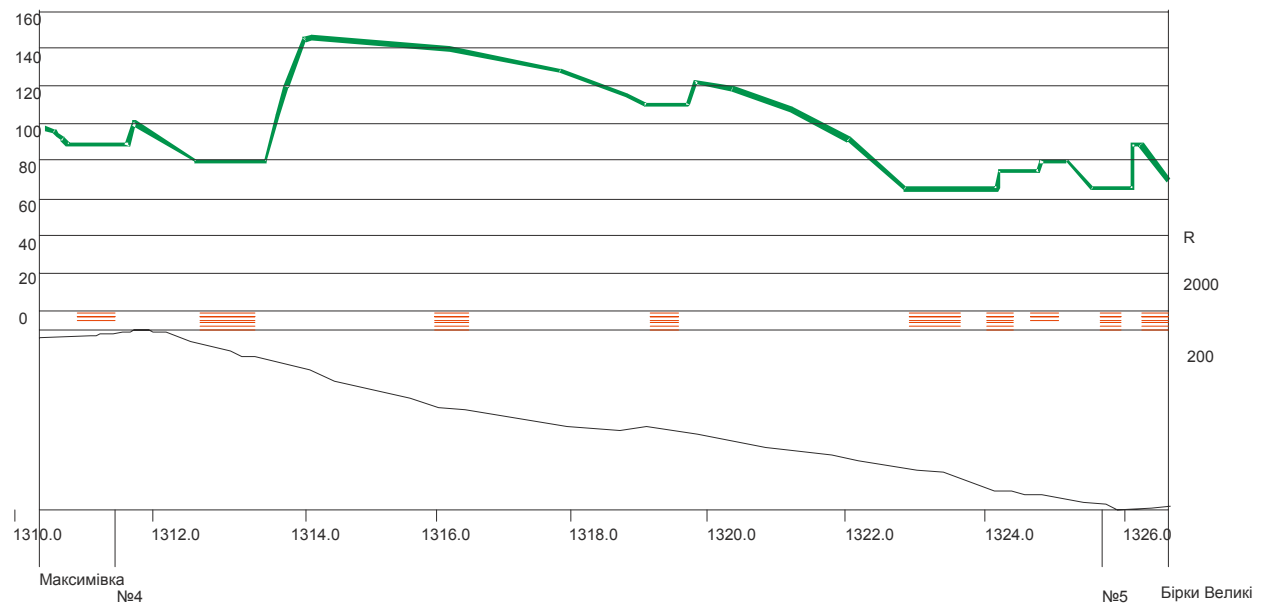


Рис. 7. Крива швидкості руху пасажирського поїзда (електровоз ДС3, маса 600 т) на перегоні Максимівка–Бірки Великі (парний напрям)

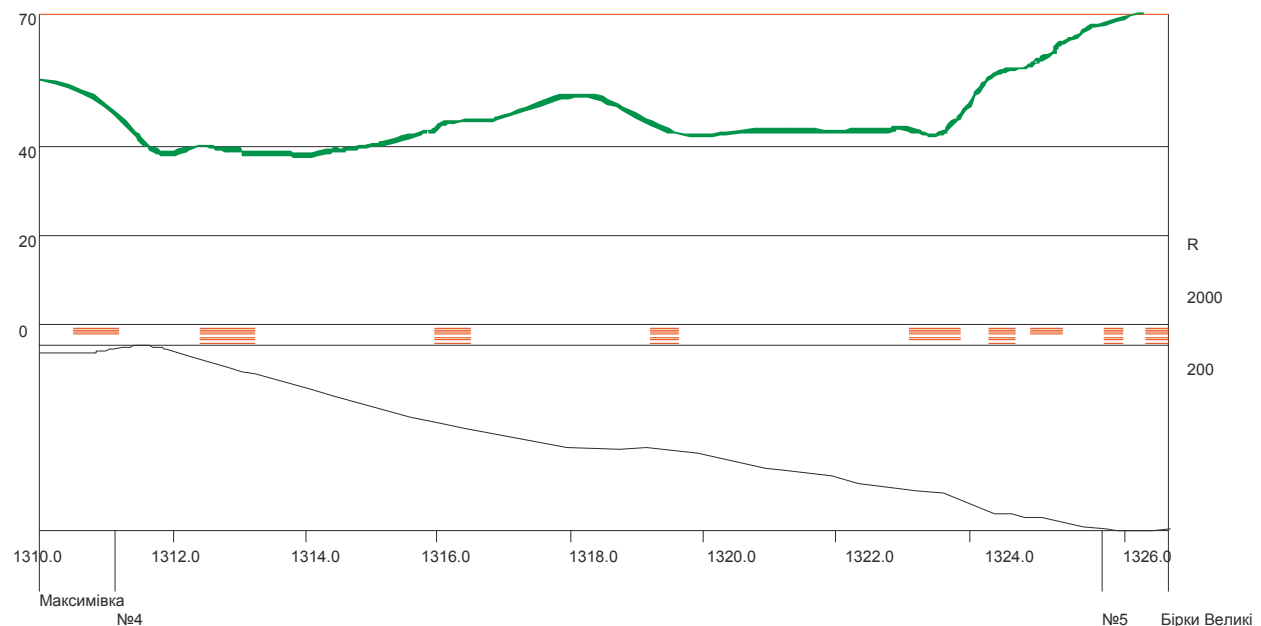


Рис. 8. Крива швидкості руху вантажного поїзда (електровоз ВЛ80, маса 2800 т, 25 поз.) на перегоні Максимівка–Бірки Великі (парний напрям)

Для зменшення обсягів робіт, отже й вартості реконструкції, можна запропонувати збільшити норматив непогашеного прискорення для пасажирських поїздів до  $1,0 \text{ м/с}^2$  (з дозволу Укрзалізниці). В такому випадку мінімальний радіус кривої буде 1310...1400 м при довжині перехідних кривих відповідно 110...90 м.

При виконанні умов (1–4) кожному конкретному радіусу відповідає певна довжина пере-

хідної кривої. Були побудовані й проаналізовані графіки залежності зміщення осі колії  $S$  від параметра  $C$  (рис. 9, 10).

З рисунків випливає, що при збільшенні параметру  $C$  зменшується зміщення осі існуючої колії, а отже і витрати на перебудову кривих, що підтверджено розрахунками (табл. 2, рис. 11).



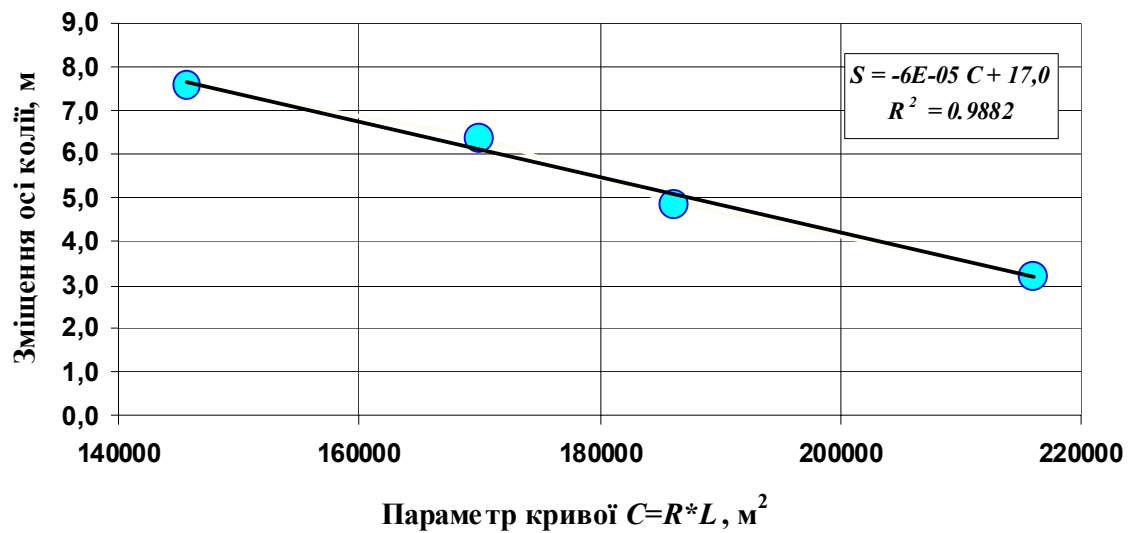


Рис. 9. Зміщення осі колії при перебудові кривої на перегоні Максимівка-Бірки Великі, км 1320

(швидкість 160 км/год,  $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{пас}} = 0,7 \text{ м/с}^2$ ,  $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{ван}} = -0,3 \text{ м/с}^2$ )

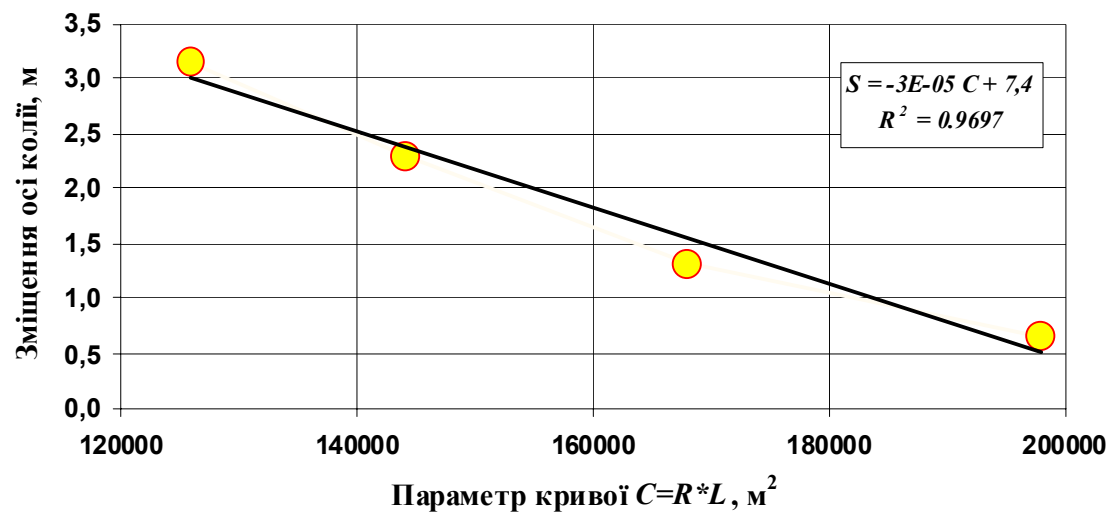


Рис. 10. Зміщення осі колії при перебудові кривої на перегоні Максимівна - Бірки Великі, 1320 км

(швидкість 160 км/год,  $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{пас}} = 1,0 \text{ м/с}^2$ ,  $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{ван}} = -0,3 \text{ м/с}^2$ )

Таблиця 2

Витрати на перебудову кривих при різних проектних параметрах

$R, \text{ м}$	$L, \text{ м}$	$C, \text{ м}^2$	Витрати, тис. у.о.	Витрати, %
1350	160	216000	160,261	100,0
1550	120	186000	220,274	137,4
1700	100	170000	275,736	172,1
1820	80	145600	324,41	202,4

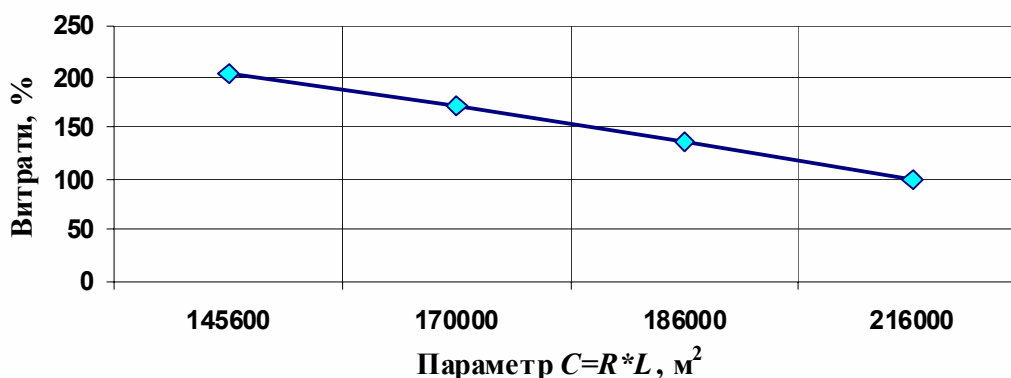


Рис. 11. Залежність витрат на перебудову кривих від параметру  $C$

### Висновки

1. При розмежуванні вантажного й пасажирського руху й спеціалізації напрямків для перевезень змінюються швидкості руху, параметри поїздопотоків, що викликає необхідність в корегуванні параметрів кривих при реконструкції плану лінії.
2. Застосування розробленої в ДІТі методики дозволяє визначати такі параметри кривих  $C = R \cdot L$ , що забезпечують максимально допустиму швидкість при мінімальних витратах на перебудову кривих і раціональних динамічних показниках взаємодії рухомого складу і колії в таких кривих.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Текст]. – К., 2010. – 16 с.

2. Иоаннисян, А. И. Улучшение трассы существующих железных дорог. [Текст] / А. И. Иоаннисян. – М.: Транспорт, 1972.
3. Данович, В. Д. Математическая модель взаимодействия пути и пассажирского вагона при движении по участкам произвольной кривизны [Текст] / В. Д. Данович, А. Г. Рейдемейстер, Н. В. Халипова // Транспорт: Сб. научн. тр. ДИИТа. – Вып. 8 – Д., 2001. – С. 124–138.
4. Перевлаштування колійної інфраструктури та залізничних мереж для впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на напрямку Київ-Львів, ділянка Підволочиськ-Львів [Текст]. – К.: Київдіпротранс, 2007.
5. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії [Текст] / ЦП 0236: Затв.: Наказ Укрзалізниці від 14.12.2010 №778-Ц. – К., 2011. – 56 с.
6. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

Надійшла до редколегії 22.11.2011.  
Прийнята до друку 25.11.2011.

Н. Б. КУРГАН, М. А. ГУСАК, Н. П. ХМЕЛЕВСКАЯ

## ПЕРЕУСТРОЙСТВО КРИВЫХ ДЛЯ ВВЕДЕНИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ

Приведена методика установления рациональных параметров радиусов и переходных кривых, которые обеспечивают максимально допустимую скорость при минимальных затратах на реконструкцию плана.

*Ключевые слова:* максимальная скорость, радиус кривой, параметр переходной кривой, смещение оси пути

N. B. KURGAN, M. A. GUSAK, N. P. KHMELEVS'KA

## RECONSTRUCTION OF CURVES FOR INTRODUCTION OF HIGH-SPEED TRAFFIC OF PASSENGER TRAINS

The technique of determining the rational parameters of radii and transitive curves, which provide as much as possible admissible speed at the minimum expenses for plan reconstruction, is presented.

*Keywords:* maximum speed, curve radius, parameter of transitive curve, displacement of track axis

## ПРОГНОЗУВАННЯ ВТРАТ ЗАЛІЗНИЦЬ ВІД ДІЇ ОБМЕЖЕНЬ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ

Наведено методику і результати досліджень ефективності усунення обмежень швидкості руху поїздів.

*Ключові слова:* обмеження швидкості, втрати залізниці, економічна ефективність

### 1. Загальні положення

Підвищення ефективності та якості перевезень вантажів і пасажирів найбільшою мірою залежить від конструкції верхньої будови колії та її технічного стану.

Планомірне зростання та постійне вдосконалення технічного оснащення колії та споруд, їх технічне обслуговування забезпечують покращення експлуатаційних та економічних показників і, як результат, підвищують ефективність та конкурентоспроможність процесу перевезень. В останні роки в колійному господарстві відбуваються зміни, які спрямовані на підвищення якості ремонтів колії, швидкості руху поїздів, гарантування безпеки руху та зниження експлуатаційних витрат. Проблема обмеження швидкості руху поїздів безпосередньо пов'язана з цими питаннями. До того ж в сучасних умовах обмеженого фінансування питання раціонального розподілу коштів набуває особливої гостроти. Так, на рис. 1 наведено діаграму, яка характеризує зміни кількості кілометрів колії, які потребують модернізації або капітального ремонту, з 2006 по 2010 роки. З рис. 1 видно, що кількість прострочених кілометрів весь час перевищує кількість кілометрів, на яких виконано ремонти. А тому питання ефективності усунення обмежень, зумовлених станом залізничної колії, потребує вирішення.

### 2. Існуюча методика економічної оцінки

Існуюча методика оцінки ефективності усунення обмежень швидкості руху поїздів [1–2] зводиться до такого. Економічний ефект від зняття попередження досягається за рахунок:

- зниження механічної роботи та пов'язаних з цим додаткових витрат на паливно-енергетичні ресурси й ремонт рухомого складу і колії на ділянках гальмування і розгону;
- зменшення витрат з утримання локомотивів і вагонів пасажирських поїздів у зв'язку зі скороченням часу перебування поїздів на ділянках.

Подібна методика дозволяє встановлювати економічний ефект доволі опосередковано, із завищеними значеннями, оскільки порівнюється

швидкість до виникнення обмеження та допустима швидкість. Як показав аналіз, наведений у роботах [3–8], режим ведення поїзда, а відповідно і швидкості руху, відрізняються. Також у поданій методиці не враховується взаємний вплив декількох обмежень швидкості на ділянці. У цьому випадку тягово-енергетичні показники будуть іншими. Параметри поздовжнього профілю враховані опосередковано, а вплив параметрів плану взагалі не розглядається. Все це може привести до прийняття неправильного рішення при встановленні послідовності зняття обмежень швидкості.

### 3. Пропонована методика економічної оцінки

Сьогодні, в умовах обмеженого фінансування, при розподіленні коштів залізниць виникає потреба у більш точних методах оцінки ефективності капітальних вкладень. Існуюча методика не враховує такий показник, як додаткові витрати, що пов'язані зі станом залізничної колії. Аналіз, проведений у [8] показав, що при оцінці економічного ефекту від зняття обмеження швидкості необхідно враховувати додаткові витрати на поточне утримання та витрати, пов'язані з опором руху, на ділянках з простроченими ремонтами.

Проведені у роботах [6–9] дослідження дозволили запропонувати методику щодо оцінки втрат залізниці від дії обмежень швидкості руху поїздів, яка у загальному вигляді зводиться до такого:

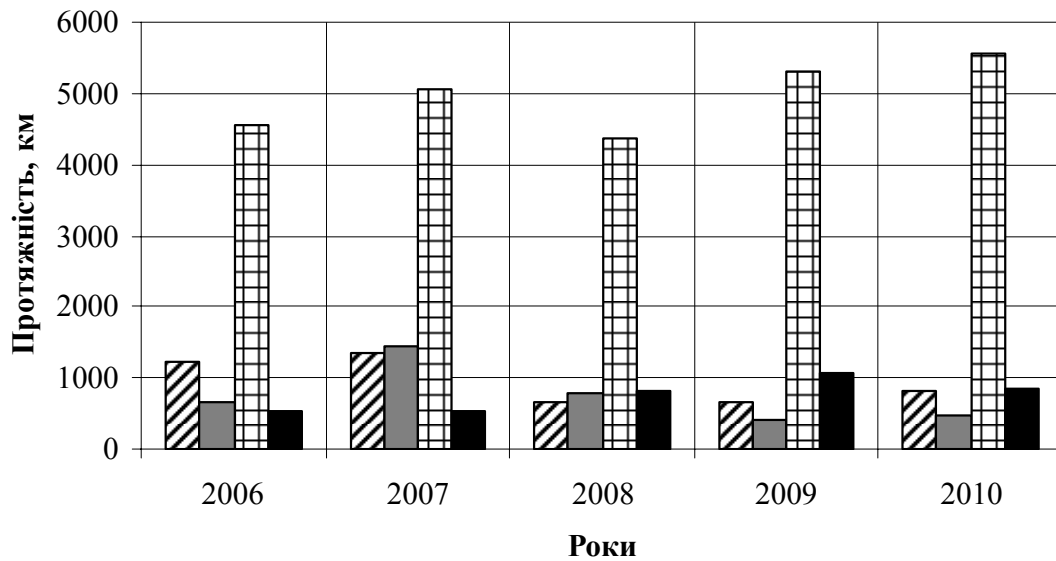
$$\Delta C = C_A + C_t + C_k + C_Q, \quad (1)$$

де  $C_A$  – витрати на додаткове споживання паливно-енергетичних ресурсів, тис. грн (рекомендовано визначати тяговими розрахунками);

$C_t$  – витрати на додаткові поїздо-години, тис. грн (рекомендовано визначати тяговими розрахунками);

$C_Q$  – додаткові витрати, пов'язані з масами вантажних поїздів, тис. грн;

$C_k$  – додаткові витрати, пов'язані зі станом залізничної колії, тис. грн.



▨ км, що потребують модернізації

■ фактично виконана модернізація

▩ км, що потребують капітального ремонту ■ фактично виконаний капітальний ремонт

Рис. 1. Динаміка зміни кількості кілометрів колії, які потребують модернізації або капітального ремонту по Укрзалізниці

Останні дві складові формули (1) пропонуються розраховувати за формулами (2) і (3):

$$C_Q = 365 \cdot n_{\text{вант}} \cdot (B_A + B_{\text{л}} + B_{\text{бр}} + B_{\text{зуп}}), \quad (2)$$

де  $n_{\text{вант}}$  – кількість пар вантажних поїздів, що пропускає ділянка залізниці за добу;

$B_A$  – додаткові витрати на паливо-енергетичні ресурси, тис. грн [9];

$B_{\text{л}}$  – додаткові витрати на локомотиви (штовхачі), що надаються, тис. грн [9];

$B_{\text{бр}}$  – додаткові витрати на локомотивні бригади, що обслуговують локомотиви-штовхачі, тис. грн [9];

$B_{\text{зуп}}$  – додаткові витрати, що зумовлені вимушеною зупинкою на станціях для надання штовхачів та їх відчеплення, тис. грн [9].

$$C_k = E_m + E_p. \quad (3)$$

У формулі (3)  $E_m$  – витрати на матеріали при поточному утриманні колії на ділянках з понаднормативним значенням пропущеного тоннажу, тис. грн:

$$E_m = E_{\text{пу}} \cdot L_{\text{обм}}. \quad (4)$$

У формулі (4)  $E_{\text{пу}}$  – додаткові витрати, зумовлені станом залізничної колії, тис. грн:

$$E_{\text{пу}} = a_0 + a_1 \cdot \Gamma + a_2 \cdot K + a_3 \cdot (T - T_n), \quad (5)$$

де  $\Gamma$  – вантажонапруженість лінії, млн. т-км бр/км на рік;

$K$  – протяжність кривих ділянок колії радіусом до 1 000 м, %;

$T$  – пропущений по ділянці тоннаж, млн. т;

$T_n$  – нормативний пропущений тоннаж, при якому призначається модернізація або капітальний ремонт згідно [10];

$a_0, a_1, a_2, a_3$  – коефіцієнти, знайдені за методом найменших квадратів, значення яких наведено у таблиці;

$E_p$  – додаткові витрати, пов'язані з опором руху від колії, тис. грн:

$$E_p = E_w \cdot L_{\text{обм}}, \quad (6)$$

$E_w$  – щорічне зростання опору руху від колії на ділянках з простроченим ремонтами [6];

$L_{\text{обм}}$  – довжина ділянки обмеження, км:

$$L_{\text{обм}} = \ell_{\text{обм}} + \ell_{\text{г}} + \ell_{\text{р}}, \quad (7)$$

де  $\ell_{\text{обм}}$  – безпосередньо довжина обмеження, км;

$\ell_{\text{г}}$  – довжина ділянки гальмування перед обмеженням швидкості приймається в залежності від маси поїзда і різниці швидкостей  $V_{\text{max}}$  і  $V_{\text{обм}}$ . Для орієнтовних розрахунків  $\ell_{\text{г}} = 1$  км;

$\ell_{\text{р}}$  – довжина ділянки розгону за обмеженням швидкості, км (залежить від профілю та маси вантажного поїзда), коливається від 1 до 15 км.

Таблиця 1

**Коефіцієнти до формули (5)**

Коефіцієнти	Прострочена модернізація колії	Прострочений капітальний ремонт
$a_0$	-3,812	-1,593
$a_1$	0,06849	0,09429
$a_2$	0,09294	0,02281
$a_3$	0,01704	0,00972

### Висновки

1. Для більш точного визначення втрат від діючих обмежень швидкості руху поїздів розроблено методику, яка враховує реальні умови на дослідній ділянці (вантажонапруженість, середньодобові розміри руху, дійсне скорочення часу руху та ін.).

2. Враховано важливу складову додаткових втрат залізниці від дії обмежень швидкості руху: зростання витрат на матеріали при поточному утриманні колії, яка становить близько 5 % від загального економічного ефекту, а в деяких випадках може досягати й 10 %.

3. Встановлено, що після перевезення по ділянці понад 700 млн т вантажів витрати на поточне утримання колії залежать від значення пропущеного тоннажу, вантажонапруженості та плану лінії.

4. Враховано витрати, пов'язані з опором руху від колії, які суттєво змінюються на ділянках з понаднормативним пропущеним тоннажем і можуть складати понад 80 % від загальної величини втрат.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений на железнодорожном транспорте [Текст] : № Г-11763м от 30.04.1971. – М.: Транспорт, 1973. – С. 71–74.
2. Ейтутіс, Г. Д. Столична магістраль в цифрах і фактах [Текст] : довідник / Г. Д. Ейтутіс, О. М. Кривопішин. – К., 2006. – С. 95–98.
3. Курган, М. Б. Економічна оцінка ефективності усунення обмежень швидкості руху поїздів, зумовлених станом залізничної колії [Текст] / М. Б. Курган, О. С. Чернишова // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. 69-ї Міжн. наук.-практ. конф. – Д., 2009. – С. 156–157.
4. Курган, М. Б. Додаткові витрати залізниці, зумовлені виникненням обмежень швидкості [Текст] / М. Б. Курган, О. С. Чернишова // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 70-ї Міжн. наук.-практ. конф. – Д., 2010. – С. 187–188.
5. Курган, М. Б. Вплив пропущеного тоннажу та плану лінії на витрати при поточному утриманні колії [Текст] / М. Б. Курган, О. С. Чернишова // [Текст] – С. 88–90.
6. Витрати, пов'язані з опором руху від колії [Текст] / О. В. Губар [та ін.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 28. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 58–60.
7. Курган, М. Б. Додаткові витрати залізниці, пов'язані з масами вантажних поїздів, на ділянках з діючими обмеженнями швидкості [Текст] / М. Б. Курган, О. С. Чернишова // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 70-ї Міжн. наук.-практ. конф. – Д., 2010. – С. 186–187.
8. Чернишова, О. С. Підвищення ефективності заходів зі зменшення обмежень швидкості руху поїздів, зумовлених станом залізничної колії [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06 / Чернишова Оксана Сергіївна. – Д., 2010. – 208 с.
9. Курган, М. Б. Додаткові витрати залізниці при виникненні обмежень швидкості руху на крутих затяжних підйомах [Текст] / М. Б. Курган, О. С. Чернишова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 38. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 114–116.
10. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України. ЦП-0113 [Текст] : від 10.08.2004, № 630-ЦЗ – К., 2004. – С. 11-19.

Надійшла до редколегії 21.06.2011.

Прийнята до друку 23.06.2011.

Н. Б. КУРГАН, О. С. ЧЕРНЫШОВА

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ОТ ДЕЙСТВИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ**

Изложены методика и результаты исследований эффективности устранения ограничений скорости движения поездов.

*Ключевые слова:* ограничения скорости, потери железных дорог, экономическая эффективность

N. B. KURGAN, O. S. CHERNYSHOVA

## **PREDICTION OF LOSSES OF RAILWAYS IF TRAFFIC SPEED IS LIMITED**

The technique and results of studies of efficiency of removing the speed limits of train traffic are presented.

*Keywords:* speed limits, losses of railways, economic efficiency

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОВЖИНИ ПРЯМОЇ ВСТАВКИ НА БЕЗПЕКУ РУХУ ВАГОНІВ СУМІЖНИМИ ПЕРЕВОДАМИ, УКЛАДЕНИМИ ЗА ПЕРШОЮ СХЕМОЮ

Наведено результати експериментального дослідження впливу довжини прямої вставки між суміжними стрілочними переводами, укладеними за першою схемою, на безпеку руху вагонів (за критерієм стійкості колеса від сходу з рейок).

*Ключові слова:* стрілочний перевід, пряма вставка, вагон, безпека руху

Відсутність або недостатня довжина прямої вставки  $d$  між суміжними стрілочними переводами є порушенням «Інструкції з улаштування та утримання колії залізниць України» [1], яке повинне усуватися під час їх ремонту або модернізації. Але через брак коштів та досліджень впливу довжини прямої вставки на безпеку руху поїздів і витрати з утримання таких переводів навіть під час модернізації це робиться дуже рідко. У результаті тривалий час розташування значної кількості переводів на залізницях України вимогам [1] не відповідає.

Об'єктом цього дослідження є пряма вставка між стрілочними переводами типу Р65 на залізобетонних брусах. Зважаючи на відмінну просторову стабільність таких переводів та практичну неможливість провалювання колісних пар всередину колії безпека руху поїздів по них гарантується за умови виконання двох основних вимог:

- показники взаємодії переводу та рухомого складу (напруження в металевих частинах, горизонтальні сили, що діють на рейки, горизонтальні переміщення брусів) не повинні перевищувати допустимих значень, наведених у [2];

- можливість викочування гребеня колеса рухомого складу на рейку(гостряк) стрілочного переводу має бути виключена.

У результаті виконаних раніше досліджень [3] виявлено, що зменшення довжини прямої вставки між суміжними переводами типу Р65 марки 1/11, укладеними за першою схемою, під час руху поїздів по бокових напрямках обох переводів призводить до збільшення горизонтального та, ймовірно, вертикального навантаження на криволінійний гостряк у межах бокового стругання. Але для переводів, конструкція яких передбачає повну кількість упорів у межах рамних рейок, допустимі величини показників взаємодії переводу та рухомого складу не перевищуються. Тому швидкості руху поїздів такими суміжними переводами, укладеними за

першою схемою, можна встановлювати як для одиночних, незалежно від довжини прямої вставки між ними.

У цій статті наведено результати наступного етапу досліджень безпеки руху поїздів по бокових напрямках обох суміжних переводів, розташованих за першою схемою: визначення впливу довжини прямої вставки на можливість викочування гребеня колеса вагонів на рейку.

### Методика проведення дослідження та обробки даних

Оцінка безпеки руху екіпажа за критерієм можливості викочування гребеня колеса на рейку в цій роботі здійснюється за допомогою величини, що називається «коефіцієнт запасу стійкості проти сходу під час викочування гребеня колеса на рейку» [4] (далі – коефіцієнт запасу стійкості). Для будь-якого моменту часу він розраховується за наведеною в [4] формулою, до якої входять коефіцієнти вертикальної динаміки в першому ступені підвішування обох коліс колісної пари, рамна сила, що на неї діє, та деякі постійні величини. Можливість викочування колеса на рейку виключена, якщо мінімальне значення коефіцієнта запасу стійкості перевищує нормативну величину.

Дослідження проводилося на тих самих переводах, що й дослідження [3], – переводі № 29 і № 43 ст. Запоріжжя-Вантажне Придніпровської залізниці (фрагмент схеми станції із зображеними на ній дослідними переводами наведено на рис. 1).

Вплив довжини прямої вставки на безпеку руху вагонів суміжними переводами визначався шляхом порівняння результатів, одержаних за крайніх значень довжини прямої вставки ( $d = 0$  і  $d = \infty$ ), з допустимими величинами. Цикл  $d = 0$  – дослідний поїзд рухається по бокових напрямках обох суміжних переводів, цикл  $d = \infty$  – тільки по боковому напрямку дослідного

переводу. Аналогічно [3] дані, одержані за циклом  $d = \infty$ , виконують функцію контролю: дають змогу оцінити стан дослідних переводів та вагонів з позиції їх придатності для досліджень, а два експерименти проведено для підвищення надійності їх результатів (спочатку дослідний поїзд рухався з переводу № 43 на перевід № 29, а потім, після розвороту, навпаки).

Дослідні переводи розташовані на головній колії, тип Р65, марка 1/11, проект 1740, бруси залізобетонні, пряма вставка між ними відсутня. По прямому напрямку переводів для пасажирських поїздів встановлена максимальна швидкість 100 км/год, для вантажних – 80 км/год; по боковому – 40 км/год для обох категорій поїздів. Переважна більшість поїздів рухається по прямому напрямку дослідних переводів, по боковому – здебільшого виконується тільки маневрова робота. На початок випробувань по дослідних переводах було пропущено близько 240 млн т вантажу бруто, але завдяки регулярній заміні та якісному утриманню металевих частин їх вертикальний та горизонтальний знос не перевищував 1...2 мм. Баластний шар та залізобетонні бруси, стан стрілочних переводів і прилеглих колій за рівнем та положенням у плані загалом відповідали вимогам [1] (детальні обміри дослідних переводів, виконані після закінчення випробувань за технологією, аналогічною наведеній у [5], підтвердили цей висновок).

Як дослідні вагони були вибрані чотиривісний піввагон на візках моделі 18-100 в завантаженому (маса вагона 88,5 т, щебін) та порожньому (20,7 т) станах та пасажирський вагон на візках КВ3-ЦНИИ (вагон-лабораторія ГНДЛ «Вагони»). Крім вагонів до дослідного поїзда входили також два електровози серії ВЛ11 (один у голові поїзда, другий – у хвості) для організації руху дослідного поїзда «човником». Візки завантаженого піввагона пройшли модернізацію: ковзуни звичайної конструкції були

замінені на пружні (за рахунок постійного контакту надресорної балки з кузовом вагона ця модернізація зумовлює деяке збільшення моменту опору повороту візка відносно кузова та сприяє зростанню рамної сили, що, за інших рівних умов, на коефіцієнт запасу стійкості впливає негативно). Під час випробування технічний стан вагонів контролювався працівниками служби вагонного господарства та ГНДЛ «Вагони» – відступів від норм утримання зареєстровано не було.

Вертикальні та рамні сили, необхідні для розрахунку коефіцієнта запасу стійкості проти сходу, визначалися для перших за напрямком руху дослідних вагонів осей обох візків. Крім того, реєструвалися деякі інші процеси, потрібні для прив'язки одержаних даних до переводів (прискорення букс колісних пар пасажирського вагона) та повнішого опису динаміки та кінематики руху вагонів суміжними переводами (рис. 2).

Датчики, за допомогою яких проводилися вимірювання, встановлювалися на рухомому складі відповідно до вимог [4] та з'єднувалися комутаційними мережами з апаратурою вагона-лабораторії. Далі вони тарувалися відповідно до стандартних методик ГНДЛ «Вагони», яка проводила випробування. Під час досліджень застосовувалися прямокутні тензорезистори КФ5П1 з базою 20 мм виробництва ВФ «Веда» (ТВ 3.06 України 7710-0001-93), тензопідсилювачі типу ТУМ-12, вимірювально-реєстраційна станція на базі ПЕОМ з частотою опитування датчиків 300 Гц, швидкостемір, датчики вимірювання лінійних переміщень типу ЛХ-704, акселерометри типу АТ 1105-5. Вимірювальна апаратура була атестована та перевірена.

Польова частина досліджень проводилася з 12 до 15 травня 2008 року. Поїздки дослідного поїзда здійснювалися із швидкостями 5, 15, 25 і 40 км/год у режимі вибігу (по 3 поїздки з кожною швидкістю).

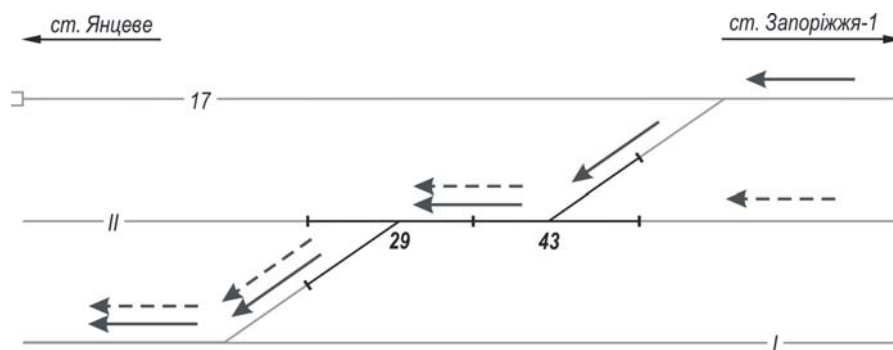
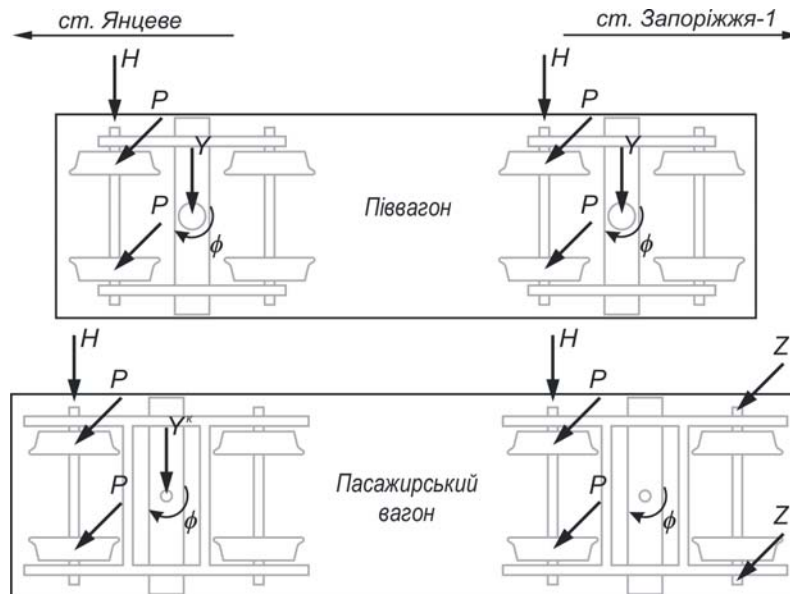


Рис. 1. Фрагмент схеми станції Запоріжжя-Вантажне (суцільними стрілками зображено маршрут руху поїзда під час випробувань переводу № 29 за циклом  $d = 0$ , пунктирною –  $d = \infty$ )





Умовні позначення:

- $P$  – коефіцієнт вертикальної динаміки в першому ступені підвішування;  
 $H$  – рамна сила;  
 $Y$  – горизонтальне прискорення підп'ятника піввагона;  
 $Y^*$  – горизонтальне прискорення кузова пасажирського вагона над шворневою балкою на рівні підлоги;  
 $\phi$  – кут повороту візків відносно кузова;  
 $Z$  – вертикальне прискорення букс

Рис. 2. Процеси, що вимірювались під час досліджень

Перед розрахунком коефіцієнта запасу стійкості процеси, що вимірювались (крім прискорень букс), були профільтровані з метою вилучення високочастотних складових (відповідно до вимог [4] діапазон частот процесів перед обробкою та аналізом має бути в інтервалі 0...20 Гц). Для цього використовувалося програмне забезпечення ГНДЛ «Вагони», розроблене на основі дискретних прямого та зворотного перетворень Фур'є. Значення постійних величин, що застосовувались під час розрахунку коефіцієнта запасу стійкості, наведені нижче:

1. Кут нахилу твірної гребеня колеса до горизонтальної осі (для коліс за [6]) ..... 60°
2. Коефіцієнт тертя поверхні коліс по рейках ..... 0,25
3. Вертикальне статичне навантаження на шийку осі колісної пари, кН:
  - завантажений піввагон ..... 208,46
  - порожній піввагон ..... 36,05
  - пасажирський вагон ..... 105,16
4. Вага невідресорених частин, що припадає на колісну пару, кН:
  - для піввагонів ..... 14,4
  - для пасажирського вагона ..... 15,6
5. Відстань між серединами шийок осі колісної пари, м ..... 2,036
6. Відстань від точок контакту коліс з рейками до середини шийки осі колісної пари, м:
  - для колеса, що набігає ..... 0,264

- для колеса, що не набігає ..... 0,219
- 7. Відстань між точками контакту колісної пари з рейками, м ..... 1,58
- 8. Радіус кола кочення (для коліс за [6]), м ..... 0,475.

Для кожних дослідного перевodu, вагона, циклу й швидкості руху було одержано по три реалізації коефіцієнта запасу стійкості (тільки в одному випадку через технічні причини вийшла одна реалізація та в кількох – дві). За початок та кінець реалізації прийнято відповідно передній стик рамної рейки дослідного перевodu та найближчий до нього кінець відхилення контррейки – на нашу думку, схід вагона через викочування колеса на рейку на ділянці дії контррейки та вусовика хрестовини практично неможливий. Довжина реалізації склала 28,8 м.

Лише у 5 % випадків реалізації відрізнялися одна від іншої, причому три чверті незбігів припадало на порожній вантажний вагон і чверть – на пасажирський. Найімовірніше, що причинами такого хорошого збігу реалізацій є плавний рух дослідного поїзда переводами та ефективна робота гасителів коливань візків вагонів, а велику частку незбігів, які припадають на порожній вагон, можна пояснити надмірною для порожнього режиму жорсткістю ресорного підвішування візків моделі 18-100.

Зважаючи на невелику кількість значень у одній реалізації (800...6200), за мінімальне значення коефіцієнта запасу стійкості приймався мінімум цієї функції, а не мінімальне ймовірне значення, як звичайно. Хороший збіг реалізацій між собою дозволив збільшити точність визначення коефіцієнта запасу стійкості за рахунок його розрахунку як середнього з кількох одержаних величин (різниця між крайніми значеннями коефіцієнта найчастіше складала 0,3...0,5, у деяких випадках досягала 0,9). У разі значної різниці між реалізаціями до уваги брався найбільш несприятливий випадок.

Відповідно до кількості значень в одній реалізації за граничне значення коефіцієнта запасу стійкості проти сходу прийнято для пасажирського вагона 1,7, для вантажного – 1,5 [4].

### Результати дослідження

Залежності коефіцієнта запасу стійкості проти сходу під час викочування на рейку(гостряк) дослідного перевodu від швидкості для колеса, що набігає, наведені на рис. 3 і 4. Тут чорним кольором показано дані, одержані за циклом  $d = 0$ , сірим –  $d = \infty$ , кружечками позначені величини, отримані для дослідного перевodu № 43, трикутниками – № 29, горизонтальна лінія вказує допустиму величину. На рис. 5–7 зображені оригінальні реалізації коефіцієнта запасу стійкості по довжині перевodu, одержані для різних вагонів під час руху із швидкістю 40 км/год (відібрані найбільш несприятливі випадки відповідно до даних рис. 3 і 4: завантажений піввагон – перевід № 43, порожній піввагон та пасажирський вагон – перевід № 29). Значення сірого та чорного кольорів тут таке саме, як і на рис. 3 і 4.

Аналіз цих даних дозволяє зробити такі висновки:

- безпека руху дослідних вагонів за умови прямування по кожному з дослідних переводів як по одиночному (цикл досліджень  $d = \infty$ ) гарантується, що підтверджує справний стан дослідних переводів і вагонів та їх придатність для проведення досліджень;

- коефіцієнт запасу стійкості, зареєстрований за циклу  $d = 0$ , більший за допустиму величину в усіх досліджених випадках. Це дозволяє з упевненістю стверджувати, що конструкції перевodu типу Р65 марки 1/11 проекту 1740, піввагонів на візках 18-100 та пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ гарантують неможливість викочування колеса на рейку під час прямування по бокових напрямках суміжних переводів, укладених за першою схемою. Та-

ким чином, довжина прямої вставки між стрілочними переводами зазначеного проекту на безпеку руху вагонів наведеної вище конструкції за цим критерієм не впливає;

- для завантаженого піввагона та пасажирського вагона наявна тенденція щодо зменшення коефіцієнта запасу із збільшенням швидкості руху незалежно від циклу досліджень. Для порожнього вагона підстави для такого твердження відсутні – не виключено, що в цьому випадку швидкість впливає на коефіцієнт запасу стійкості меншою мірою.

Звертає на себе увагу залежність коефіцієнта запасу стійкості від швидкості, що спостерігалася для другого візка завантаженого піввагона під час руху дослідним переводом № 43 за циклу  $d = \infty$  – коефіцієнти суттєво менші, ніж у решті випадків, хоча граничної величини все ж не досягають (див. рис. 4, а). Аналіз первинних даних показує, що в цьому випадку за всіх швидкостей руху вагона мінімум коефіцієнта реєструвався на відстані 2...3 метри від переднього стику рамної рейки. Це зумовлено значними величинами рамних сил і коефіцієнта вертикальної динаміки (КВД) на колесі, що набігає (КВД на колесі, що не набігає, на величину коефіцієнта впливає дуже мало). Найімовірніше, що причиною появи значних рамних сил та розвантаження колеса, що набігає, стало осідання величиною 14 мм у передньому стику рамної рейки разом із зім'яттям кінців рейок до 2 мм та невеликим кутом у плані. За відсутності цих відступів коефіцієнти були б суттєво більшими.

Зображені на рис. 5–7 залежності пояснюють, чому коефіцієнти запасу, одержані для різних циклів досліджень (див. рис. 3 і 4), відрізняються між собою більшою або меншою мірою: якщо екстремуми обох функцій припадають на ділянку збігу, тоді різниця невелика, в іншому випадку – значна.

Найкраще залежності коефіцієнта запасу стійкості від довжини перевodu збігаються для пасажирського вагона, трохи гірше – для завантаженого і зовсім погано – для порожнього піввагона, хоча іноді (найчастіше для другого візка) траплялися випадки дуже непоганого збігу. Рахуючи від переднього стику рамної рейки, довжина ділянки незбігу для пасажирського вагона досягає 3 м, а для завантаженого – 12 м. Також слід зазначити, що одержані за різних швидкостей руху дослідного поїзда залежності коефіцієнта запасу стійкості по довжині перевodu дуже подібні між собою (незалежно від циклу дослідження).

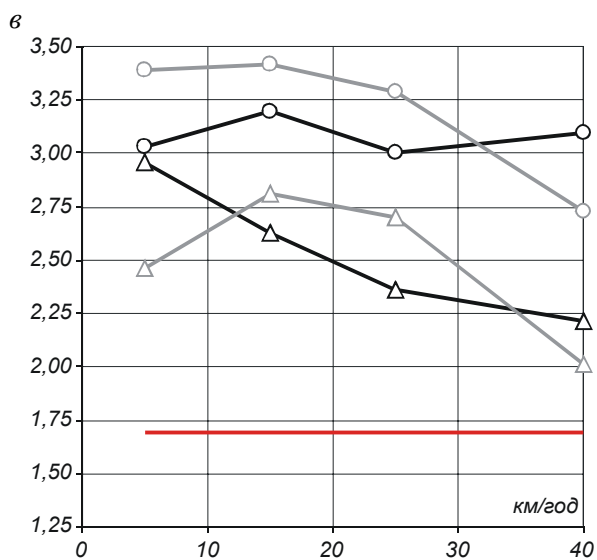
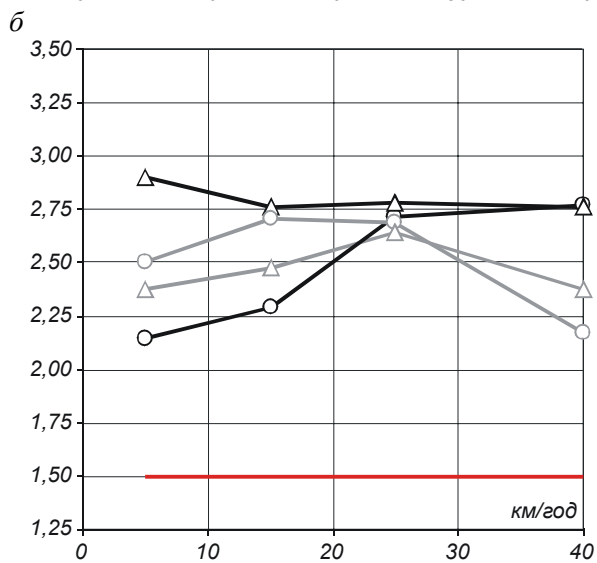
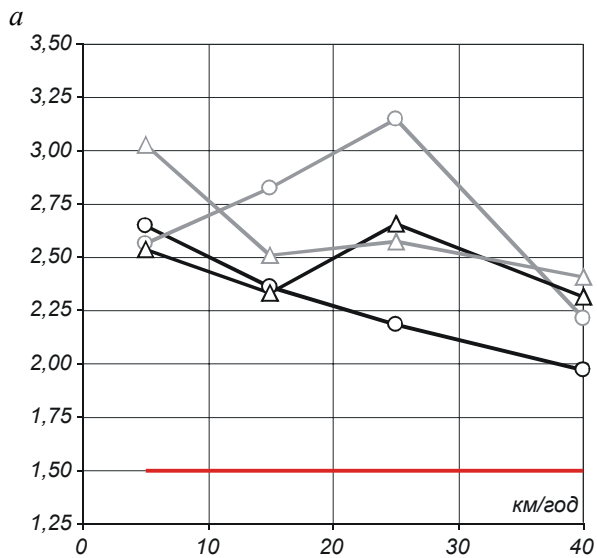


Рис. 3. Залежність коефіцієнта запасу стійкості від швидкості для різних типів вагонів (перший візок):  
*a* – завантажений піввагон, *б* – порожній піввагон,  
*в* – пасажирський вагон

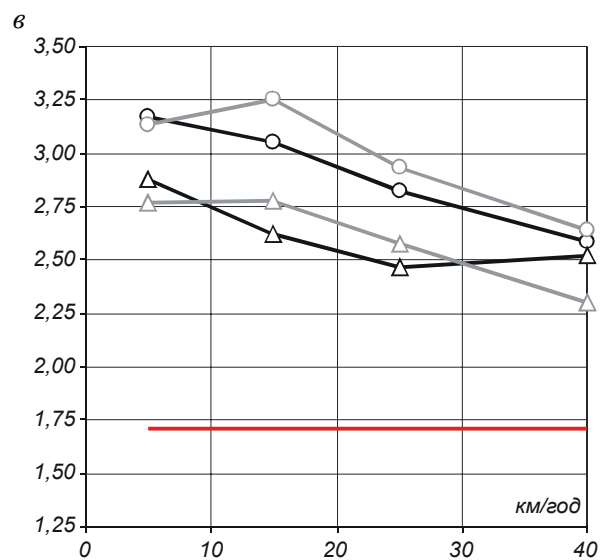
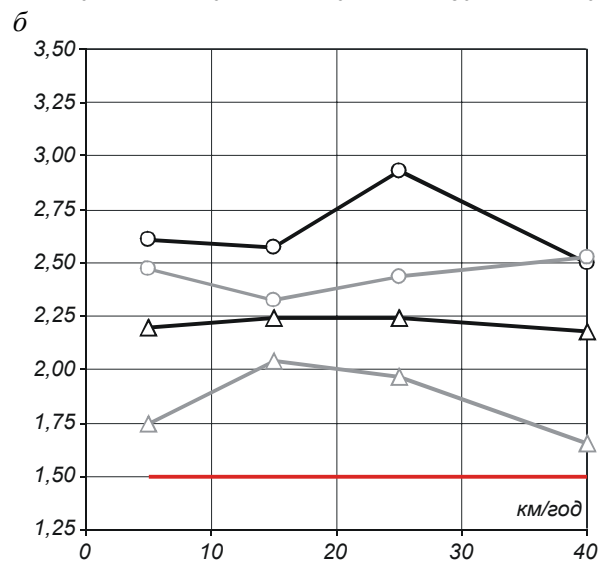
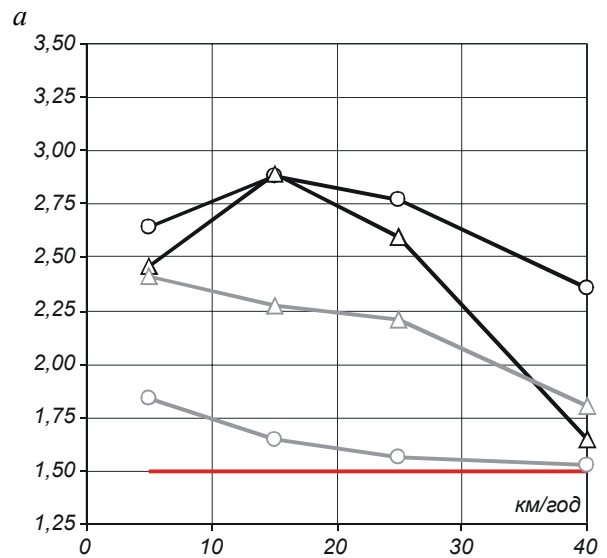


Рис. 4. Залежність коефіцієнта запасу стійкості від швидкості для різних типів вагонів (другий візок):  
*a* – завантажений піввагон, *б* – порожній піввагон,  
*в* – пасажирський вагон

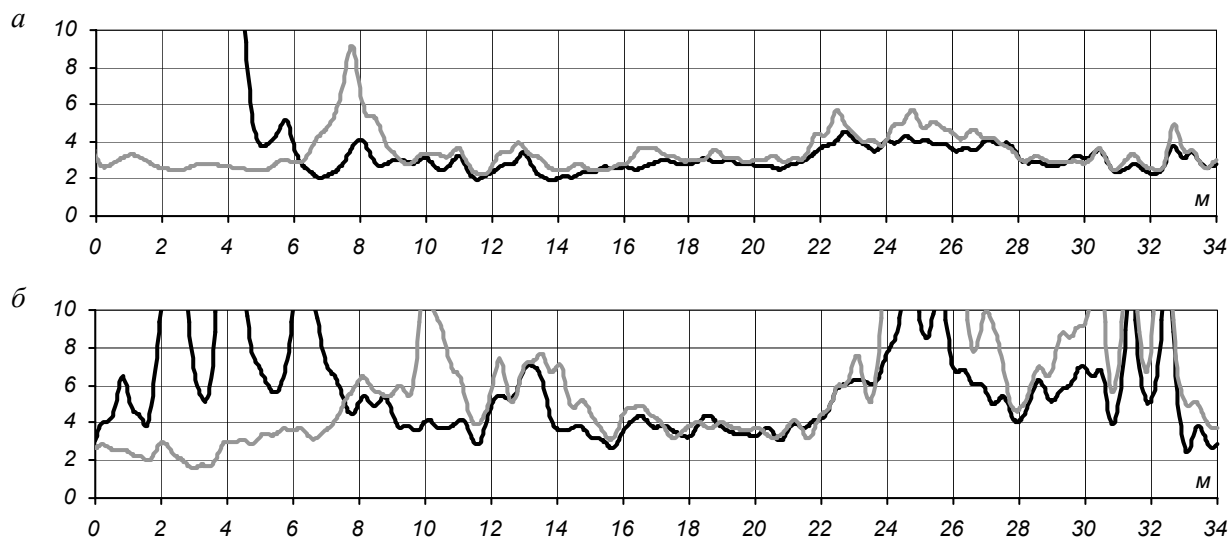


Рис. 5. Коефіцієнти запасу стійкості завантаженого піввагона: *а* – перший візок, *б* – другий візок

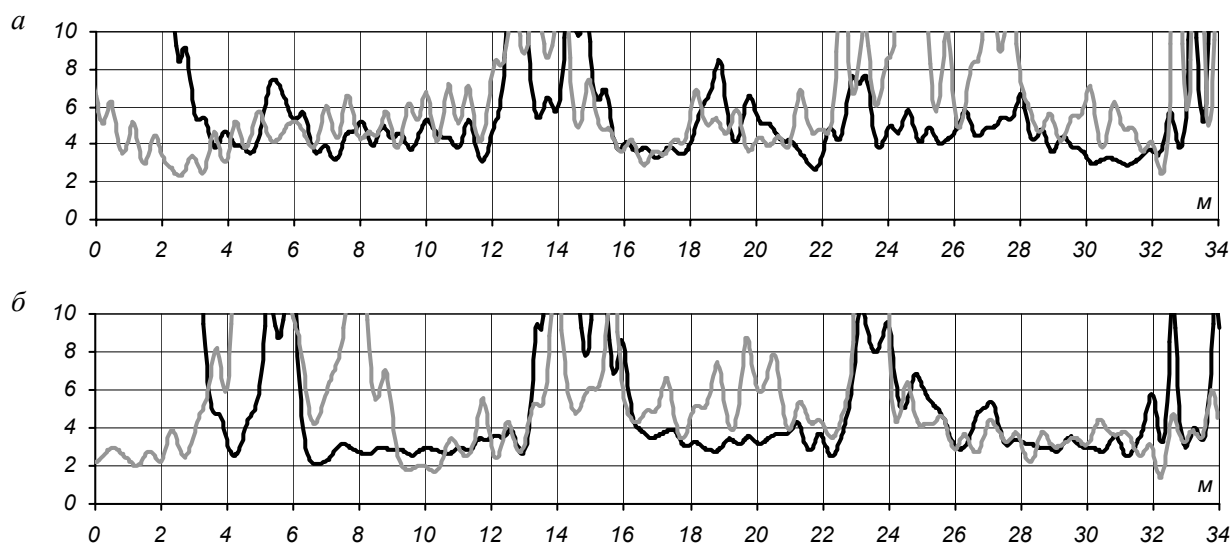


Рис. 6. Коефіцієнти запасу стійкості порожнього піввагона: *а* – перший візок, *б* – другий візок

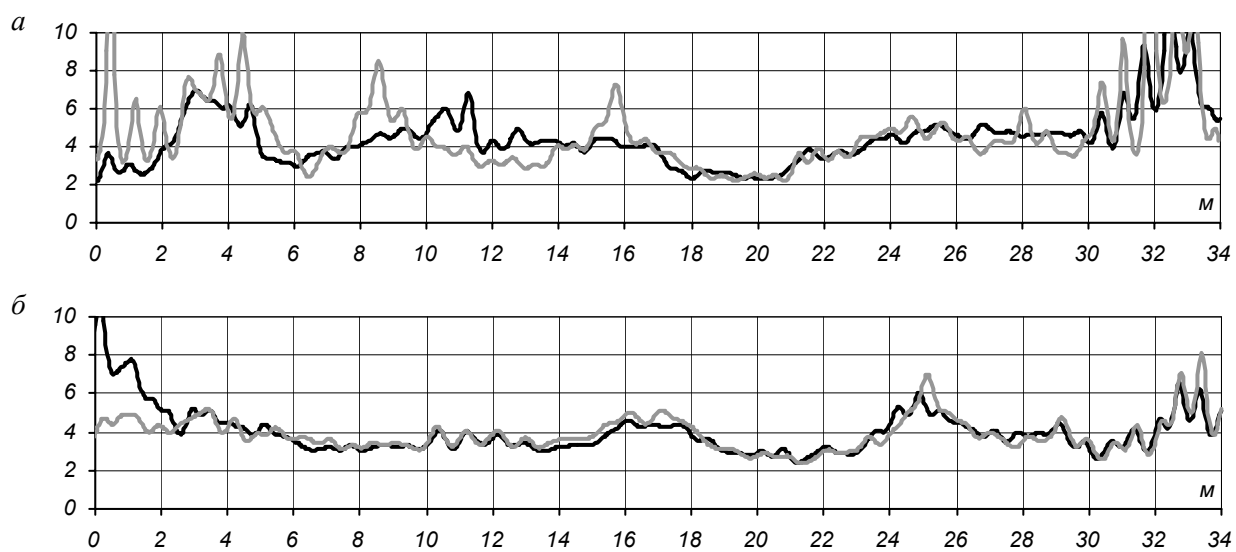


Рис. 7. Коефіцієнти запасу стійкості пасажирського вагона: *а* – перший візок, *б* – другий візок

## Висновки

1. Результати виконаних досліджень дозволяють з упевненістю стверджувати, що конструкції переводу типу Р65 марки 1/11 проекту 1740, піввагонів на візках 18-100 та пасажирського вагона на візках КВЗ-ЦНИИ гарантують неможливість викочування колеса на рейку під час прямування по бокових напрямках суміжних переводів, укладених за першою схемою. Таким чином, довжина прямої вставки між стрілочними переводами зазначеного проекту на безпеку руху вагонів наведеної вище конструкції за цим критерієм не впливає.

2. Для завантаженого піввагона на візках моделі 18-100 та пасажирського вагона на візках моделі КВЗ-ЦНИИ під час руху по боковому напрямку стрілочного переводу проекту 1740 із збільшенням швидкості спостерігається зменшення коефіцієнта запасу стійкості проти сходу.

Можливо, що для порожнього піввагона на візках моделі 18-100 швидкість впливає на коефіцієнт запасу стійкості меншою мірою.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП-0138 [Текст] : Затв.: Наказ Укрзалізниці 22.12.05. № 427-Ц. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2006. – 336 с.

2. Технічні вказівки з проведення натурних випробувань стрілочних переводів на міцність [Текст] : Затв.: Наказ Укрзалізниці 04.03.10. № 028-ЦЗ. – К., 2010. – 15 с.
3. Мойсеєнко, К. В. Вплив довжини прямої вставки на допустимі швидкості руху поїздів суміжними стрілочними переводами, укладеними за першою схемою [Текст] / К. В. Мойсеєнко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 38. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 117–126.
4. РД 24.050.37–90 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества [Текст]. – М.: ВНИИВ, 1990. – 49 с.
5. Курган, М. Б. Положення суміжних стрілочних переводів у плані й поздовжньому профілі [Текст] / М. Б. Курган, Т. А. Сенченко, К. В. Мойсеєнко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 75–82.
6. ГОСТ 9036–88 Колеса цельнокатаные. Конструкция и размеры [Текст]. – Введен 01.01.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 15 с.

Надійшла до редколегії 22.06.2011.

Прийнята до друку 29.06.2011.

К. В. МОЙСЕЕНКО, А. В. ШАТУНОВ

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ ПРЯМОЙ ВСТАВКИ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНОВ ПО СМЕЖНЫМ ПЕРЕВОДАМ, УЛОЖЕННЫМ ПО ПЕРВОЙ СХЕМЕ

Приведены результаты экспериментального исследования влияния длины прямой вставки между смежными стрелочными переводами, уложенными по первой схеме, на безопасность движения вагонов (по критерию устойчивости колеса от схода с рельсов).

*Ключевые слова:* стрелочный перевод, прямая вставка, вагон, безопасность движения

K. V. MOYSEYENKO, O. V. SHATUNOV

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF INFLUENCE OF LENGTH OF DIRECT INSERT ON SAFETY OF RUN OF CARS ON ADJACENT SWITCHES LAID ACCORDING TO THE FIRST SCHEME

The results of experimental research of influence of length of a direct insert between adjacent switches, laid according to the first scheme, on the traffic safety of cars (by criterion of the wheel stability against derailment).

*Keywords:* switch, direct insert, car, traffic safety

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПУТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ ЕГО ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Показано, что оценка состояния пути с помощью среднеквадратических отклонений геометрических параметров пути позволяет получить более объективную картину, чем при использовании существующих критериев. Это позволит лучше планировать ремонты пути.

*Ключевые слова:* оценка состояния пути, планирование ремонта пути, среднеквадратические отклонения геометрических параметров пути

Как известно, для оценки состояния пути и планирования путевых работ на некоторых европейских железных дорогах используют среднеквадратические отклонения (СКО) геометрических параметров пути (ГПП) и прогнозы их изменения. Так, например, делают на железных дорогах Австрии, Великобритании, Нидерландов и др. [1]. Поскольку величина СКО характеризует отклонения показателей пути на всем рассматриваемом фронте, то она позволяет оценить фактическое состояние пути на исследуемом участке. Оценка СКО, при этом, выполняется для отдельных не перекрываемых участков пути длиной 200...300 м. Далее, полученные результаты сравнивают с допустимыми значениями соответствующих ГПП и на основании этого сравнения принимают решения о выполнении соответствующих путевых работ. Однако, в этом случае, при оценке состояния пути по величинам СКО можно на границах выбранных участков потерять отдельные неровности, которые могут оцениваться неоднозначно.

Ученые России предложили усовершенствование этого метода, которое назвали методом скользящего СКО [2]. При этом расчеты СКО выполняются для последовательных участков пути длиной 100 м, перекрывающих друг друга на протяжении 20 м. В этом случае значения СКО можно безопасно использовать для оценки фактического состояния пути с одинаковым подходом к оценке любых неровностей, поскольку границы участков перекрываются. Однако, в этом случае неровности, находящиеся на границах 20-метровых участков, могут оцениваться не одинаково при подходах к ним слева и справа.

Нами в качестве базы для расчета предлагается использовать отрезок длиной 100 м, который линейно аппроксимирует конкретный ГПП и в середине которого рассчитывается отклонение. Этот отрезок движется по пути от начала участка до его конца и при этом выполняется расчет СКО ГПП. В качестве исходных данных для исследований фактического состояния пути с помощью СКО ГПП могут быть использованы результаты промеров его состояния вагонами-путеизмерителями типа КВЛ.

В наших исследованиях для этого были получены копии электронных файлов с записями результатов прохода вагона-путеизмерителя по некоторым участкам Приднепровской ж.д. Для анализа этих записей разработчиками программного обеспечения вагонов-путеизмерителей типа КВЛ нам была любезно предоставлена программа для расшифровки соответствующих электронных файлов. Информация в файлах сохраняется с определенным шагом (около 1,84 м). Однако, в действительности, при разных проходах по одному и тому же участку расстояние между соседними записями могут сильно отличаться из-за проскальзывания измерительного колеса вагона-путеизмерителя. Кроме того, нет четкой привязки границ участка из-за отсутствия километровых и пикетных знаков. Эти недостатки требуют корректировки начала участка и продольного масштабирования записей.

Примеры таких откорректированных записей для одного километра перегона Раздоры – Письменная Приднепровской ж.д. приведены на рис.1 – 4. При этом на рисунках совмещены проходы вагонов-путеизмерителей за год.

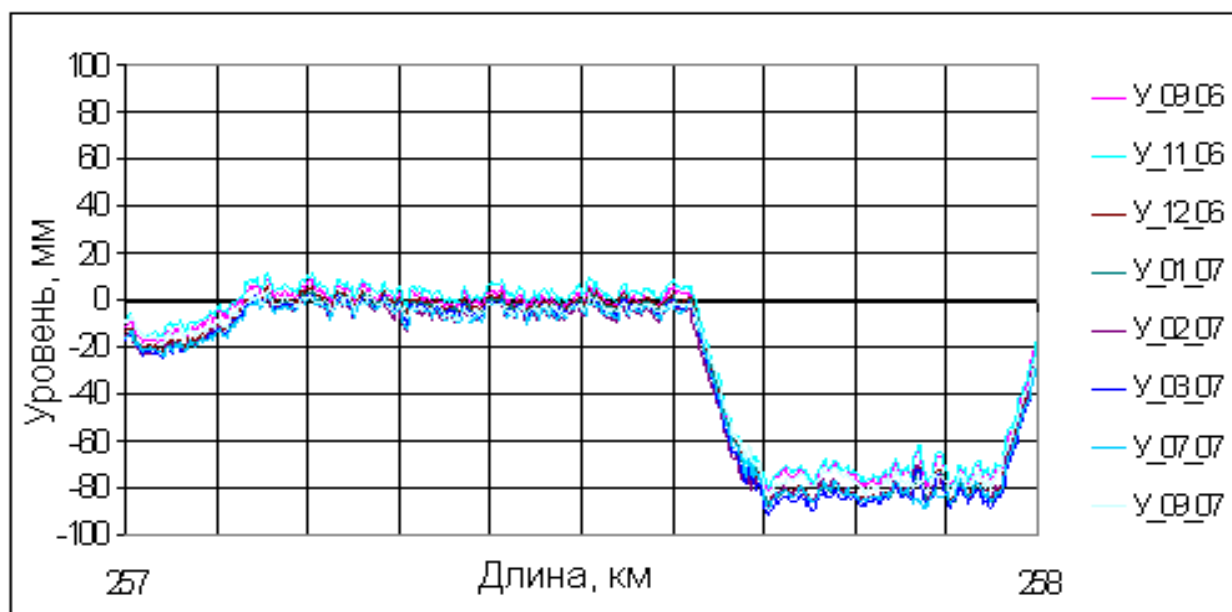


Рис. 1. Пример записи уровня

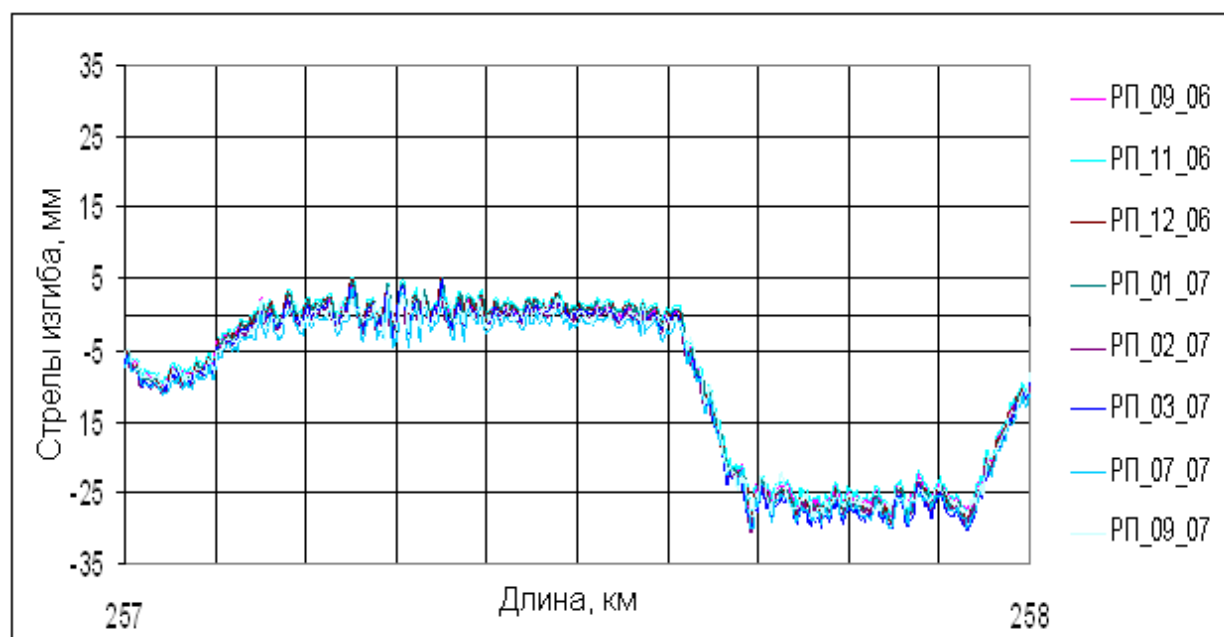


Рис. 2. Пример записи стрел изгиба одного из рельсов (рихтовка)

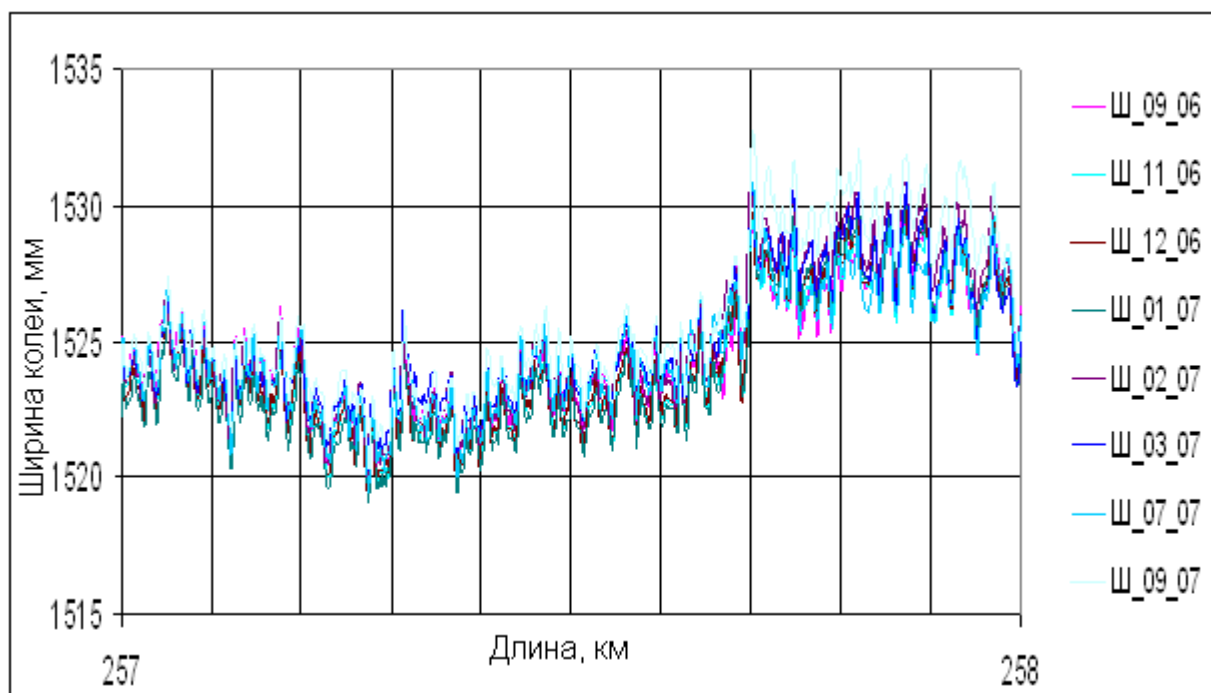


Рис. 3. Пример записи ширины колеи (шаблон)

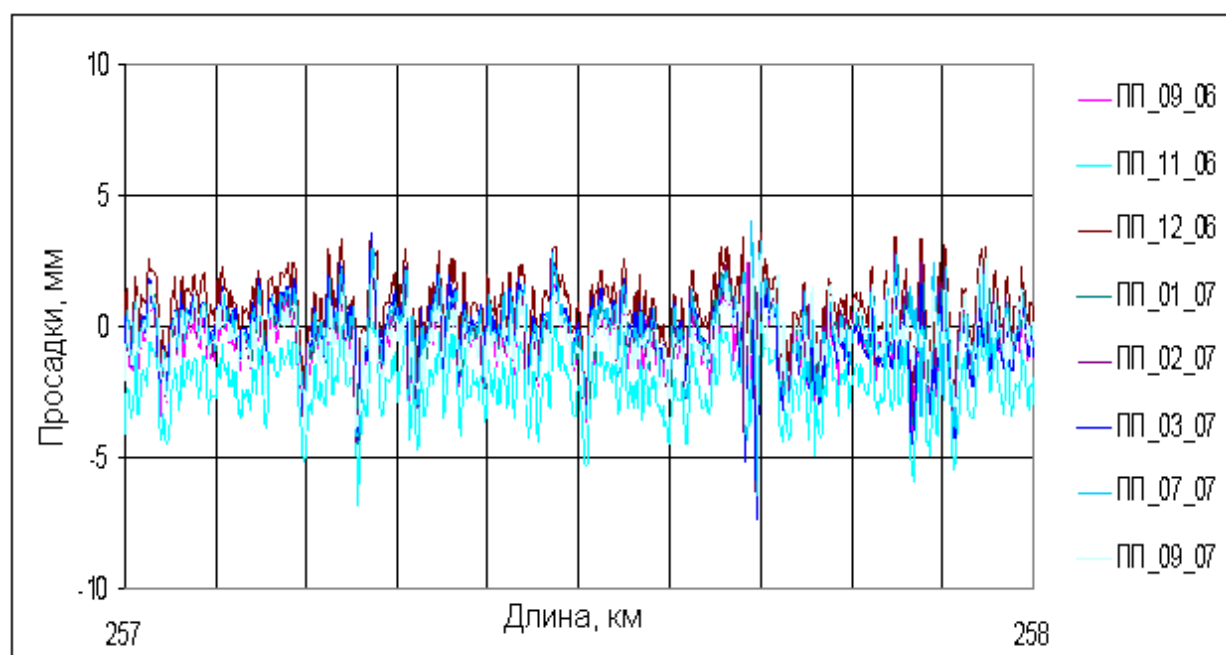


Рис. 4. Пример записи просадки одной нити



Анализ графиков показывает, что записи вагона-путеизмерителя часто имеют системные ошибки в величинах ГПП. Применение предложенного нами способа оценки отклонений ГПП от аппроксимируемой линии позволяет ликвидировать такие ошибки.

Для анализа записей вагона-путеизмерителя предлагаемым методом была разработана соответствующая программа на ПЭВМ.

Для проверки предложенной методики было выбрано по два участка на перегонах Раздоры – Письменная и Письменная – Ульяновка Приднепровской ж.д., на которых модернизация пути выполнялась по разной технологии. При этом, на каждом перегоне один участок был выбран в прямой, а другой – в круговой кривой с радиусом 600...650 м.

На перегоне Раздоры – Письменная один участок был выбран в прямой длиной 350 м, а второй – в кривой радиуса 640 м длиной 200 м. На перегоне Письменная – Ульяновка один участок был выбран в кривой радиуса 630 м длиной 250 м, а второй – в прямой длиной 1000 м.

По предлагаемой методике были обработаны все записи вагона-путеизмерителя. Результаты обработки этих данных для перегона Раздоры – Письменная приведены на рис. 5–6, а для перегона Письменная – Ульяновка – на рис. 7–8.

Анализ этих рисунков, позволяет сделать вывод о том, что состояние пути на перегоне Раздоры – Письменная существенно лучше, чем на перегоне Письменная – Ульяновка.

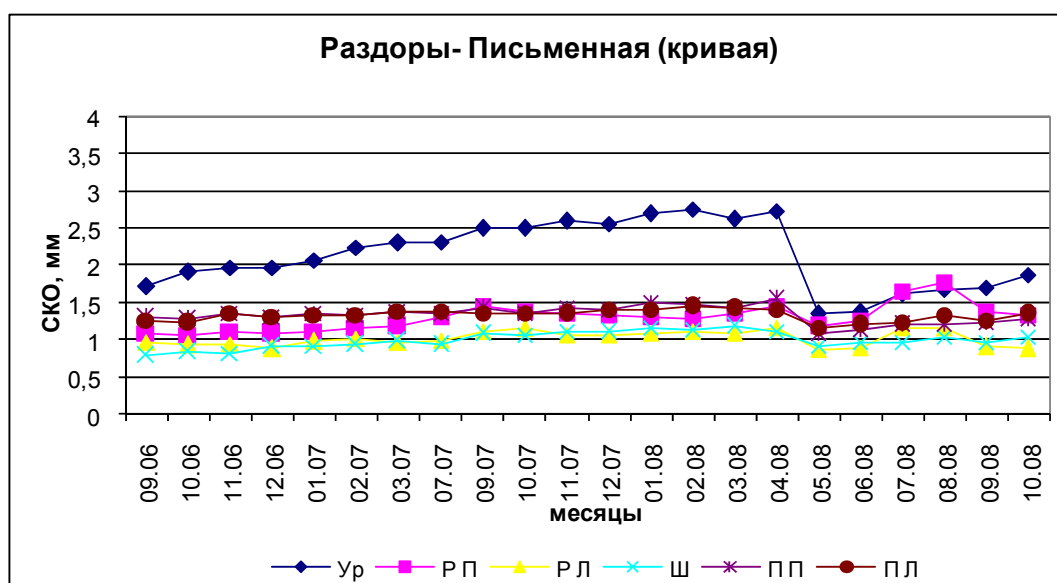


Рис. 5. Изменение СКО ГПП в круговой кривой на перегоне Раздоры – Письменная

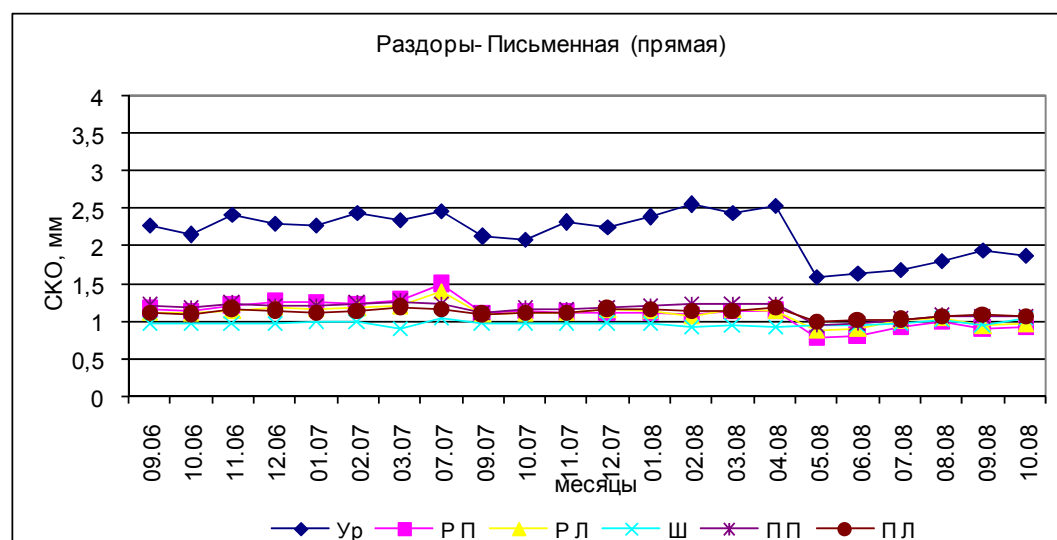


Рис. 6. Изменение СКО ГПП в прямой на перегоне Раздоры – Письменная

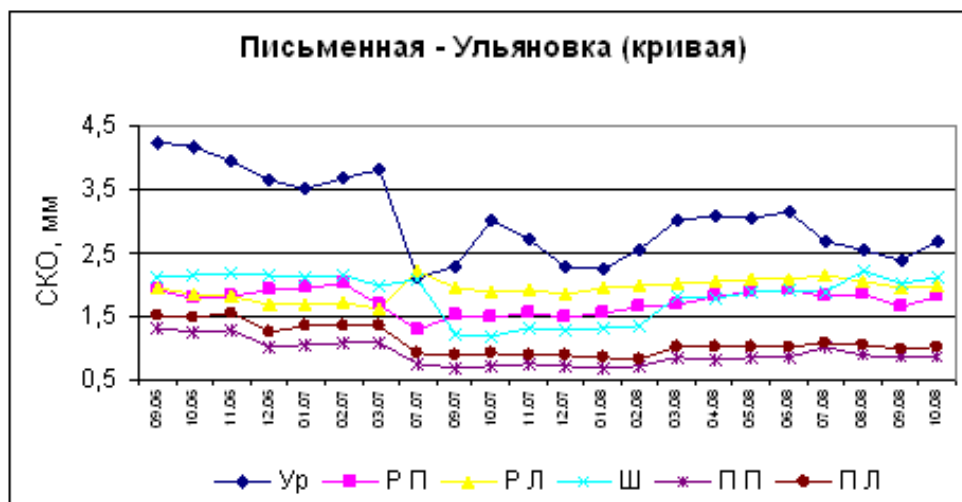


Рис. 7. Изменение СКО ГПП в кривой на перегоне Письменная – Ульяновка

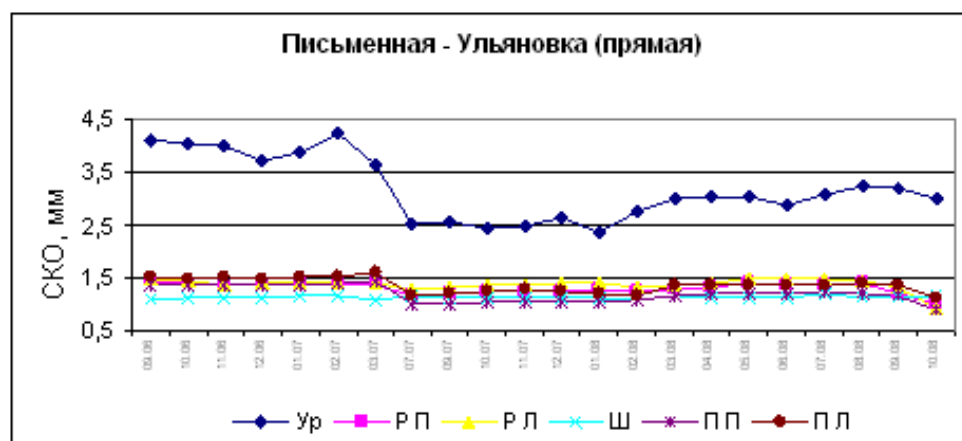


Рис. 8. Изменение СКО ГПП в прямой на перегоне Письменная – Ульяновка

Так, на перегоне Раздоры – Письменная, где модернизация пути выполнялась на длительно закрытом перегоне с выполнением послеосадочной выправки пути, СКО для уровня не превышает 2,5 мм. Это характерно как для круговой кривой (рис. 5), так и для прямого участка (рис. 6). В то же время на перегоне Письменная – Ульяновка, где модернизация пути выполнялась в отдельные «окна» без выполнения послеосадочной выправки пути, СКО для уровня у основной массы измерений находится в пределах 4,0...4,5 мм, и только после выправки пути уменьшается до 2,5 мм (см. рис. 7–8). Все другие СКО ГПП на перегоне Раздоры – Письменная также меньше, чем на перегоне Письменная – Ульяновка.

Как видим полученные данные, в принципе, позволяют оценивать состояние пути и планировать выполнение путевых работ, в том числе и ремонтов пути, с большей объективностью, чем при существующем подходе. Однако для

этого необходимо разработать соответствующие критерии.

Для этой цели можно применить подход, предлагаемый учеными России [3], который заключается в том, что для оценки стабильности состояния пути используется индекс качества пути (ИКП), который определяется как взвешенная сумма СКО параметров ГПП.

На наш взгляд, этот обобщенный показатель должен называться *показатель состояния пути (ПСП)* и определяться из выражения:

$$\text{ПСП} = \sum k_i \cdot S_i,$$

где  $S_i$  – СКО уровня, шаблона, рихтовок и просадок левой и правой нити, соответственно;

$k_i$  – соответствующие весовые коэффициенты.

При этом весовые коэффициенты для соответствующих СКО могут быть получены из условия равноценности влияния каждого СКО на безопасность движения, интенсивность рас-

стройства пути и комфортабельность пассажиров. Для решения этой задачи нами планируется выполнить соответствующие дополнительные исследования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эсвельд, К. Планирование путевых работ с применением ЭВМ [Текст] / К. Эсвельд // Железные дороги мира. – 1991. – № 1. – С. 45–47.
2. Певзнер, В. О. О возможности применения метода скользящего СКО для оценки уровня сил взаимодействия пути и подвижного состава

и состояния пути [Текст] / В. О. Певзнер, С. В. Малинский // В кн.: Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава (Межвуз. сб. науч. тр. ДИИТа). – Д., 1994. – С. 28–36.

3. Клебанов, Я. М. Метод анализа состояния пути [Текст] / Я. М. Клебанов, В. А. Бруяка, Акопян А. Г. // Путь и путевое хозяйство. – 2009. – № 12. – С. 16–19.

Поступила в редколлегию 16.06.2011.

Принята к печати 28.06.2011.

М. Й. УМАНОВ, О. М. ПАТЛАСОВ

### ПОКРАЩЕННЯ ОЦІНКИ СТАНУ КОЛІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНИХ ВІДХИЛЕНЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Показано, що оцінка стану колії за допомогою середньоквадратичних відхилень геометричних параметрів колії дозволяє одержати більш об'єктивну картину, ніж при використанні існуючих критеріїв. Це дозволить краще планувати ремонти колії.

*Ключові слова:* оцінка стану колії, планування ремонту колії, середньоквадратичні відхилення геометричних параметрів колії

М. I. UMANOV, A. M. PATLASOV

### IMPROVING THE ESTIMATION OF TRACK CONDITION USING STANDARD DEVIATIONS OF ITS GEOMETRICAL PARAMETERS

It is shown that estimation of the rail track by means of the standard deviations of track geometric parameters provides obtaining a more objective picture than using the existing criteria. This will allow better planning of the track repairs.

*Keywords:* assessment of road maintenance, planning of track repair, standard deviations of the track geometric parameters

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА ПРИ НАНЕСЕНИИ НАБРЫЗГБЕТОННОЙ КРЕПИ

В работе рассмотрена схема возведения набрызгбетонной крепи в вертикальных выработках, а также алгоритм вычисления основных параметров способа для основных промышленных взрывчатых веществ.

*Ключевые слова:* набрызгбетон, крепь, вертикальная выработка

Традиционные виды крепи (металлическая арочная, монолитная бетонная, металлобетонная, сборная железобетонная) являются весьма дорогостоящими и материалоемкими, требуют больших затрат ручного труда на возведение, плохо поддаются механизации. Кроме того, они не обеспечивают плотный контакт с породным массивом, не позволяют использовать несущую способность приконтурного слоя породы и выполняют лишь роль ограждающих конструкций.

Применение новых инновационных решений является основными задачами научно-технического прогресса не только в горном деле, но и во всех отраслях хозяйственной деятельности. Применение новых инновационных решений в горном деле при сооружении горных выработок способствует снижению стоимости добытого полезного ископаемого, а также повышению производительности труда. В частности это касается и возведения крепи горных выработок.

В 80–90 гг. прошлого столетия рядом авторов был предложен способ, при котором жидкие покрытия наносятся на поверхности защищаемых объектов с помощью энергии взрыва [1, 2]. Предлагалось осуществлять способ при помощи различных средств: углубления в почве выработки, в котором располагался заряд и бетонная смесь; специальных сосудов (устройств) на рельсовом ходу; легкоразрушаемых сосудов. Наиболее простым в реализации оказался последний из перечисленных способов [3].

Сущность взрывного способа набрызгбетонирования состоит в том, что направленный поток цементно-песчаной (бетонной) смеси формируется путем её диспергирования из легкоразрушаемого (полиэтиленового) сосуда при помощи взрыва размещенного в нём центрального заряда взрывчатых веществ (ВВ) [4].

Основными преимуществами способа являются безлюдность, т.е. в момент нанесения смеси на поверхность выработки рабочие не

находятся в загрязненном пространстве, что является неизбежным при сухом и мокром набрызгбетонировании механическими способами, и энергонезависимость. Областью применения способа являются стесненные, труднодоступные выработки.

*Целью данной работы* является исследование влияния массы и класса взрывчатого вещества на эффективные параметры взрывного способа набрызгбетонирования.

Методика исследований заключается в проверке и установлении параметров заряда ВВ (тип ВВ, масса патрона, количество патронов), а также необходимой массы смеси для нанесения слоя торкретбетона определенной толщины в выработке определенного радиуса, при которых не будет происходить «расслоение», а нанесение смеси производиться с минимальным отскоком.

В работе [5] установлена величина удельного, относительно массы вещества, энергетического критерия, при котором не наблюдается расслоение многофазного потока цементно-песчаной смеси при возведении набрызгбетонной крепи взрывным способом. Этот показатель для цементно-песчаной смеси должен быть не более чем  $9,2 \cdot 10^8 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1/2} \cdot \text{Дж}^{3/2}$  на каждый килограмм смеси.

Схема размещения сосуда в вертикальной выработке с указанием основных пространственных параметров расширения дисперсной системы разрабатывается в зависимости от площади поперечного сечения вертикальной выработки, в которой могут применяться сосуды как малой, так и большой вместимости. Основным фактором, влияющим на величину потерь и качество нанесенной смеси, является скорость соударения частиц со стенками выработки.

Оптимальная, с точки зрения минимизации потерь и максимизации прочности, скорость соударения частиц о стенки выработки для торкретбетонной смеси, согласно данным, полученным В. И. Шавриным [6] и Б. Т. Грязно-

вым [7], равна 30...40 м/с. Для набрызгбетонной крепи оптимальная скорость значительно меньше из-за присутствия крупного заполнителя и составляет по экспериментальным данным Э. В. Казакевича [8] в среднем 6...16 м/с.

Для определения массы смеси, необходимой для эффективного нанесения торкрета на стенки выработки радиусом  $R_{\text{выр}}$ , при использовании определенного заряда ВВ необходимо, в первую очередь, определить приведенную эквивалентную массу смеси, которая может быть найдена путем решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} V_{\text{опт}} \geq \frac{R_{\text{выр}}}{b} \left( \ln \left( \frac{R_{\text{выр}}}{A} \right) \right)^2 \cdot 10^3 \geq 6; \\ A = 3,96 + 0,58(M_{f_3} - 2,58) - 0,59 \times \\ \times (M_{f_3} - 2,58) \operatorname{th} \left( \frac{M_{f_3} - 2,58}{6,66} \right); \\ b = \frac{A(1 - 0,60 \cdot \exp(-0,16 \cdot M_{f_3}))}{0,58}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $V_{\text{опт}}$  – оптимальная скорость соударения частиц о стенки выработки, м/с;  $R_{\text{выр}}$  – радиус выработки, м;  $M_{f_3}$  – эквивалентная масса распыляемой навески, приведенная к массе эталонной порошковой оболочки и распыляющего заряда ВВ, кг [5].

В результате воздействия ударной волны на твердый заполнитель при взрыве взрывчатого вещества, последний будет дополнительно измельчен. Поэтому в дальнейшем в расчетах будем использовать скоростные пределы соударения частиц о стенки выработки, характеризующие эффективное нанесение торкретбетона.

Оптимальные параметры взрывного способа определяются по алгоритму (рис. 2).

Входными данными являются:

- масса заряда  $m_{\text{зар}}$ ;
- теплота взрыва заряда  $Q_{\text{зар}}$ ;
- скорость детонации заряда  $D_{\text{зар}}$ ;
- длина заряда  $l_{\text{зар}}$ ;
- радиус выработки  $R_{\text{выр}}$ .

Энергетический критерий  $f_{\text{зар}}$ , приведенная масса  $M_f$ , эквивалентная масса  $M_{f_3}$  рассчитываются по формулам, описанным в [4, 5].

Применяя полученный алгоритм, на основании проведенных исследований динамики разлета цементно-песчаной смеси при центральном взрыве и условия формирования однородного многофазного потока, были построены

графики зависимости необходимой массы смеси в устройстве для торкретирования взрывным способом при использовании определенного заряда, зависящего от радиуса выработки.



Рис. 1. Блок-схема к определению эффективных параметров взрывного способа возведения набрызгбетонной крепи

В качестве заряда рассматривались промышленные взрывчатые вещества II – VII классов различной массы:

- 1) аммонит скальный № 1 прессованный массой 0,4 и 0,8 кг (рис. 2);
- 2) аммонит 6ЖВ массой 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 кг (рис. 3);
- 3) аммонит Т19 массой 0,3; 0,6; 0,9; 1,2 кг (рис. 3);
- 4) угленил 13П массой 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 кг (рис. 5);
- 5) ионит массой 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 кг (рис. 6).

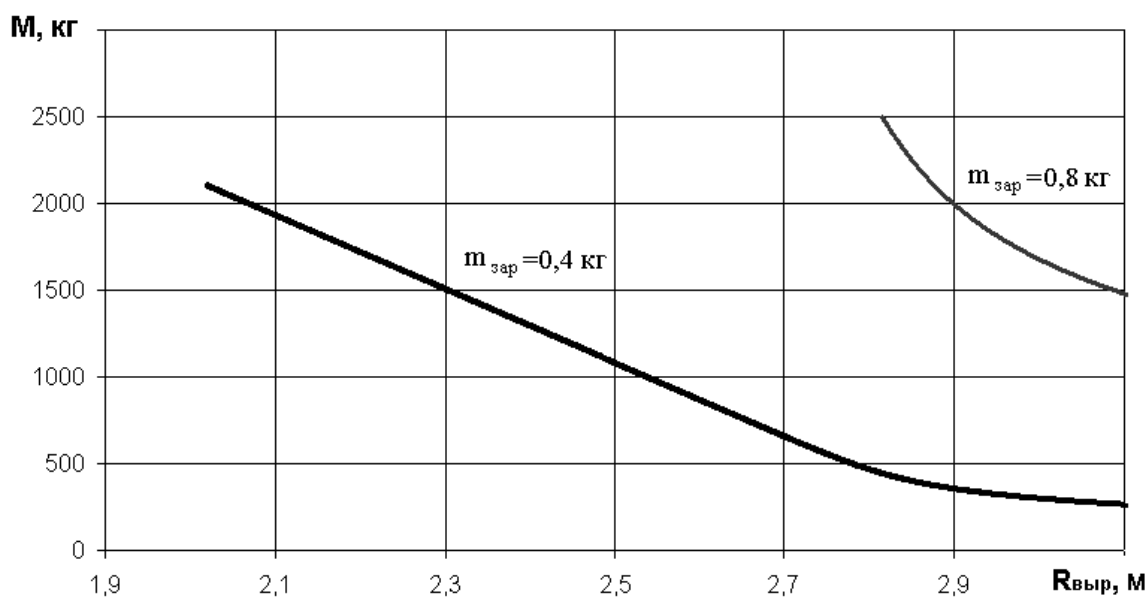


Рис. 2. График зависимости массы необходимой смеси от радиуса выработки при применении в качестве заряда аммонита скального № 1 прессованного

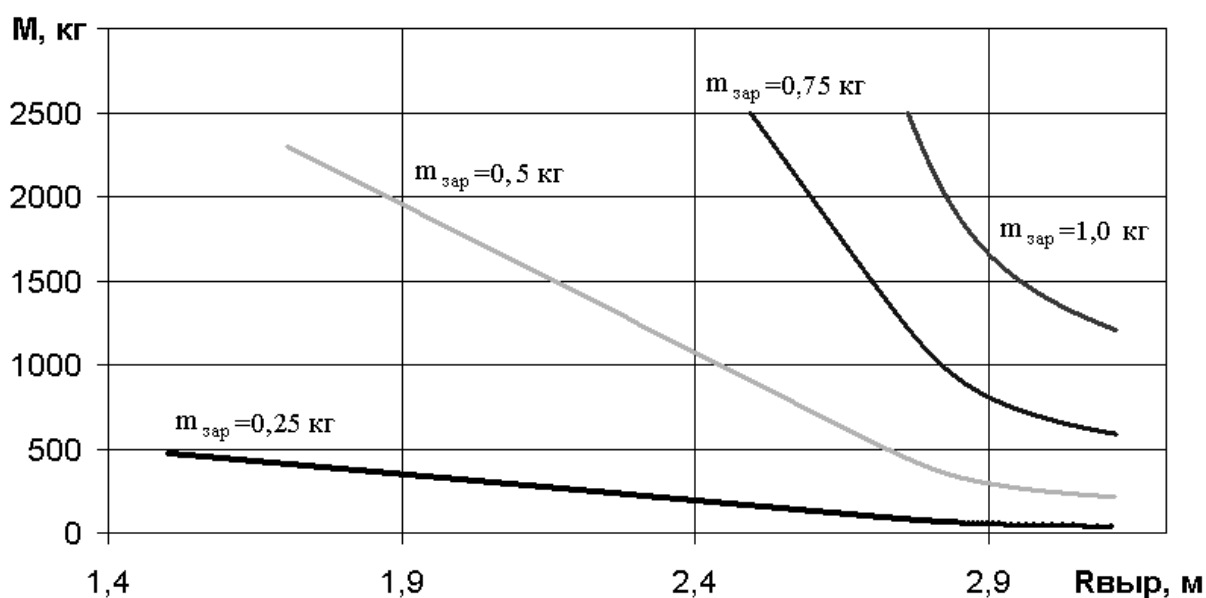


Рис. 3. График зависимости массы необходимой смеси от радиуса выработки при применении в качестве заряда аммонита 6ЖВ

По графикам (рис. 2–6) можно определить массу смеси, необходимую для нанесения одного качественного слоя торкретбетона взрывным способом в выработке радиусом до 3,1 м с минимальными потерями.

Зная необходимую массу смеси и размеры выработки, можно определить толщину одного наносимого слоя  $h_{кр}$ .

Согласно исследованиям, проведенным Н. Р. Шевцовым и А. Б. Михайловым [3], облако взрыва имеет форму эллипсоида вращения, полученного вращением эллипса относительно

малой оси. Причем малая ось эллипса в два раза меньше большой. Эллиптическая форма сечения облака взрыва описывается следующим уравнением:

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{2 \cdot y^2}{A^2} = 1, \quad (2)$$

или после преобразований:

$$y = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{A^2 - x^2}. \quad (3)$$

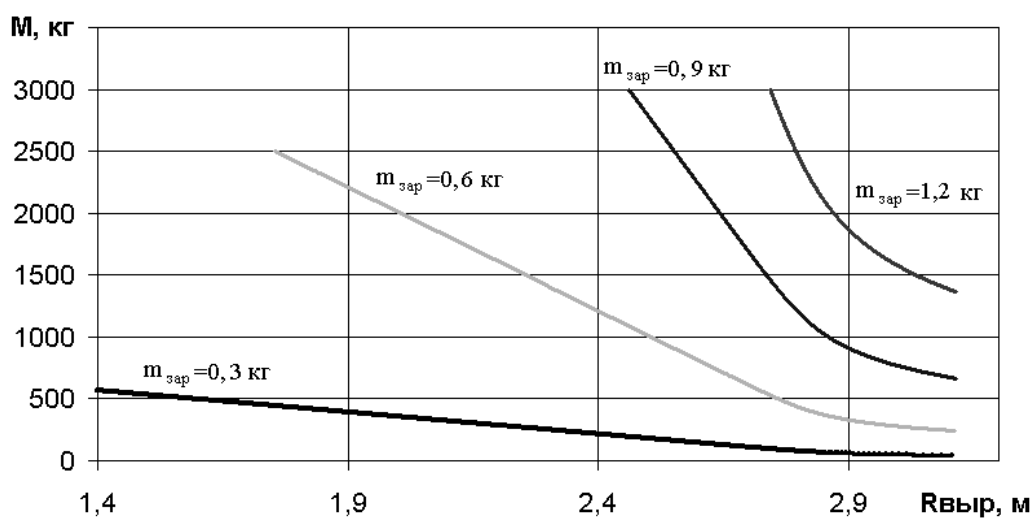


Рис. 4. График зависимости массы необходимой смеси от радиуса выработки при применении в качестве заряда аммонита Т19

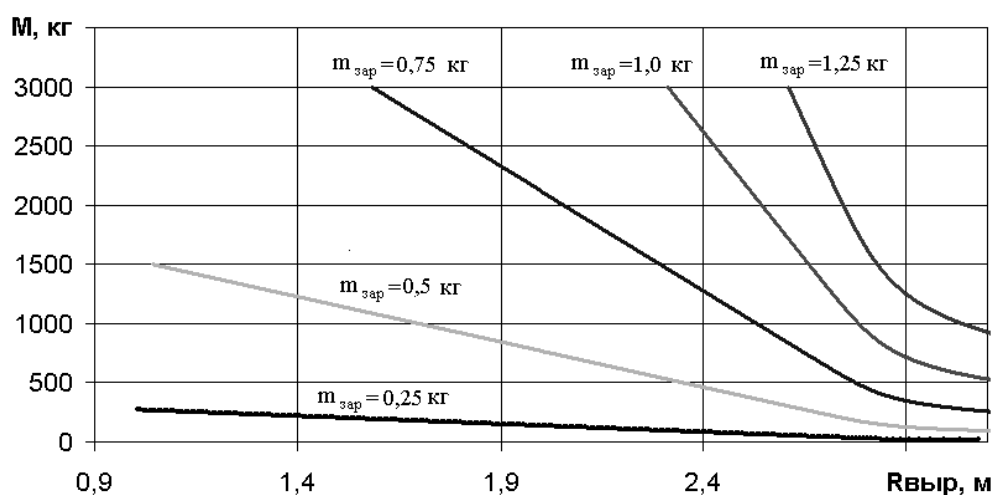


Рис. 5. График зависимости массы необходимой смеси от радиуса выработки при применении в качестве заряда угленита 13П

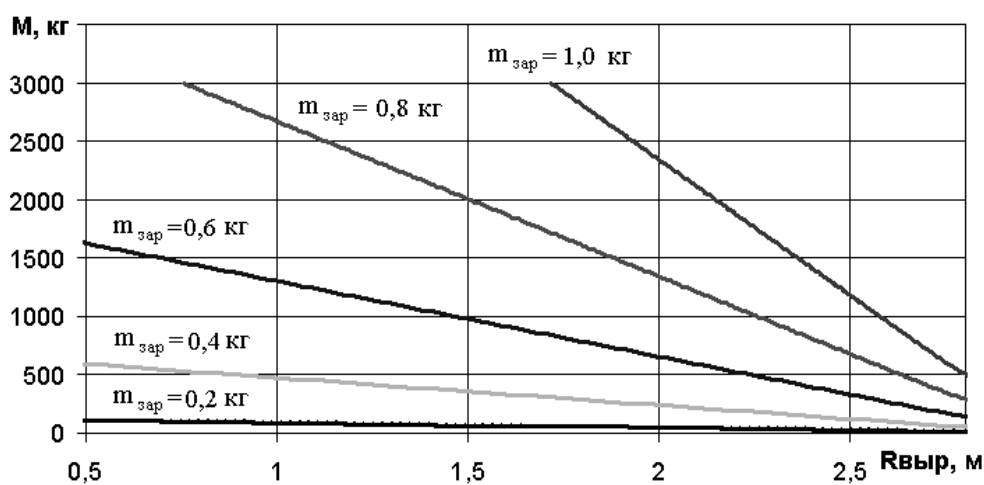


Рис. 6. График зависимости массы необходимой смеси от радиуса выработки при применении в качестве заряда ионита

Подставляя вместо  $x$  радиус выработки  $R_{\text{выр}}$ , определим ширину обрабатываемой поверхности  $l$  (см. рис. 1):

$$l = \sqrt{A^2 - R_{\text{выр}}^2} . \quad (4)$$

Зная ширину обрабатываемой поверхности, массу распыляемой смеси и коэффициент потерь, можно посчитать среднюю толщину наносимого взрывным способом слоя торкрет-бетона по следующей зависимости:

$$\delta = \frac{M \cdot K_{\text{п}}}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot l \cdot \rho_{\text{см}}} , \quad (5)$$

где  $K_{\text{п}}$  – коэффициент, учитывающий потери.

Таким образом, в работе приведен алгоритм, позволяющий определять пространственно-временные параметры взрывного способа возведения набрызгбетонной крепи в вертикальных выработках круглого сечения.

Для определения толщины наносимого за одно взрывание слоя необходимо провести дополнительные экспериментальные исследования по установлению коэффициента потерь при возведении набрызгбетонной крепи взрывным способом.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ягнышев, В. С. Возведение набрызгбетонной крепи взрывным способом [Текст] / В. С. Ягнышев, И. В. Дементьев, В. Д. Пропп // Изв. вузов. Горный журнал». – 1982. – № 12. – С. 19–23.

2. Гречихин, Л. И. Основы теории распыления оболочек из жидких и порошковых материалов центральным взрывом [Текст] / Л. И. Гречихин, Н. Р. Шевцов, О. В. Хоменчук; під заг. ред. О. А. Мінаєва // Проблеми гірського тиску. – Вип. 9. – Донецьк: ДонНТУ, 2003. – С. 236–256.
3. Томашев, Г. С. Нанесение набрызгбетона на стенки выработки взрывным способом [Текст] / Г. С. Томашев, В. В. Корневский, Р. Х. Лукманов // Разработка месторождений полезных ископаемых Сибири и Северо-Востока. – Иркутск, 1980. – С. 47–50.
4. Шевцов, Н. Р. Взрывной способ набрызгбетонирования [Текст] / Н. Р. Шевцов, О. В. Хоменчук // Сб. науч. тр. НГУ. – № 17, т. 2. – Д.: РИК НГУ, 2003. – С. 43–49.
5. Хоменчук, О. В. Качественные параметры взрывного способа возведения торкретбетонной крепи взрывным способом [Текст] / О. В. Хоменчук, С. В. Чухлебов // Наук. пр. ДонНТУ: сер. гірн.-геол. – Вип. 10 (151). – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – С. 80–85.
6. Шаврин, В. И. Структура свободной струи при набрызге бетона [Текст] / В. И. Шаврин. – К.: Госстрой, 1969. – 34 с.
7. Грязнов, Б. Т. Определение скорости торкретной струи [Текст] / Б. Т. Грязнов // Промышленное строительство. – 1962. – № 4. – С. 41–43.
8. Стрельцов, В. В. Крепление горных выработок угольных шахт набрызгбетоном [Текст] / В. В. Стрельцов, Э. В. Казакевич, Д. И. Пономаренко. – М.: Недра, 1978. – 273 с.

Поступила в редколлегию 11.11.2011.

Принята к печати 15.11.2012.

С. В. БОРЩЕВСЬКИЙ, О. В. ХОМЕНЧУК, О. Л. ТЮТЬКИН

## ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВИБУХУ ПРИ НАНЕСЕННІ НАБРИЗКБЕТОННОГО КРІПЛЕННЯ

В роботі розглянуто схему зведення набризкбетонного кріплення у вертикальних виробках, а також алгоритм обчислення основних параметрів способу для основних промислових вибухових речовин.

*Ключові слова:* набризкбетон, кріплення, вертикальна виробка

S. V. BORSHCHEVS'KYY, O. V. KHOMENCHUK, O. L. TYUT'KIN

## USE OF EXPLOSIVE ENERGY IN APPLYING THE SHOTCRETE LINING

The basic circuit design of erection of shotcrete lining in vertical excavations of round cross-section as well as the calculation algorithm of key parameters of a way for the basic industrial explosives are considered.

*Keywords:* shotcrete, lining, vertical excavation



## ВИЗНАЧЕННЯ ПОЧАТКОВИХ УМОВ ТА РІШЕННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ В РОЗРАХУНКУ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОБОЛОНОК З УРАХУВАННЯМ ПОВЗУЧОСТІ БЕТОНУ

Показано геометричну та розрахункову схеми довгої циліндричної залізобетонної оболонки, принцип визначення невідомих зусиль та початкових умов і рішення диференціального рівняння у вигляді ряду Маклорена.

**Ключові слова:** циліндрична оболонка, невідомі зусилля, початкові умови, диференціальне рівняння, ряд Маклорена

Вплив повзучості бетону на перерозподіл внутрішніх зусиль циліндричних оболонок доцільно розглянути на прикладі одно хвильової одно пролітної оболонки, для якої просторова робота проявляється найбільш чітко.

Оболонка, що розглядається (рис. 1), складається з вертикально направлених бортових балок, циліндричної плити постійної товщини  $\delta$  та торцевих діафрагм. Оболонка опирається в кутах і має розміри в плані  $l \times b$ , де  $l$  – довжина,  $b$  – ширина. При цьому  $l \times b \geq 2$ .

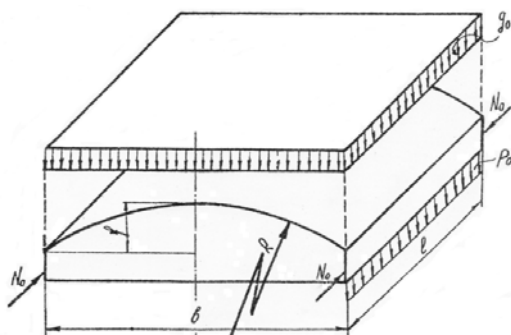


Рис. 1. Задана схема оболонки

Бортові балки армовані попередньо-напруженою і звичайною арматурою та виготовлені із високоміцного бетону. Циліндрична частина оболонки однорідна і в ряді випадків може бути виготовлена із легкого бетону зниженого класу з підвищеною деформативністю. Таким чином, деформативні характеристики пружності, повзучості та усадки бортових балок і циліндричної частини різні, але при цьому існує повна монолітність конструкції за лініями з'єднання елементів, що забезпечує сумісність деформацій елементів.

Навантаження на оболонку  $q_0$  рівномірно розподілене по поверхні. Бортові балки також навантажені рівномірно розподіленим навантаженням інтенсивністю  $p_0$ . Ці навантаження

змінюються в часі довільними законами. Крім того на оболонку діють зусилля попереднього напруження арматури  $N_0$ , контролюючі зусилля яких постійні в часі.

Криволінійна частина оболонки замінена семигранною вписаною складкою тієї ж товщини  $\delta$  з однаковою шириною грані  $d$  (рис. 2).

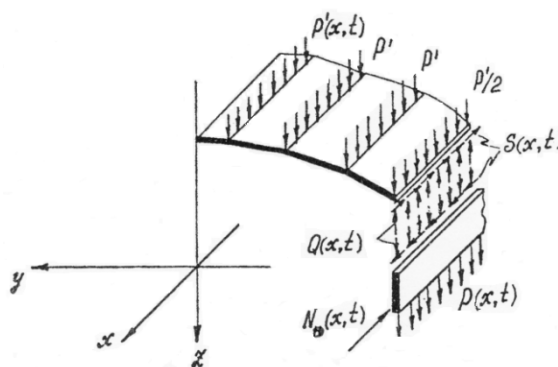


Рис. 2. Фрагмент розрахункової схеми оболонки

При цьому рівномірно розподілене навантаження на оболонку зосереджується на ребрах складки у вигляді погонного навантаження  $p_0' \cong q_0 d$ . На крайні ребра складки діє навантаження  $p_0'/2$ .

Позначивши стрілу підйому  $f$  циліндричної частини оболонки (рис. 1) визначимо інші геометричні параметри за відомими формулами: радіус поперечного перерізу серединної поверхні

$$R = \frac{b^2}{8f} + \frac{f}{2}; \quad (1)$$

ширина грані вписаної складки

$$d = 2R \sin \frac{\varphi}{2}, \quad (2)$$

де

$$\varphi = \frac{4}{7} \tan^{-1} \frac{2f}{b} \quad (3).$$

Торцеві діафрагми оболонки можуть мати різні конструктивні рішення достатньо жорсткі в своїй площині та гнучкі із площини. Умовно вважаємо, що торцеві діафрагми працюють як окремі елементи, що сприймають зусилля зсуву та поперечних сил крайового ефекту, які передаються середньою частиною оболонки.

Враховуючи те, що оболонка може бути розрахована на симетричні або антисиметричні впливи при переході до основної системи доцільно розглядати тільки її половину, розташовану з одного боку від вертикальної поздовжньої площини симетрії.

Основна система утворюється відокремленням бортової балки від криволінійної частини та заміною відкинутих при цьому пов'язів, діючими в них зусиллями. В загальному вигляді, у відповідності до методу В. А. Бовіна [1] таких невідомих повинно бути чотири: зусилля зсуву вздовж лінії відокремлення, вертикальні, горизонтальні зусилля та поперечні згинальні моменти. Але, в нашому випадку при розгляді тонкої оболонки з вертикально розташованими бортовими балками, надто гнучкими із площини, поперечними зусиллями та моментами знехтуємо і врахуємо тільки два невідомих зусилля: зсуву в напрямі лінії з'єднання  $S(x, t)$  та вертикальні  $Q(x, t)$ . У відповідності з цим основна система матиме вигляд показаний на рис. 3.

Всі впливи на оболонку підпорядковані принципу розподілу, відповідно невідомі зусилля підпорядковані тому ж принципу, тобто

$$S(x, t) = r(x)S(t); \quad Q(x, t) = n(x)Q(t), \quad (4)$$

де  $r(x)$ ,  $n(x)$  – функції розподілу зусиль в напрямі прольоту оболонки,  $S(t)$ ,  $Q(t)$  – функції зміни невідомих зусиль в часі  $t$ .

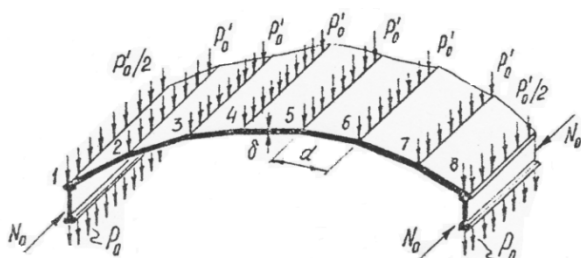


Рис. 3. Основна система оболонки

Крім зовнішніх навантажень на ребра складки  $p'(x, t)$ , бортову балку  $p(x, t)$  та зусилля попереднього напруження арматури  $N_0(x, t)$  на

оболонку діє поздовжня усадка бетону середньої частини  $\varepsilon'_p(x, t)$  та бортової балки  $\varepsilon_y(x, t)$ .

Невідомі зусилля та впливи подані в рядах тригонометричних функцій

$$r_j(x) = \cos \eta_j(x); \quad n_j(x) = \sin \eta_j(x), \quad (5)$$

де  $\eta_j = \frac{j\pi}{l}$ , після чого вони можуть бути записані таким чином:

$$S(x, t) = \sum_{j=1}^{\infty} \bar{s}_j(t) r_j(x) \quad (6)$$

$$Q(x, t) = \sum_{j=1}^{\infty} g_j(t) n_j(x) \quad (7)$$

$$P(x, t) = \frac{4}{\pi} \sum_{j=1}^{\infty} p_0(t) n_j(x) / j \quad (8)$$

$$P'(x, t) = \frac{4}{\pi} \sum_{j=1}^{\infty} p'_0(t) n_j(x) / j \quad (9)$$

$$N_0(x, t) = \frac{4}{\pi} \sum_{j=1}^{\infty} N_0(t) n_j(x) / j \quad (10)$$

$$\varepsilon_y(x, t) = \frac{4}{\pi} \sum_{j=1}^{\infty} \varepsilon_y(t) n_j(x) / j \quad (11)$$

При розрахунку оболонки на симетричне навантаження, а також на антисиметричне навантаження відносно поздовжньої площини симетрії, утримуються тільки непарні члени представлених вище рядів, тобто  $j = 1, 3, 5, \dots$ . Якщо розглядати антисиметричне навантаження відносно площини, яка перетинає оболонку посередині і впоперек прольоту, то в зазначених рядах необхідно утримувати тільки парні члени при  $j = 2, 4, 6, \dots$

Для визначення невідомих зусиль  $S$ ,  $Q$  складемо рівняння сумісності деформацій оболонки в місцях з'єднання бортових балок з циліндричною частиною.

Ці рівняння мають вигляд:

$$\varepsilon_c(x, t) = \varepsilon'_c(x, t), \quad (12)$$

$$\mathcal{R}_c(x, t) = \mathcal{R}'_c(x, t), \quad (13)$$

де  $\varepsilon_c$ ,  $\varepsilon'_c$  – відносні поздовжні деформації ребер в напрямі зусиль  $S(x, t)$ , а  $\mathcal{R}_c$ ,  $\mathcal{R}'_c$  – кривизни

згинання суміжних ребер в вертикальній площині, тобто в напрямі зусилля  $Q(x, t)$ .

Деформації, які входять в рівняння (12) і (13) були визначені окремо для роз'єднаних елементів оболонки, тобто бортової балки та плити в роботі [2].

Задача з визначення невідомих зусиль в оболонці зведена до необхідності вирішення диференціального рівняння четвертого порядку наступного типу:

$$y^{IV} + a_3 \ddot{y} + a_2 \dot{y} + a_1 y' + a_0 y = \\ = y^{IV*} + b_3 \ddot{y}^* + b_2 \dot{y}^* + b_1 y'^* + b_0 y^* \quad (a)$$

В цьому рівнянні коефіцієнти  $a_i$  та  $b_i$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) постійні, а зірочками виділені пружні значення невідомого  $y$ . Для рішення рівняння (a) необхідні чотири початкових умови, тобто значення шуканої функції та її трьох похідних при умові  $t = 0, \varphi(t) = 0$ .

Є. А. Яценком була помічена закономірність конструювання рівнянь, яку він використав для спрощення визначення початкових умов цих рівнянь [3].

Сутність цієї закономірності полягає в наступному. У вихідному рівнянні деформацій бетону

$$E_0 \frac{d\varepsilon(t)}{d\varphi(t)} = \frac{d\sigma(t)}{d\varphi(t)} + \sigma(t) - E_0 \frac{d\varepsilon_y(t)}{d\varphi(t)} \quad (14)$$

при  $\varepsilon_y = 0$  може бути записане таким чином:

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}^* + \varepsilon^*, (\delta)$$

де  $\varepsilon^* = \sigma/E$  - пружна деформація, а точками позначена процедура диференціювання по  $\varphi(t)$ . Диференціюючи рівняння (δ)  $r-1$  раз по  $\varphi$  отримаємо

$$\varepsilon^{(r)} = \varepsilon^{(r)*} + \varepsilon^{(r-1)*}, (b)$$

Це рівняння одночасно є і рекурентною формулою, за якою можна визначити початкові значення шуканої функції та будь-якої її похідної. Дійсно, при  $r_0 = 0$  та при умові, що похідні від'ємного порядку також дорівнюють нулю, отримаємо  $\varepsilon_0 = \varepsilon_0^*$ , що відповідає фізичній уяві про рівняння (δ). При  $r = 1$ ,  $\dot{\varepsilon}_0 = \dot{\varepsilon}_0^* + \varepsilon_0^*$ , що також справедливо. Таким чином, надаючи  $r$  значення від нуля до будь-якого порядку і приймаючи похідні від'ємного порядку рівними нулю, за формулою (b) можна визначити будь-яке із початкових умов рівняння (δ). Ця властивість рівняння (δ) зберігається і в констру-

юючи на його основі рівняння сумісності деформацій з урахуванням, що шукана функція визначається через її пружну складову.

Таким чином, в нашому випадку рівняння (a) може бути легко перетворене в формулу початкових умов. Диференціюючи його  $r-4$  рази по  $\varphi(t)$  і приймаючи потім значення функцій, що дорівнюють їх початковим значенням, отримаємо формулу:

$$y_0^{(r)} + a_3 y_0^{(r-1)} + a_2 y_0^{(r-2)} + a_1 y_0^{(r-3)} + \\ + a_0 y_0^{(r-4)} = y_0^{(r)*} + b_3 y_0^{(r-1)*} + b_2 y_0^{(r-2)*} + \\ + b_1 y_0^{(r-3)*} + b_0 y_0^{(r-4)*}, (r)$$

Приймаючи  $r = 0$  відповідно (r) отримаємо  $y_0 = y_0^*$ ; при  $r = 1 - \dot{y}_0 + a_3 y_0 = \dot{y}_0^* + b_3 y_0^*$ , звідси визначаємо  $\dot{y}_0^*$ ; при  $r = 2 - \ddot{y}_0 + a_3 \dot{y}_0 + a_2 y_0 = \ddot{y}_0^* + b_3 \dot{y}_0^* + b_2 y_0^*$  і так далі.

Така проста можливість визначення початкових значень шуканої функції та будь-якої її похідної дозволяє відмовитись від відомого точного рішення диференціального рівняння типу (a), а подати його рішення у вигляді ряду Маклорена.

$$y = y_0 + \dot{y}_0 \frac{\varphi}{1!} + \ddot{y}_0 \frac{\varphi^2}{2!} + \ddot{\ddot{y}}_0 \frac{\varphi^3}{3!} + \dots + y_0^{(n)} \frac{\varphi^n}{n!} \\ + \dots \quad (g)$$

Функція характеристики повзучості  $\varphi(t)$  обмежена числом, приблизно 2,5. Крім того початкові значення шуканих зусиль із збільшенням порядку похідної знижуються. Таким чином ряд (g) досить швидко сходиться, що досить зручно при ручному розрахунку особливо при варіантному проектуванні.

## БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бовин, В. А. Пособие по расчету цилиндрических оболочек [Текст] / В. А. Бовин. – К.: Будівельник, 1967. – С. 118.
2. Бовин, В. А. Расчет железобетонной цилиндрической оболочки с учетом ползучести [Текст] / В. А. Бовин, Е. А. Яценко // Вопросы строительных конструкций. Тр. ДИИТа. – Вып. 118. – Д., 1971. – С. 70–81.
3. Теория ползучести железобетонных конструкций [Текст] / Е. А. Яценко [и др.]. – Д., 2000. – С. 599.

Надійшла до редколегії 06.07.2011.

Прийнята до друку 12.07.2011.

И. И. КИРПА, Е. А. ЯЦЕНКО

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ И РЕШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В РАСЧЕТЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА**

Показаны геометрическая и расчетная схемы длинной цилиндрической железобетонной оболочки, принципы определения неизвестных усилий и начальных условий, решение дифференциального уравнения в виде ряда Маклорена.

*Ключевые слова:* цилиндрическая оболочка, неизвестные усилия, начальные условия, дифференциальное уравнение, ряд Маклорена

I. I. KYRPA, E. A. YATSENKO

## **DETERMINATION OF INITIAL CONDITIONS AND SOLUTION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS IN THE CALCULATION OF CYLINDRICAL REINFORCED CONCRETE SHELLS TAKING INTO ACCOUNT THE CREEP OF CONCRETE**

Showing geometric and computational schemes long cylindrical shell of reinforced concrete, the principles of the unknowns of effort and the initial conditions, solution of differential equations in the form of the Maclaurin series.

*Keywords:* cylindrical shell, unknown efforts, initial conditions, differential equation, the Maclaurin series

О' О' " О' О' " (ИГТМ НАН Украины, Днепропетровск),  
 "М. А. ВЫГОДИН (СК «МЛАД»), А. С. МИНЕЕВ (НГУ, Днепропетровск)

## ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ЭФФЕКТИВНОЙ РАЗГРУЗКЕ СМЕРЗШЕГОСЯ ГРУЗА ИЗ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОЛУВАГОНОВ

Рассмотрены основные прогрессивные решения заложенные в технологию разрушения смерзшегося сыпучего груза в железнодорожных полувагонах перед его разгрузкой в зимнее время. Рассмотрены стационарная виброрыхлительная установка, специальные гаражи-размораживатели (конвективный, комбинированный, с инфракрасными излучателями и горелками), вагоноопрокидыватели и дробильно-фрезерные машины.

*Ключевые слова:* разгрузка смерзшегося груза, полувагон, виброрыхлительная установка, гараж-размораживатель, вагоноопрокидыватель, дробильно-фрезерная машина

При эксплуатации горно-перерабатывающих предприятий выполняются, большие объемы разгрузочно-погрузочных работ. При этом наиболее сложной является разгрузка грузов, потерявших свою сыпучесть вследствие смерзания в железнодорожных полувагонах.

Вполне очевидно, что для создания эффективной технологии разгрузки мерзлых грузов, необходимо применение целого производственного комплекса, состоящего из технических средств. Однако, до последнего времени, отсутствуют рекомендации, в которых рассмотрена технологическая схема в целом, позволяющие наиболее эффективно разгружать мерзлые грузы. Поэтому в рамках данной работы предпринята попытка разработать эффективную технологическую схему разгрузки смерзшихся и агрегированных сыпучих грузов из железнодорожного транспорта посредством вагоноопрокидывателя.

Авторы понимают, что такая работа должна предварительно включать в себя весь комплекс исследований, начиная с определения механических свойств смерзшегося угля в зависимости от его влажности и температуры, а также удельной контактной прочности примерзания груза к стенкам вагона. Затем на базе этих данных можно выполнить корректное обоснование применения необходимых тепловых размораживающих методов и вибромеханических средств для разработки эффективной технологии разупрочнения смерзающегося угля и разгрузки его из полувагонов.

На базе проведенных исследований, комплекса экспериментов и результатов обобщения практического опыта [1–3] была разработана технологическая схема эффективной разгрузки сыпучих, смерзающихся грузов (уголь,

руда, концентрат, окатыш и др.) из железнодорожных полувагонов с помощью вагоноопрокидывателя (рис. 1). Предложенная нами технологическая схема разрабатывалась, в основном, для разгрузки смерзшихся углей, однако она применима для любых других сыпучих грузов, перевозимых железнодорожным транспортом в холодное время года.

Технологическая схема, приведенная на рис. 1, включает в себя 6 основных элементов, выполнение которых является, с нашей точки зрения, необходимым для выполнения эффективной и высокопроизводительной разгрузки смерзшихся сыпучих грузов из ж.д. полувагонов при любой наружной отрицательной температуре воздуха. Для понимания сущности схемы далее рассмотрим основные технические средства и технологические приемы, соответственно, входящие конкретно в эти элементы технологической схемы: 1 – вибрационное рыхление мерзлого груза с помощью стационарных вибрыхлительных установок типа ВРУ или, в крайнем случае, при малой производительности – переносных вибрыхлителей; 2 – разогрев полувагона с “прорыхленным” мерзлым грузом в гараже-размораживателе (теплице); 3 – подача вагонов с разогретым и частично восстановившим свою сыпучесть грузом на вагоноопрокидыватель; 4 – выгрузка груза путем опрокидывания полувагона в вагоноопрокидывателе; 5 – вывод пустого полувагона из вагоноопрокидывателя для его зачистки, ремонта и собирания в, принятые технологией на данном предприятии, ставки железнодорожного состава; 6 – дробление, при необходимости, крупных агрегированных кусков груза, которые не проходят через отверстия в надбункерных решетках, вручную отбойными молотками, мо-

лотково-дробильными или дробильно-фрезерными машинами, например, типа ДФМ. Ниже рассмотрим основные технические средства и технологические решения, которые хо-

рошо зарекомендовали себя и могут применяться в элементах технологии разгрузочно-погрузочного комплекса на примере рассматриваемого нами промышленного предприятия.

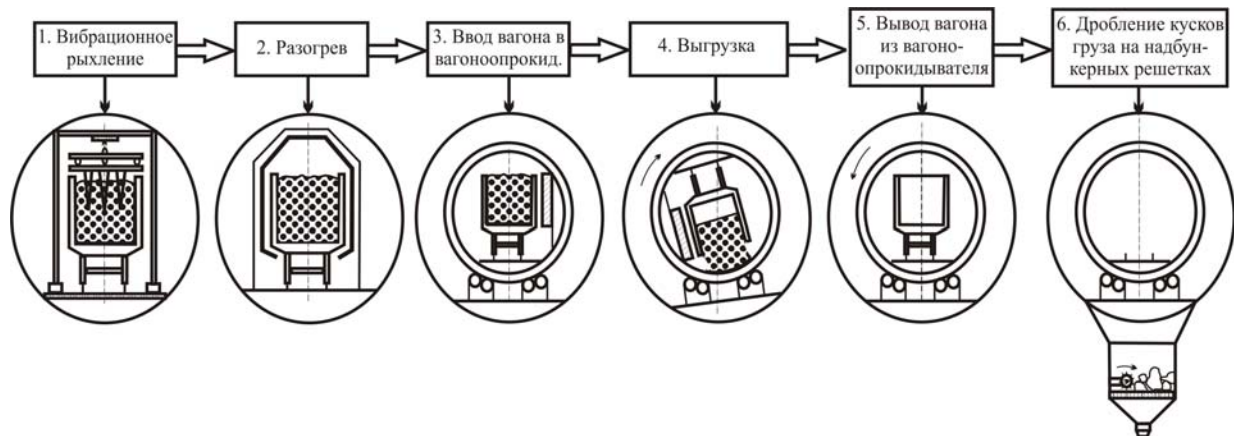


Рис. 1. Технологическая схема разгрузки смерзшегося сыпучего груза из ж.д. полувагона в зимнее время

1. Стационарная виброрыхлительная установка (ВРУ), состоящая из 3-х вибромодулей, представляет собой металлическую конструкцию шириной в нижней части 5,3 м, длиной 12 м и высотой 12 м, состоящую из 2-х ярусов. ВРУ располагается над ж.д. путем таким образом, чтобы её продольная ось совпадала с осью

ж.д. пути и при этом обеспечивалось беспрепятственное прохождение ж.д. полувагона под этажеркой, для чего должен быть выдержан габарит подвижного состава Сп для территорий промышленных предприятий в соответствии с ГОСТ 9238-83 (см. рис. 2).



Рис. 2. Стационарная виброрыхлительная установка

Вибромодули расположены с заданным интервалом между собой таким образом, чтобы не разрыхленные участки мерзлого груза между заходками имели незначительные размеры. Величина динамической силы регулируется количеством дебалансных масс вибровозбудителя, расчетными амплитудно-частотными характеристиками воздействия, а главное выдержкой строго определенного соотношения между массами верхней рамы и всего вибромодуля, а также жесткостью связывающих нелинейных упругих связей.

Управление ВРУ осуществляет один оператор. Управление работой ВРУ может выпол-

няться и в автоматическом режиме. Установка ж.д. полувагонов, их фиксация, управление отметками уровня подъема вибромодуля в вертикальной площади на верхнем положении и на нижнем регулируемом уровне разрушения смерзшегося груза рыхлящими штырями может выполняться системой автоматизации, состоящей из контролера, вращающегося определителя положения вибромодуля, контроллеров, датчиков, системы самопроверки, программного обеспечения и компьютерного оснащения. Для защиты работающих и самой ВРУ от вибрации, возникающей в процессе рыхления смерзшихся грузов, применена противовибрационная тра-



верса, удерживающая вибромодуль, а опорные узлы выполнены с резиноэластичным амортизированием.

Стационарная ВРУ разработана специалистами порта, ИГТМ НАН Украины совместно с СК “МЛАД”, ООО “Контур” и “Профессионал”, а первый ее образец смонтирован в морском торговом порту “Южный”. Установка защищена патентами [9–11], прошла в установленном порядке техническую экспертизу и полностью соответствует существующим требованиям Украины в плане пожарной безопасности, промсанитарии, требованиям сохранности вагонов, технике безопасности и охране окружающей среды. В период особо холодной зимы 2002-2003 гг в порту Южный было успешно разгружено порядка 8 тыс. вагонов с Кемеровским углем, который поступал эшелонами при повышенной влажности и перемешался по территории России при очень низких температурах. Месячная производительность достигла 5000 вагонов.

2. Вторым элементом технологической схемы (рис. 1) применяемым для разогрева разрыхленного мерзлого груза в ж.д. полувагонах используются специальные гаражи-размораживатели (тепляки). Тепляки предназначены для внутреннего долгого и пленочного быстрого оттаивания груза в полувагоне. Они представляют собой капитальные сооружения и их существует несколько типов. Далее рассмотрим основные конструкции тепляков (рис. 3).

Конвективные тепляки состоят из одной или нескольких секций с камерами оттаивания и машинного отделения для выработки и подачи в них теплоносителя. Смерзшийся груз в вагонах оттаивается в камерах секций тепляка различными видами теплоносителя (рис. 3, а). Конвективный тепляк для оттаивания смерзшегося угля состоит из: 1 – вентилятора; 2 – машинного отделения; 3, 4 – коробов падающих и рециркуляционных; 5, 6 – рециркуляционных и падающих патрубков; 7 – бетонных коробов; 8 – нагнетательных шахт; 9 – электродвигатель. В зависимости от пропускной способности тепляка секции сооружают длиной от 156 до 320 м, для одновременного размещения в них по 10 – 20 четырехосных или восьмиосных полувагонов. Обычно ширина каждой секции тепляка принимается 6 м, а машинного отделения 9 м.

Теплоноситель машинного отделения обогрывают специальными топками, соединенными воздухопроводящими каналами с камерами секций оттаивания и устройствами для зажигания газовой смеси. Оттаивают смерз-

шуюся руду дымовыми газами, получаемыми от сжигания в топках смеси коксового и доменного газов. При этом продукты сгорания, имеющие температуру до 950 °С, поступают в смешительную камеру. Теплоноситель нагнетается в секции тепляка по металлическим трубопроводам, уложенным в бетонные каналы под полом. В камерах секций газовой смеси распределяется при помощи соединенной с этими трубопроводами вертикальными отводами системы разводящих труб с размещенными на них через 2 м патрубками-соплами. Через них под днище полувагона со смерзшимся грузом подается более 70 % всего объема теплоносителя. Так, например, тепляки ряда коксохимических заводов имеют длину 216 м, что обеспечивает вместимость 15 четырехосных и 13 шестиосных вагонов, ширина секции размораживания – 6 м, высота – 5,5 м. В них используется дымосос Д-15,5, производительностью  $6,5 \cdot 10^4$  м<sup>3</sup>/час, мощность ЭД дымососа – 75 кВт, производительность топок по газу 300 м<sup>3</sup>/час.

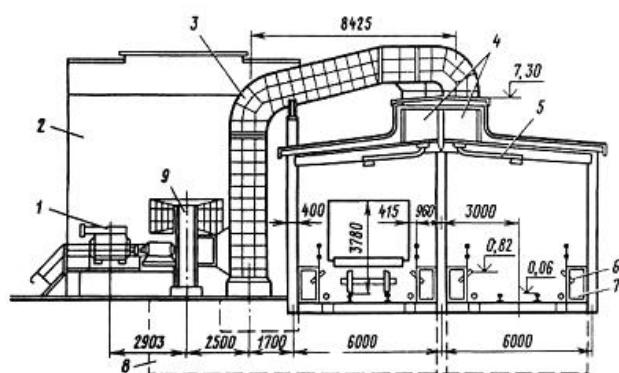
Тепляки для оттаивания смерзшейся углепородной массы отличаются в основном тем, что в них запрещена подача к углю теплоагента с температурой более 100...110 °С. Тепляк с комбинированным подводом тепла к ж.д. полувагонам с размораживаемым грузом (рис. 3, б) состоит из следующих элементов: паропровода – 1; вентилятора – 2; всасывающего короба – 3; потолочной панели – 4; конденсатной магистрали – 5; общей сточной магистрали – 6; нижней панели – 7; кузова вагона – 8; напорных воздухопроводов – 9; отражательных экранов – 10 и 11 – трубчатых панелей. Типовой тепляк по длине разделен на восемь самостоятельных теплоизлучающих секций длиной по 14 м. Каждая из них состоит из потолочной панели 4, боковых вертикально-трубчатых панелей 11, состоящих из монтажных блоков длиной 3 м, и нижних панелей 7, расположенных внутри железнодорожного пути. В секциях размещены паровые излучатели с площадями поверхности нагрева: потолочные – 82 м<sup>2</sup>, боковые – 164 м<sup>2</sup> и нижние излучатели – 31 м<sup>2</sup>.

Достаточно широко разрекламированными и применяемыми в последнее время являются установки с газовыми инфракрасными излучателями для оттаивания смерзшейся угля, руды и других концентратов (рис. 3, в). Принципиальная схема установки с газовым инфракрасными излучателями поясняется на рисунке 3, г: газопровод – 1; фундамент металлоконструкций – 2; панели верхнего обогрева – 3; верхние обвязочные пояса, соответственно, для шестиосного – 4 и четырехосного – 5 вагонов; приво-

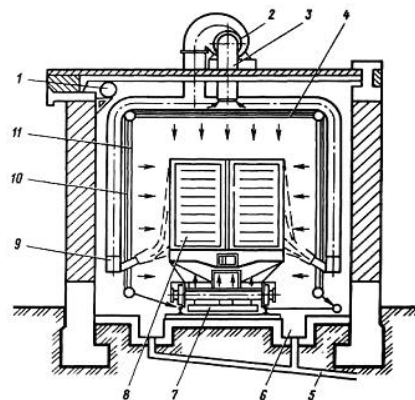
дов – 6; газопровода к горелке – 7; горелки – 8; направляющей рамы – 9 и опорных металлоконструкций – 10. Установка включает в себя: агрегаты с газовыми инфракрасными излучателями с подвижными системами, системы подвода газа и воды, контрольно-измерительную аппаратуру, пульт управления, помещение установки с железнодорожным путем нормальной колеи, маневровое устройство. Каждый моноблочный элемент состоит из горелочной панели верхнего обогрева и двух перемещающихся по направляющим кареток, на которых расположены газогорелочные устройства нижнего обогрева. Подобные тепляки эксплуатируются

на ОАО «Стахановский завод ферросплавов», в порту «Южный» и других организациях [3].

Смерзшаяся в полувагоне железная руда или концентрат с толщиной слоя 200...300 мм, от стенки полувагона, оттаивает в установке в 1,5...2 раза быстрее, чем в конвективном тепляке. Особенно заметно увеличивается скорость размораживания (в 5..6 раз) при оттаивании слоя смерзшегося груза толщиной 20...30 мм. При глубине промерзания железной руды до 100 мм на ее оттаивание установкой требуется уже не менее 20 мин [3].



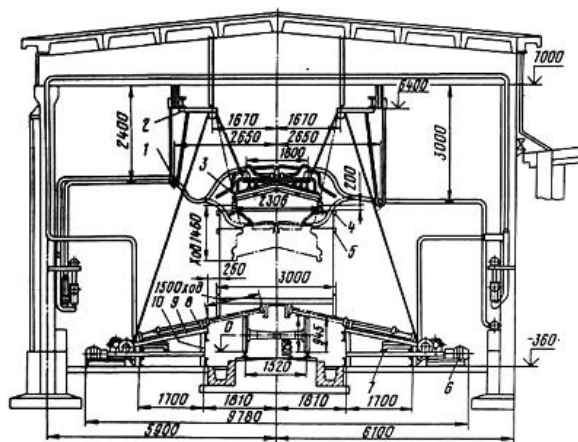
а



б



в



г

Рис. 3.— Основные типы гаражей —размораживателей:  
а — конвективный тепляк для оттаивания смерзшегося угля ;  
б — тепляк с комбинированным подводом тепла к вагонам;  
в — общий вид тепляка с инфракрасными горелками;  
г — установка с газовым инфракрасными излучателями

Все рассмотренные способы термического оттаивания смерзшейся горной массы имеют один недостаток — они являются очень энергоемкими. Так, например, по данным работы [3], общие затраты тепла на разогрев 60-тонного вагона с учетом потерь на разогрев самого вагона и ограждающих поверхностей тепляка составляет от 3-х до 4-х млн ккал, в том числе на

разогрев смерзшейся горной массы от  $-15$  до  $0$  °С расходуется только 380...400 тыс. ккал, т.е. полезное использование тепла 10...20 %. Установки с инфракрасными излучателями, не смотря на то, что они позволяют увеличить скорость приконтурного размораживания в 1,5...2 раза, они также значительно увеличивают расход природного газа по сравнению с

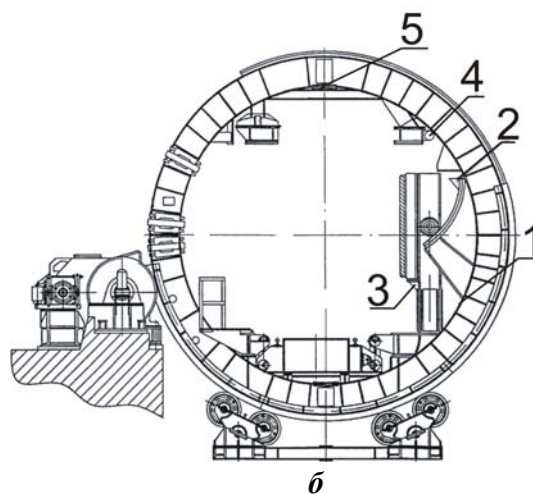


обычными тепляками и имеют достаточно сложное технологическое исполнение.

3, 4. Следующим элементом общей технологической схемы является роторный стационар-



*а*



*б*

Рис. 4. Вагонапрокидыватель:

а – общий вид с выгружаемым вагоном; б – схема ротора, где: 1 – ротор; 2 – прижимное устройство; 3 – привалочная стенка; 4 – малый вибратор, устанавливаемый на опорных лапах; 5 – большой вибратор, устанавливаемый на балке соединяющей диски ротора

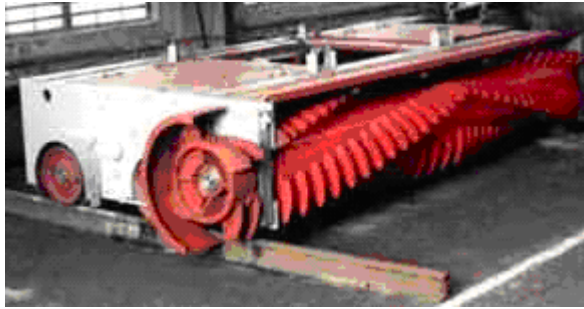
Вагонапрокидыватель состоит из ротора, платформы с люлькой 2, механизма опрокидывания 3 и вибрационных устройств 4 для удаления остатков груза из полувагона. Ротор вагонапрокидывателя 1 связан балками, внутри него размещается платформа 2 и отбойная привалочная плита 3. Для улучшения высыпания груза из полувагона в момент его опрокидывания на роторе вагонапрокидывателя устанавливаются вибраторы направленного действия 4, как правило, двух типов. Малые вибраторы устанавливаются на опорные лапы вагонапрокидывателя (обычно их три) и большие вибраторы (обычно два) устанавливаются на балках соединяющих ротор вагонапрокидывателя. Для повышения долговечности большие вибраторы оборудуются специальной виброгасящей системой. В момент начала поворота ротора цепь энергоснабжения вибраторов размыкается. При включении электродвигателя вагонапрокидывателя ротор начинает проворачиваться и платформа с полувагоном перемещается к привалочной отбойной стенке. При повороте на 175° полувагон опирается верхней обвязкой на опорные лапы с малыми вибраторами. Когда электродвигатели вагонапрокидывателя отключаются производится включение вибраторов. Как правило, время включения вибрации составляет порядка 10...20 с.

5. Предпоследним пунктом технологической схемы является зачистка полувагонов от остатков восстановившим свою сыпучесть груза после его разгрузки. Данный элемент в техно-

логической схеме необходим, поскольку практически при любой технологической схеме выполнения разгрузки требуется дополнительная очистка полувагонов. В настоящее время существует ряд технологических решений по очистке полувагонов от остатков насыпных грузов, в частности, механическая очистка полувагонов различными вращающимися вертикальными и горизонтальными щетками или скребками, использование вибраторов, турбореактивных технологий и другие. Поэтому при выборе оптимального способа очистки полувагона от остатков груза, в первую очередь, необходимо исходить из экономической целесообразности с учетом конкретных технологических условий.

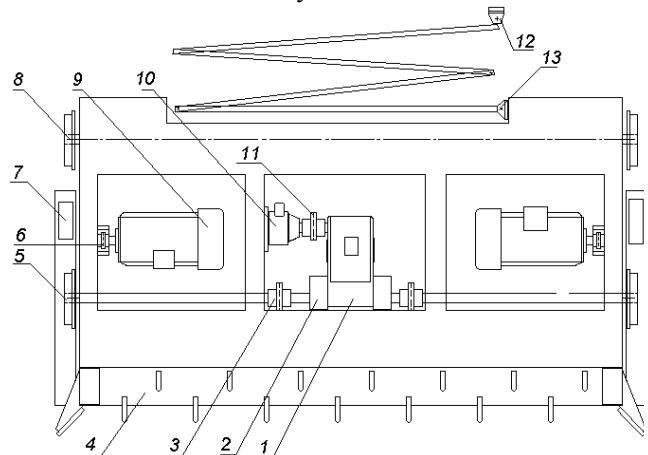
6. Последним элементом технологической схемы является дробление крупных агрегированных кусков груза, которые могут не пройти через отверстия в надбункерных решетках под вагонапрокидывателем. Дробление при необходимости может выполняться вручную отбойными молотками, молотково-дробильными, дробильно-роторными или дробильно-фрезерными машинами, например, типа ДФМ. Данные машины устанавливаются по одной над каждым бункером вагонапрокидывателя. Дробление кусков агрегированного груза производится вращающимися зубьями на основной и боковых фрезах ДФМ при ее движении вперед поперек продольной оси вагонапрокидывателя. В частности, в условиях порта Южный при весе 16,5 т общая мощность электродвигателей машины ДФМ составляет 157 кВт, при

этом двигатель механизма перемещения имеет мощность 7,5 кВт и два двигателя фрезы по 75 кВт. Режим работы машины взаимосвязан с работой вагоноопрокидывателя наличием бло-



**а**

кировок. Во время опрокидывания полувагона машина находится в исходном положении. Управляет ею машинист вагоноопрокидывателя с дистанционного пульта.



**б**

Рис. 5. Дробильно-фрезерная машина:

а – общий вид; б – вид сверху на дробильно-фрезерную машину; 1 – электродвигатель механизма перемещения машины; 2, 3 – редуктор и цепь механизма перемещения машины; 4 – основная центральная фреза с режущими зубьями; 5, 8 – ходовые колеса для перемещения машины; 6 – редуктор двигателя фрезы; 9 – электродвигатель; 10, 11 – двухступенчатый редуктор; 12, 13 – масленка переносная с трубопроводом и стационарная

Таким образом, разработанная технологическая схема, включающая в себя основные технические средства и приемы, позволит эффективно разгружать смерзшийся сыпучий груз из ж.д. полувагонов при любой отрицательной температуре воздуха.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Минеев, С. П. Вибрационное и волновое рыхление агрегированной сыпучей горной массы [Текст] / С. П. Минеев, А. Л. Сахненко, С. А. Обухов. – Д.: Дніпро, 2005. – 212 с.
2. Виброустановка для разгрузки смерзшихся сыпучих материалов из железнодорожных полувагонов [Текст] / С. П. Минеев [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Д., 2004. – № 3. – С. 86–88.
3. Минеев, С. П. Основные положения технологии разгрузки смерзшегося груза из железнодорож-

ных полувагонов [Текст] / С. П. Минеев, М. Г. Ступа, А. С. Минеев // Наук. вісник НГУ. – 2008. – Вип. № 10. – С. 24–29.

4. Вібророзвантажувач змерзлих сипучих матеріалів [Текст] : Патент України № 63724 / С. П. Мінеєв [та ін.]. – 2004. – Бюл. № 1. – 6 с.
5. Патент России на изобретение № 2381980, МКИ В65G 67/24 Стационарное виброрыхлительное устройство для разрушения мерзлых и слежавшихся материалов в полувагонах [Текст] / С. П. Минеев. – Заявка № 2007146160/11; Заявл. 11.12.07, Оpubл. 20.02.10. – Бюл. № 5. – 17 с.
6. Патент на винахід України № 69928 від 16.12.03 р. Пристрій для розпушування змерзлих і злежалих матеріалів у піввагонах [Текст] // С. П. Мінеєв. – Заявка № 20031211671; Оpubл. 10.10.07 р. – Бюл. № 16, 07. – 6 с.

Поступила в редколлегию 25.05.2011.

Принята к печати 15.06.2011.

О' О' . " О' О' . М. А. ВИГОДИН, А. С. МІНЕЄВ

## ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ З ЕФЕКТИВНОГО РОЗВАНТАЖЕННЯ ВАНТАЖУ, ЩО ЗМЕРЗСЯ, ІЗ ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПІВВАГОНІВ

Розглянуто основні прогресивні рішення, закладені в технологію руйнування змерзлого сипкого вантажу в залізничних напіввагонах перед його розвантаженням в зимовий час. Розглянуто стаціонарну вібророзпушувальну установку, спеціальні гаражі-розморожувачі (конвективний, комбінований, з інфрачервоними випромінювачами і пальниками), вагоноопрокидувачі та дробильно-фрезерні машини.

**Ключові слова:** розвантаження вантажу, що змерзся; напіввагон, вібророзпушувальна установка, гараж-розморожувач, вагоноопрокидувач, дробильно-фрезерна машина

## **MAJOR TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR EFFICIENT UNLOADING THE FROZEN CARGO FROM RAILWAY GONDOLA CARS**

The basic progressive solutions put into the technology of destructing the frozen cargo in railway gondola cars before its unloading during winter time are considered. The static vibrocrashing unit, special defreezing garages (convective, combined, with infra-red radiators and torches), car dumpers and crash-milling machines are considered.

*Keywords:* unloading frozen cargo, gondola car, vibrocrashing unit, defreezing garage, car dumper, crash-milling machine

## РАСЧЕТ НЕКОТОРЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СМЕСИТЕЛЕЙ С ЛОПАСТЯМИ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Предложен расчет некоторых энергетических характеристик смесителей, в которых используются лопасти сложной геометрической формы, обеспечивающие эффективный режим перемешивания фибросодержащих композиций.

*Ключевые слова:* смеситель, лопасть, расчет, фибробетон, дисперсная арматура

### Постановка проблемы

В настоящее время практически отсутствуют (за редким исключением) смесительные устройства для получения качественного фибробетона. Мы на протяжении многих лет проводим исследования, направленные на повышение эффективности смешивания дисперсной арматуры с другими компонентами фиброармированной мелкозернистой бетонной смеси. С использованием методов геометрического моделирования нами были разработаны лопасти сложной формы, обеспечивающие высококачественное перемешивание компонентов фибробетона.

### Анализ литературы

Проведенный анализ источников по данному вопросу [1 – 6] показал, что применяемые технические приемы нуждаются в совершенствовании. Практически отсутствуют научные и практические основы проектирования технологии получения качественного фибробетона с высокими свойствами.

### Цель

Разработка технологии приготовления фибробетона на основе расчета энергетических характеристик разработанных нами лопастей смесителей, повышающих эффективность смешивания.

### Изложение материала

На основании многолетних исследований нами было разработано несколько технологических схем получения качественных фиброармированных смесей с использованием рабочих органов, в которых лопасти имеют сложное формообразование.

Как показали результаты работ, проведенных нами ранее, геометрическая форма лопасти

в виде простых кривых поверхностей оказывает влияние на качество перемешивания. Воздействуя на фибробетонную смесь, лопасти такой геометрической формы распределяют смесь, находящуюся перед ней, но степень смешивания при этом не очень высокая. Установленные направления господствующих потоков фибробетонной смеси после воздействия лопастей различной геометрической формы подсказывают конструкторам, да и технологам, каким образом необходимо располагать тот или иной вид лопасти в емкости смесителя, чтобы спланированно направить господствующие потоки от одних лопастей на другие. Другими словами, необходимо заставить эти потоки внедряться друг в друга, а если учесть, что этих потоков иногда образуется много, то в результате и степень смешивания будет улучшаться. Располагая лопасть на валу, следует учитывать и то, что необходимо создавать потоки во всех направлениях. Особенно важно заставить смесь двигаться вверх, а вниз она будет стремиться переместиться сама, вытесняя ту ее часть, которая находится в нижней части емкости.

Таким образом, вначале нами были изучены и смоделированы траектории движения обычных и фибробетонных смесей после воздействия на них лопастей относительно простой, но разной геометрической формы в виде простых кривых поверхностей. И только после теоретического обоснования и практического моделирования на основе экспериментальных исследований были предложены лопасти сложных форм, одна из которых представлена на рис. 1. В основу такого конструирования было положено следующее:

- форма лопасти должна обеспечивать щадящий режим смешивания дисперсной арматуры с компонентами смеси (фибра не должна разрушаться);
- форма рабочего органа (лопасти) должна обеспечить как можно меньшие затраты энер-

гии на преодоление сопротивления смеси движению лопасти (обеспечить скользящий режим перемешивания);

- форма лопасти должна обеспечивать создание в емкости смешивающего устройства такого множества направлений потоков, которые бы внедрялись друг в друга. По нашему мнению, которое основано на практике, только высокоскоростное перемешивание таких потоков между собой, наряду с воздействием самой лопасти на смесь, является залогом получения высококачественного однородного фибробетона.

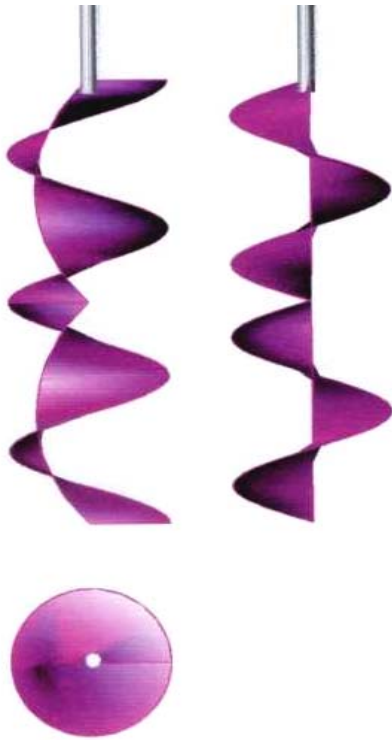


Рис. 1. Лопасть смесителя (три вида)

Представленная лопасть обеспечивает скользящее (щадящее) смешивание фибр с цементной матрицей и создает свой режим перемешивания. В результате, образуются сложные турбулентные потоки смеси, способствующие интенсивному ее перемешиванию. На это и затрачивается большая часть энергии двигателя, еще немного ее идет на преодоление сопротивления сил трения привода.

С помощью геометрического моделирования и вычислений произведем расчет некоторых энергетических характеристик смесителя с одной из разработанных нами лопастей сложной геометрической формы.

Поверхность такой лопасти, состоит из двух одинаковых половинок, каждая из которых образована движением прямой образующей, перемещающейся по двум направляющим кри-

вым линиям: дуге окружности и цилиндрической винтовой линии.

Ниже приведены расчеты ширины лопасти, которая меняется в процессе формообразования, т.к. наружный конец образующей всегда одинаково удален от оси вращения на величину радиуса вращения винтовой направляющей, а вот другой (внутренний) конец ее перемещается вверх по дуге, начальная и конечная точки которой расположены на оси вращения поверхности (одна в начале, другая вверху, в конце оси (вала)). Причем винтовая линия совершает при этом поступательное и вращательное движения вверх на  $1\frac{1}{2}$  шага. Длина хорды дуги окружности, при этом, равна  $1\frac{1}{5} R$ , а высота дуги (расстояние (перпендикуляр) от центральной точки хорды до средней точки дуги)) равна  $\frac{1}{2} R$ . Для упрощенных вычислений необходимо разбить хорду дуги на  $n$  равных частей и определить промежуточные точки дуги (точки положения внутренних концов промежуточных образующих). Затем необходимо смоделировать процесс формообразования с помощью рисунка. На рис. 2, на фронтальной и горизонтальной плоскостях проекций, показаны построения на дуге, которая является плоской кривой (фронтальной плоскостью уровня). Из фронтальной проекции видно, что хорда, соединяющая концы дуги, разбита на 12 равных частей. Из промежуточных точек хорды проведем перпендикуляры до пересечения с дугой и получим промежуточные точки на дуге. Затем по линиям связи найдем положения этих точек на горизонтальной проекции дуги.

На рис. 3 уже показана горизонтальная проекция всей поверхности с промежуточными точками на направляющих. Одна из направляющих – цилиндрическая винтовая линия – имеет проекцию в виде окружности радиуса  $R$ , а другая – дуга – расположена горизонтально (в виде прямой) слева от оси вращения поверхности. Ось проходит через точку 1 на дуге и на  $\Pi_1$  вырождается в точку, а на  $\Pi_2$  – в вертикальную прямую. Показанные проекции промежуточных образующих получены в результате последовательного соединения соответствующих точек на направляющих. Они на  $\Pi_1$  проецируются в натуральную величину ( $1_1 1^1$ ;  $2_1 2^1 \dots$ ), которая будет на каждом промежуточном этапе их перемещения равна ширине лопасти.

Значения взяты при перемещении образующей на  $\frac{1}{12}$  высоты поверхности с поворотом на угол кратный  $\frac{1}{12}$  от  $0^\circ$  до  $540^\circ$ . Это составит  $1\frac{1}{2}$  шага винтовой линии. Т.е., промежуточные точки на проекции винтовой линии (в

виде окружности на  $\Pi_1$ ) будут являться проекциями наружных концов промежуточных образующих поверхности лопасти.

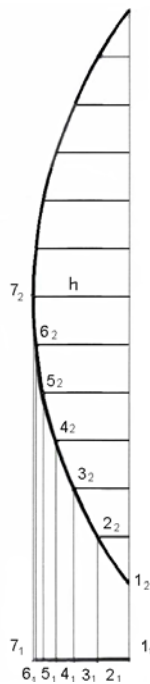


Рис. 2. Двухкартинный комплексный чертеж дуги окружности, одной из направляющих сложной кривой поверхности вращения и деление ее на 12 частей

Построения с таким шагом фиксации образующих показаны только для примера и пояснений. На рис. 4 видно изменение ширины лопасти по ее высоте.

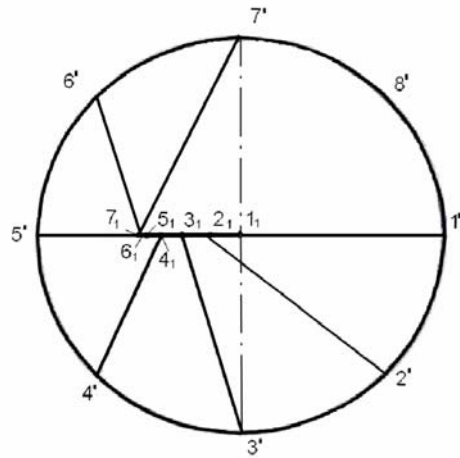


Рис. 3. Горизонтальная проекция двух направляющих сложной кривой поверхности вращения высотой  $1\frac{1}{2}$  шага винтовой линии и схема определения последовательного положения ее промежуточных образующих



Рис. 4. Изменение высоты лопасти, образованной движением прямой образующей по двум кривым направляющим: цилиндрической винтовой линии и дуге окружности при высоте поверхности, равной  $1\frac{1}{2}$  шага винтовой линии.

Эти промежуточные значения нужны для определения закономерностей изменения ширины ( $b$ ) лопасти (ширины захвата смеси лопастью), которую необходимо использовать в расчетах энергетических и других характеристик смешивающего устройства в целом. В результате проведенной математической обработки было получено усредненное значение ширины такой лопасти:  $b_{cp} = 1,09 \cdot R\phi$ , при  $h = 1/2 \cdot R\phi$ .

## Выводы

На основании вышеизложенного, мощность, необходимую для вращения вала смесителя с лопастью, представленной на рис. 1, можно вычислять так:

$$N = \frac{gk\gamma\pi(b_{cp})^2 H^3 w^3 \cos^4 \beta}{1000\eta}, [\text{кВт}],$$



где  $g$  – ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ ;

$k$  – коэффициент, учитывающий проскальзывание смеси, (рекомендуется  $k = 0,35 \dots 0,4$ );

$\gamma$  – плотность смеси,  $\text{т/м}^3$ ;

$b_{\text{ср}}$  – средняя ширина лопасти (изменяется с подъемом образующей поверхности, движущейся одним концом по направляющей – винтовой линии, а другим – по второй направляющей – дуге окружности),  $b_{\text{ср}} = 1,09 \cdot R\delta$ ;

$\beta$  – угол подъема винтовой линии, град;

$w$  – угловая скорость вращения вала,  $w = 2\pi n$ , рад/с;

$\eta$  – КПД привода,  $\eta = 0,75 \dots 0,9$ ;

$H$  – шаг винтовой направляющей.

Полную использованную энергию (производственную энергоёмкость) определим по формуле:

$$\varepsilon_{\text{п}} = \frac{\xi' t}{\eta_{\text{п}}},$$

где  $t$  – время перемешивания;

$\eta_{\text{п}}$  – полный коэффициент полезного действия механизма;

$\xi'$  – отношение используемой мощности к объёму произведенной продукции:

$$\xi' = \frac{N_{\text{дв}}}{V},$$

где  $N_{\text{дв}}$  – использованная мощность;

$V$  – вместимость смесительного барабана.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Королев, К. М. Эффективность приготовления бетонных смесей [Текст] / К. М. Королев // Механизация строительства. – 2003. – № 6. – С. 7–8.
2. Пулин, В. П. Повышение энергетической эффективности бетоносмесителей циклического действия [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / В. П. Пулин. – Д.: ДИСИ, 1984. – 176 с.
3. Пухаренко, Ю. В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук / Ю. В. Пухаренко. – СПб.: С-ПГАСУ, 2004. – 315 с.
4. Коротышевский, О. В. Полы из сталефибробетона и пенобетона [Текст] / О. В. Коротышевский // Строительные материалы. – 2000. – № 3. – С. 17–18.
5. Кромская, Н. Ф. Исследование смесителя для приготовления дисперсно-армированных бетонных смесей [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. Ф. Кромская. – Л.: ЛПИ, 1981. – 18 с.
6. Хойер, Д. Смешивание бетона и состояние техники [Текст] / Д. Хойер // Сб. тр. конф. «Строительство, материаловедение, машиностроение». – Ялта, 2010. – С. 38–43.

Поступила в редколлегию 09.11.2011.

Принята к печати 17.11.2011.

К. К. МИРОШНИЧЕНКО

## РОЗРАХУНОК ДЕЯКИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗМІШУВАЧІВ З ЛОПАТЯМИ СКЛАДНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ

Запропоновано розрахунок деяких енергетичних характеристик змішувачів, в яких використовуються лопаті складної геометричної форми, що забезпечують ефективний режим перемішування композицій із фібробетоном.

*Ключові слова:* змішувач, лопать, розрахунок, фібробетон, дисперсна арматура

К. К. MIROSHNYCHENKO

## CALCULATION OF SOME POWER INDICES OF MIXERS WITH BLADES OF COMPLEX GEOMETRICAL FORM

The calculation of some power indices of mixers with the use of blades of complex geometrical form, providing the effective mode of interfusion of fibrous concrete compositions, is offered.

*Keywords:* mixer, blade, calculation, fibrous concrete, dispersion fittings

Н. А. НІКІФОРОВА (ДІПТ), І. Л. САФРОНОВ, В. І. СТЕЦЬЮК (НГУ, Дніпропетровськ),  
В. О. МОМОТ (ДІПТ)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРІД РОЗКРИВУ НОВО-ДМИТРІВСЬКОГО РОДОВИЩА БУРОГО ВУГІЛЛЯ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ЯК БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Наведені результати дослідження порід розкриття Ново-Дмитрівського буровугільного родовища та надані рекомендації щодо застосування супутніх корисних копалин як будівельних матеріалів.

*Ключові слова:* родовище, будівельні матеріали, корисні копалини, діатоміти, вуглисті глини, дослідження, промислова розробка

Обмежені запаси нафти і газу та їх інтенсивний видобуток обумовили переоцінку ролі вугілля у паливно-енергетичному балансі країни. Розробка вугільних родовищ Донбасу пов'язана з вкрай складними гірничо-геологічними умовами, насамперед з постійно зростаючою глибиною розробки та високою і важкопрогнозованою газоносністю. З поважних причин готується закриття десятків вугільних шахт Донецького і Львівсько-Волинського басейнів. Тим часом попит на паливно-енергетичну сировину постійно зростає на протязі досить тривалого часу і має стійку тенденцію до збільшення ролі вугілля в паливному балансі. В цих умовах особливу актуальність набуває промислове освоєння нових потужних родовищ бурого вугілля, одним з яких є комплексне Ново-Дмитрівське. Розвідане ще в 70-ті роки минулого століття воно, ще за радянських часів, було досить високо оцінене колегією міністерства вугільної промисловості України. З відомих причин цей проект не було реалізовано. Але на сьогодні щорічний видобуток 9 – 10 млн. т вугілля здатний реально знизити енергозалежність України від закордонних постачальників.

Ново-Дмитрівське комплексне буровугільне родовище розташоване в Барвенківському районі Харківської області поблизу її кордону з Донецькою. Унікальність родовища полягає в наступному:

- високий лінійний коефіцієнт вугленості – 33...34 % (для Донбасу 2,5...3 %) та надзвичайна потужність вугільних покладів до - 74 м (сумарна до 120 м);

- промислові запаси, обмежені площиною 3,5×5 км, складають 446,5 млн. т, в т.ч. з зольністю до 26 % – 290,7 млн. т або 98,2 % (здатні для виготовлення брикетів);

- розкривна частина родовища – від денної поверхні до глибини 375 м на 90 % складена супутніми корисними копалинами – вуглисти-

ми і бітумінозними глинами (біля 1 млрд. т), промисловими сірчаними рудами (понад 1 млрд. т), діатомітами (біля 0,6 млн. т), рудами титану, свинцю та цинку, а також вогнетривкі глини, скляні та будівельні піски, тощо;

- за умовами утворення Ново-Дмитрівське родовище становить новий генетичний тип вугільних родовищ, пов'язаних з компенсаційними воронками над сольовими діпірами. Промислові родовища такого походження в світі невідомі.

Однак гірничо-геологічні умови родовища характеризуються як досить складні за двома основними обставинами – значною глибиною залягання Основного вугільного горизонту у центральній частині родовища (до 380 м) та наявністю декількох водоносних горизонтів в поєднанні з механічно слабкими гірськими породами. У зв'язку з цим, комплексне промислове освоєння Ново-Дмитрівського родовища повинно передбачати послідовну розробку та обґрунтування нетрадиційних технологічних і наукових рішень, що не мають аналогів у вітчизняній та світовій практиці. Це стосується, насамперед, у попередньому та поточному зневодненні гірничих порід у межах кар'єрного поля і виборі гірничотранспортного обладнання, експлуатація якого повинна забезпечити високі техніко-економічні показники при безпечному розміщенні на нестійких площадках добувних уступів.

У процесі промислової розробки родовища планується використання принципово-нових технологій і обладнання для роздільної розробки пластів вугілля і попутних корисних копалин, їх транспортування і тимчасового складування у вигляді тимчасових техногенних родовищ. Передбачається, що їх повторна розробка і своєчасне постачання споживачам дозволить на довгий час забезпечити промисловість району (будівництво, хімічну, сільське господарство) цінною мінеральною сировиною. Її видобуток з



техногенних родовищ буде виконуватися із застосуванням того ж обладнання, що і на основних процесах розробки буровугільних покладів. В екологічному відношенні територія району для будівництва кар'єру, ТЕЦ, транспортних та енергетичних мереж, не розвинена і промислово не освоєна.

Середній по родовищу коефіцієнт розкриття у розрахунку на буре вугілля за попередніми розрахунками складає  $4 \text{ м}^3/\text{т}$ , але на перших етапах розробки поточний коефіцієнт розкриття може досягати  $10 \text{ м}^3/\text{т}$ . В той же час до 70...80% об'єму розкриття складені супутніми корисними копалинами, попутне використання яких може значно покращити економічні показники при видобутку бурого вугілля.

Пошуковими і розвідувальними роботами на буре вугілля і пошуково-ревізійними роботами на ртуть [1] у прибортовій частині Ново-Дмитрівського родовища виявлені рудопроявлення свинцю, цинку, ртуті (корінні породи борту) та титанових руд мінералів – ільменіту, рутилу, лейкоксену (прибортова частина мульди). З урахуванням того, що будівництво кар'єру неминує порушити корінні борти Ново-Дмитрівської мульди, прояви свинцево-цинкових і ртутних руд, що розташовані у верхньопалеозойських утвореннях, потрапляють до складу розкритих порід. Для оцінки рудопоявлень, які зафіксовані у периферійній частині мульди 36 свердловинами, використанні результати 4600 спектральних, 236 хімічних і 119 мінералогічних аналізів.

Свинцево-цинкове оруднення локалізоване двома складними крутопадаючими зонами: північно-східною та південно-західною. Діючі кондиції [2], за вмістом в руді основних компонентів, підрозділяються на: багаті руди з кількістю свинцю понад 4 %, або з сумарним вмістом свинцю і цинку понад 7 %; рядові з вмістом свинцю 2...4 %, сумарно свинцю і цинку 4...7 %; бідні з вмістом свинцю 1,2...2 %, свинцю і цинку від 2...4 %.

Прояви ртуті виявлені спектральними аналізами у кількості від 0,003 % до 0,02 %, а також в окремих свердловинах північно-східної частини Корульського куполу, мінералізація яких належить до пісковиків пермі, карбону і просторово прагне до тих же розділів, що і свинцево-цинкове оруднення. Відповідно до діючого Інструкції ДКЗ, по вмісту ртуті виділяють три промислових сорти руди: штуфні – понад 1 %, багаті – від 0,3 до 1 % і рядові – від 0,04 до 0,3 %. Спектральний аналіз проб над мінералізованим залишком виявив вміст ртуті до 0,001 %. Загальний висновок: на цей час ртутне

забруднення вивчено недостатньо і викликає пошуковий інтерес.

Прояви титанових мінералів таких як рутил, ільменіт і лейкоксен в окремих випадках складають до 34 % важкої фракції, що при перерахунку на об'єм складе 3...6 кг на  $1 \text{ м}^3$  піску. Збагачені мінералами інтервали не складають окремих шарів та горизонтів, а мають форму ізольованих між собою лінз і прошарків.

Самородна сірка пов'язана з покладами берекської свити – із хемогенним комплексом сульфатно – карбонатних порід, розташованих на 2...3 м вище над основною буровугільною лінзою. Порооди розповсюджені у центральній частині мульди на площі біля  $2 \text{ км}^2$  і в плані повторюють форму вугільного покладу. Зверху вони перекриті діатомітами, знизу підстилаються темно-сірими піритизованими гідросмодістими глинами, що залягають безпосередньо у кривлі основного вугільного покладу. Найбільша потужність хемогенних порід складає 41 м і зафіксована у центрі родовища. У бік бортів кар'єрного поля вона генетично виклинюється і поступово перетворюється у горизонт вапняку.

Самородна сірка локалізована, головним чином, у доломітах та карбонатно-гіпсових породах. Форма виділення сірки – гніздово-вкраплена розміром до 5...7 мм, розподілення в породі більш-менш рівномірно, контури розпливчасті. Гнізда сірки розміром 5...10 см зустрічаються одночасно або групами, форма ізометрична, контакти з породами чіткі.

Форма покладів лінзовидна, розмір – від перших метрів до перших десятків метрів, іноді до 100...120 м, вміст сірки досить мінливий. Серед хемогенної товщі досить чітко виділяється дві збагачені сіркою лінзи – нижня і верхня. Нижня має незначну потужність – до 2...3 м, обмежене розповсюдження – до  $0,9 \text{ км}^2$  та інколи розщеплюється на 2 горизонти. Вміст сірки коливається від 5,03 до 20,04 %. Запаси самородної сірки при бортовому вмісті її в руді 5 % складають 447 тис. т, а при вмісті 8 % – 269 тис. т, разом – 716 тис. т.

Горизонт діатомітів залягає в 10...40 м вище основного вугільного покладу безпосереднього у покривлі горизонту сірчанних руд. Займає площу більше  $10 \text{ км}^2$ , глибина залягання – від 45...50 м на периферії депресії, до 290 м у центральній частині родовища. Максимальна потужність горизонту складає 54 м, звичайна 40...45 м. Попередньо розрахований обсяг діатомітів перевищує 400 млн.  $\text{м}^3$ .

За хімічним складом діатоміти Ново-Дмитрівського родовища співпадають з діатомітами широко відомого Піонерського родовища Росії. Питома вага діатомітів коливається

від 1,61 до 2,3 т/м<sup>3</sup> і залежить від кількості глинистих домішок.

Кількість цілих панцирів діатомей у діатомітових породах Ново-Дмитрівського родовища коливається від 3 до 30 млн. од. у 1 см<sup>3</sup>. Панцирі являють собою мікроскопічні опалові тільця (0,03...0,15 мм), які надають породі легкість і пористість. Пористість діатомітів у кращих сортах світових родовищ досягає 70...75 %. Пористість досліджених діатомітів досягає в окремих пробах 80...81 %, в основному 43,6...79,2 %, у середньому – 60 %. Таким чином, за цим показником діатоміти Ново-Дмитрівського родовища слід віднести до високосортної сировини.

Цінною фізичною властивістю діатомітів є їх здатність вбирати вапно. Це має вирішальне значення при використанні їх у якості гідралічної домішки до цементного клінкеру. Активність досліджених діатомітів коливається від 18,9 до 313,1 мг СаО на 1 г домішок. Діатоміти доцільно використовувати у цементній та будівельній галузях, якщо вбираюча спроможність їх складає не менше 150 мг СаО на 1 г домішок.

Окрім того, діатоміти Ново-Дмитрівського родовища можуть використовуватися в якості тонких природних фільтрів (наприклад харчовій і нафтопереробній промисловості), як теплоізоляційний матеріал, а також у цементній та будівельній промисловості. Паперова промисловість використовує діатоміт для виробництва бюварного та салфетного паперу. Основні вимоги при цьому білий колір та тонкий помел. Не виключається, що в окремих випадках, буде потрібний їх селективний видобуток.

Вуглисті глини являють собою глинисті породи на 35...45 % насичені сапропелевими і гумусовим матеріалом. Детальний аналіз складу і властивостей вуглистих глин дозволяє обґрунтувати три напрямки їх використання: високосортне добриво для сільського господарства; низькосортне паливо разом з бурим вугіллям; виробництво бурових розчинів.

Проведені експерименти показують: інтенсивність зростання рослин визначається концентрацією поживних речовин. Більш активне зростання мали рослини, що розташовані на більш концентрованих розчинах. При цьому відмічались як зростання сирі ваги рослин, так і зростання довжини корінців. При доданні до розчину водяного витягу з цих глин у співвідношенні 1:1, сира вага рослин зростала на 20,8 % порівняно з контрольною. Експерименти проведені з ґрунтовними культурами (овес) свідчать про те, що глини, внесені у вигляді гранул у дозах 25, 50, 100, 150 і 200 г на посуд,

впливають позитивно як на зріст наземної маси, так і на зріст та вражай вівса [3].

Темно-сірі та чорні різновиди вуглистих глин на 35...45 % збагачені гумусовою та сапропелевою органічною речовиною розташовані у верхній частині вугленосної товщі. Їх загальна потужність від 75 до 100 м розподілена таким чином: 20...25 м у ґрунті IV вугільного горизонту, решта – в його покрівлі. При спільному видобутку з вуглистими прошарками та вугіллям V горизонту їх мінеральна частина, за нашими розрахунками, не перевищує 55...65 %. За досвідом західних, перш за все німецьких технологій, таке паливо можна використовувати на теплових електростанціях та централах. Глини Ново-Дмитрівського родовища розповсюджені на площі понад 6 км<sup>2</sup>. При середній загальній потужності, що складає 75 м, попередні запаси їх перевищують 450 млн м<sup>3</sup>, що при питомій вазі 1,35 т/м<sup>3</sup> перевищує 600 млн т.

Окрім того, глинисті утворення за якістю придатні для виготовлення глинистих бурових розчинів. За віком вони віднесені до полтавської свити пліоцену, де складають товщу потужністю 31,3 м перекриту 29 метрами розкритих порід.

Досліджено 28 проб із свердловин № 1418 та 1419 в Лабораторії промислових розчинів Артемівської КГРЕ. У цілому, глини для виготовлення бурових розчинів повинні відповідати таким основним вимогам: кількість піску (відстій 3 хвилини) не більше 4 %; швидко розпускатися у воді; складати з водою в'язку та стійку суспензію; розчин повинний бути тонкодисперсним з мінеральною домішкою піску.

Речовинами, що погіршують якість глинистих розчинів, являються гіпс, вапняк і особливо кам'яна сіль. Кварцевий пісок збільшує зашлямованість розчину та у наслідок абразивних властивостей прискорює зношення насосів і бурового інструменту. Бурові розчини задовільної якості повинні мати такі основні показники: кількість піску (відстій 3 хвилини) не більше 4 %; добовий відстій (колоїдальність) не більше 1 %; в'язкість на стандартному приладі СПВ-5 20...26 Па с; питома вага 1,16...1,20 г/см<sup>3</sup>; водовіддача не більше 30 см<sup>3</sup>.

У процесі дослідження з кожної з відібраних проб виготовляється глинистий розчин з в'язкістю 25 Па с і визначаються його основні параметри.

Фізико-механічні властивості 15 глинистих розчинів відображені в табл. в порівнянні з глинистим розчином з часов'ярської глини – основною сировиною для проходки свердловин.

Таблиця 1

**Фізико-механічні властивості  
глинистих розчинів**

Найменування	Показники				
	Питома вага, г/см <sup>3</sup>	В'язкість, Па·с	Вміст піску, %	Водовіддача, см <sup>3</sup>	Товщина кірки, мм
Вихідний глинистий розчин з глин Ново-Дмитрівського родовища	від 1,23 до 2,33	25	від 1 до 8	від 5 до 13	від 1,5 до 4
Вихідний глинистий розчин з Часов'ярського родовища.	1,18	25	1	37,5	7,5

З табл. видно, що глинистий розчин з глини Ново-Дмитрівського родовища у цілому задовільний. Для покращення окремих параметрів у розчин вводили стабілізуючі домішки, а саме – 10 % вуглелужний реагент (ВЛР) та 2 % кальцинована сода (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

Вихідні бурові розчини після обробки їх вуглелужним реагентом і кальцинованою содою показали цілком позитивний результат. При доведенні до потрібної в'язкості 25 Па·с: питома вага 1,16...1,20 г/см<sup>3</sup>; вміст піску 0,5...3,0 %; водовіддача 7...10 см<sup>3</sup>.

Лабораторія бурових розчинів Артемівської комплексної геологорозвідувальної експедиції відмічає, що розхід реагентів для обробки розчинів з глин Ново-Дмитрівського родовища значно менший, чим при обробці глинистих розчинів із часов'ярської глини. Глини Ново-Дмитрівського родовища придатні також для виготовлення високо кальцієвих розчинів (ВКР), які містять 10 % сульфід-спиртові барди (ССБ) і 1 % хлористого кальцію. Таким чином, глинисті породи, що розташовані у розкривній частині Ново-Дмитрівського родовища, можна використовувати для виготовлення бурових розчинів при умові попередньої обробки їх вуглелужним реагентом (10 %) та кальцинованою содою (2 %).

Таким чином, з урахуванням складних гірничо-геологічних умов розробки Ново-

Дмитрівського буровугільного родовища, досліджені в його розкривній частині корисні копалини повинні суттєво покращити економічну ситуацію регіону. Серед корисних копалин, які планується видобувати одночасно з будівництвом кар'єру є поліметалічні руди з промисловим вмістом свинцю і цинку (до 2...5 % і, навіть, до 17 % при мінімальній концентрації у промислових рудах 2 % і більше); кіновар з промисловими концентраціями ртуті; сірчана руда з вмістом сірки самородної понад 8 % у кількості 716 тис т.; діатоміти – цінна високо-сортна речовина у якості тонких природних фільтрів для харчової та нафтопереробної промисловості, а також цінний як теплоізоляційний матеріал, наповнювач у легких сортах бетону, гідравлічні домішки до цементного клінкера; попередній обсяг діатомітів перевищує 400 млн м<sup>3</sup>.

Вуглисті глини після детальних цільових досліджень можна використовувати як високо-сортне добриво у сільському господарстві, паливо у суміші з бурим вугіллям, виробництво бурових розчинів, керамічних глин, як сировину для грубої і тонкої кераміки, та для виробництва керамзиту. Окрім згаданих вище корисних копалин, у розкривній частині родовища присутні скляні та будівельні піски, вогнетривкі глини та інші корисні утворення. Однак їх геолого-економічна оцінка потребує окремих досліджень.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Отчет о детальной разведке Ново-Дмитровского месторождения бурого угля [Текст]. – т. II. – 1972. – ф. тр. Артемгеология.
2. Сборник руководящих материалов по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых [Текст]. – М.: ГКЗ СССР, 1985.
3. Закономерности формирования буроугольных залежей Северо-Западного Донбасса с целью обоснования разработки комплексного Ново-Дмитровского месторождения [Текст]. – Техничко-экономический доклад. – Д.: НГУ, 2003. – 15 с.

Надійшла до редколегії 13.07.2011.

Прийнята до друку 19.07.2011.

Н. А. НИКИФОРОВА, И. Л. САФРОНОВ, В. И. СТЕЦЮК, В. О. МОМОТ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОД ВСКРЫШИ НОВО-ДМИТРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БУРОГО УГЛЯ С ЦЕЛЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены результаты исследования пород вскрыши Ново-Дмитровского месторождения бурого угля и даны рекомендации по использованию попутных полезных ископаемых в качестве строительных материалов.

*Ключевые слова:* месторождение, строительные материалы, полезные ископаемые, диатомиты, угленосные глины, исследования, промышленная разработка

N. A. NIKIFOROVA, I. L. SAFRONOV, V. I. STETSUK, V. O. MOMOT

## **STUDY OF COVERING ROCKS OF NOVO-DMITROVSK DEPOSITS OF BROWN COAL WITH THE PURPOSE OF USING AS BUILDING MATERIALS**

The results of the study of rocks of opening the Novo-Dmitrovsk deposits of brown coal are presented and the recommendations on the use of associated minerals as building materials are given.

*Keywords:* deposit, building materials, minerals, diatomites, clays, research, industrial development

В. В. РИБКІН, В. В. КОВАЛЕНКО, Ю. Л. ЗАЯЦЬ, П. О. ПІШНЬКО, В. П. ЛИСНЯК,  
Л. О. ЯРИШКІНА, С. В. ВАСИЛЬЄВА (ДІПТ)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДРІБНИХ ЗАПОВНЮВАЧІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ

В роботі проведено аналіз реакційної здатності та зернового складу дрібних заповнювачів для виробництва залізобетонних шпал.

*Ключові слова:* залізобетонні шпали, лужно-кремнієвокисла реакція, зерновий склад, пісок

З прадавніх часів чоловіча спільнота була стурбована якістю будівельних матеріалів та виготовлених з них будівельних виробів та різних споруд. Вчені різних країн знаходять зведення законів різних міст у середньовіччі та набагато раніше, де згадуються міри покарання за використання неякісних будівельних матеріалів. Нині необхідність вхідного контролю реакційної здатності партій дрібних заповнювачів на підприємствах-виробниках затверджено нормами ДСТУ Б.В. 2.7-76-98 «Пісок для будівельних робіт з відсівів руйнування скальних порід гірничозбагачувальних комбінатів України», п. 7.4 [1]. Крім того, характеристики якості вказані в сертифікатах якості цих матеріалів. Однак, вочевидь, маємо дуже часто незбіг фізико-хімічних властивостей матеріалів з такими за сертифікатом якості. Крім того, якість сировинних матеріалів найбільше впливає на динамічно важконавантажені вироби, такі як залізобетонні шпали. Недотримання норм стандартів щодо зернового складу провокує застосування більшої кількості води затворювання, ніж потрібно, застосування реакційноздатних пісків сприяє прискоренню лужно-кремнієвокислої реакції з утворенням додаткових фаз (продуктів реакції) навколо кожної частки піску, що руйнує бетон із середини протягом 2...5 років [2].

Тому *метою даної роботи* було виявлення фізико-хімічних властивостей дрібних заповнювачів для виробництва залізобетонних шпал.

Для виявлення реакційної здатності та зернового складу застосовано стандартні методики визначення цих характеристик в будівельних матеріалах.

В табл. 1 представлено результати визначення реакційної здатності піску та щебеню різних виробників. Результати отримані за стандартними методиками фотометричним та ваговим методами. Отримані за різними методиками дані відрізняються за абсолютними величинами, але дозволяють зробити висновок про реакційну здатність заповнювачів.

З табл. 1 видно, що піски Ігнатпільського родовища та ВКП «Явір-Інвест», с. Велика Калинівка Хмельницького району є неоднорідними, але розробки нових карт дозволяють отримати продукцію в межах державних стандартів.

Таблиця 1

**Реакційна здатність піску різних родовищ України**

Найменування об'єкту дослідження	Модуль крупності	Хімічні методи визначення реакційної здатності гірничої породи і щебеню			
		Фотометричний розчинний $\text{SiO}_2$ , ммоль/л		Ваговий розчинний $\text{SiO}_2$ , ммоль/л	
1	2	3		4	
Пісок (жовтий, природний, мілкий). М. Нетішин, Хмельницьк. обл.	1,44	286,5	273,45	180,7	166,13
Пісок Хмельницької обл. виробн. «Явір-Інвесту»	1,53	3,84	3,84	-	-
Пісок (сірий, відсів), ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр»	2,11	27,41	29,86	19,16	21,16
Пісок (жовтий) Іршанське род-ще	1,565	54,07	52,3	36,5	20,5
Пісок Ігнатинське родовище	1,565	63,82	60,76	52,33	48,5
Пісок річковий ПП «Юлія»	1,575	49,66	58,37	48,0	47,7
Пісок Дніпродзержинського річкового порту	1,79	45,68	47,87	-	-
Пісок Солов'їна роша	1,66	38,9	46,04	-	-
Пісок Дніпродзержинського річкового порту	1,79	43,22	44,14	-	-

Закінчення табл. 1

Найменування об'єкту дослідження	Мо- дуль круп- ності	Хімічні методи визначення реакційної здатності гірничої породи і щебеню			
		Фотометрич- ний роз- чинний SiO <sub>2</sub> , ммоль/л		Ваговий розчинний SiO <sub>2</sub> , ммоль/л	
1	2	3		4	
Пісок ВКП«Явір- Інвест», с. Велика Калинівка Хмельн. р-н з розмиву нової карти	1,89	1,23	-	-	-
Пісок Ігнатинське родовище (жовтий)	1,53	61,06	81,48	42,83	84,17
Пісок Гричанський кар'єр (сірий)		64,0	55,48	29,5	26,33
Пісок Ігнатипільське родовище (жовтий)	1,495	51,44	64,62	49,33	45,83
-«-	1,52	57,39	60,76	-	-
Пісок Ігнатипіль- ський розмив нової карти	1,72	1,53	-	-	-
Пісок Київського річкового порту	1,14	3,3	-	-	-
Пісок Кременчу- цького річкового порту	1,56	25,5	19,7	26,0	19,83
-«- (Крячнівського родовища)	1,58	29,12	27,9	-	-
Пісок ВКП «Явір- Інвест» Славуґа-2	2,00	40,47	41,57	34,33	29,5
Пісок Горинь- Крупецького родови- ща ВКП«Явір-Інвест», с. Велика Калинівка Хмельн. р-н.	2,13	85,71	89,27	-	-
-«-	2,19	61,98	55,25	-	-

З результатів аналізу даних в табл. 1 виявлено, що з 12 досліджених родовищ піску з різних кар'єрів неприпустиме застосування природного піску Нетішинського кар'єру Хмельницької області, у якого реакційна здатність майже у 6 разів перевищує допустимі державними стандартами норми. Цей пісок застосовувався у технологічному процесі виготовлення залізобетонних шпал на Гніваньському заводі. Недопустимо за нормами державного стандарту застосування ВАТ Коростеньським заводом ЗБШ

піску Гричанського кар'єру, де реакційна здатність піску перевищує норми стандарту до 63 % (відносних). Неприйнятне за діючими нормами застосування ДП Старокостянтинівським заводом ЗБШ піску Ігнатипільського піщаного кар'єру розробки старої карти, де виявлена фотометричним методом реакційна здатність кремнезему перевищує допустиме стандартом значення на 14,62 ммоль/л, але розроблення нової карти родовища дозволило отримати пісок з реакційною здатністю в межах норм стандарту. Не відповідає вимогам ГОСТ 2869.0-97 пісок річковий, що застосовується Запорізьким ЗАТ «ЗЗЗШ» ПП «Юлія».

Ретельний аналіз технологічних процесів виготовлення залізничних залізобетонних шпал виявив наявність у сировинному матеріалі – піску крупних до 3 см<sup>3</sup> грудок ґрунту та глини у кількості до 1 % (мас.). Найбільш характерне це порушення технологічних норм на Гніваньському заводі залізобетонних шпал. Це не відповідає нормам ДСТУ В.А. 1.1-55-94 «Природні піски для виробництва будівельних матеріалів. Терміни та визначення» Перечень шкідливих факторів, п. 7.2 Шкідливі домішки, де діаметр часток глини у грудках повинен знаходитися у межах від 1,25 до 5,0 мм, та гумусу до 30 мм.

Дослідження зернового складу піску для оцінки придатності до застосування в будівельних розчинах та бетонах було проведено на зразках піску та гранітного відсіву, які надіслані заводами в якості сировинних матеріалів для виробництва залізобетонних шпал.

Розсів заповнювачів проводили відповідно державним стандартам за загальноприйнятою методикою. Результати розсівів та їх відповідність нормам ДСТУ представлено в табл. 2–8, рис. 1–3.

З аналізу модулів крупності піску видно, що багато родовищ задовольняють нормам державного стандарту  $M_{кр} = 1,6...3,15$ , але розміри часток – не завжди.

Для підвищення модуля крупності річкових пісків для виробництва залізобетонних шпал на ВАТ «Гніваньський завод спеціального залізобетону» використовує відсів «Гніваньського гранітного кар'єру».

Результати аналізу проб показав, що модуль крупності та фракційний склад відсіву не мають стабільних показників та потребують ретельних перевірок для попередження використання партій відсіву, що не задовольняють існуючим стандартам якості.

На рис. 1 видно, що результати розсіву відсіву не завжди задовольняють нормам ДСТУ.

**Результати розсіву відсіву «Гніваньського гранітного кар'єру» – постачальника  
ВАТ «Гніваньський завод спеціального залізобетону»**

Залишки повні, %	Розмір сит, мм							Пройшло крізь сито 0,16, %
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
1	0,51	26,56	42,89	63,92	75,43	85,67	93,86	
2	0	0	9,1	42,0	63,9	80,7	89,7	

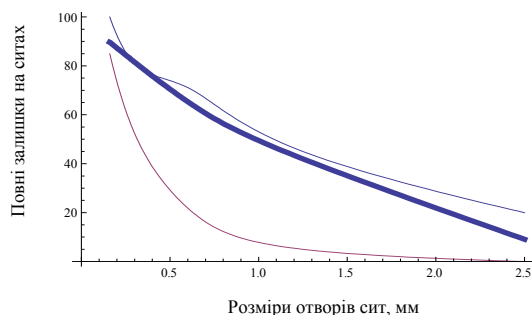


Рис. 1. Кількість повних середніх залишків на ситах гранітного відсіву «Гніваньського гранітного кар'єру» – постачальника ВАТ «Гніваньський завод спеціального залізобетону»

Середня щільність насипної маси відсіву складає 1,54 кг/л, модуль крупності 2,85. На рис. 1–2 та з табл. 2 видно, що результати розсіву гранітного відсіву не завжди задовольняють нормам ДСТУ.

Таким чином, друга партія відсіву не може використовуватися для виробництва залізобетонних шпал.

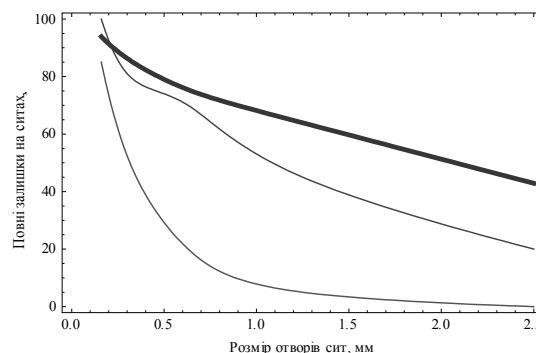


Рис. 2. Кількість повних середніх залишків на ситах відсіву Гніваньського кар'єру – постачальника «Гніваньського заводу спеціального залізобетону»

Наступним об'єктом уваги даної роботи стало дослідження зернового складу пісків Ігнатпільського та Іршанського родовищ (табл. 3, 4, рис. 3).

Середня щільність насипної маси піску першої проби складає 1,53 кг/л, модуль крупності – 2,03. Результати розсіву піску задовольняють нормам ДСТУ.

Таблиця 3

**Результати розсіву піску Ігнатпільського кар'єру – постачальника  
ВАТ «Коростеньський завод залізобетонних шпал»**

Залишки повні, %	Розмір сит, мм							Пройшло крізь сито 0,16, %
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
1	0	0	1,8	8,3	25,9	71,2	95,7	
2	0	0	1,6	6,3	22,8	68,5	95,4	
3	0	0	0	0,4	2,4	70,2	99,5	
4	0	0	0,4	2,4	15,0	69,5	95,2	

Середня щільність насипної маси другої проби піску складає 1,565 кг/л, модуль крупності – 1,95. Наявність часток більше 5 мм – до 1 %. Результати розсіву піску задовольняють нормам ДСТУ.

Модуль крупності третьої проби піску складає 1,72, середня щільність насипної маси –

1,52 кг/л. На рис. 3 видно що результати розсіву піску не задовольняють нормам ДСТУ.

Модуль крупності піску четвертої проби складає 1,52, середня щільність насипної маси – 1,82 кг/л. Результати розсіву піску не задовольняють нормам ДСТУ. На ситах з розмірами отворів 2,5 та 1,25 мм залишається до 50 % черепашок.

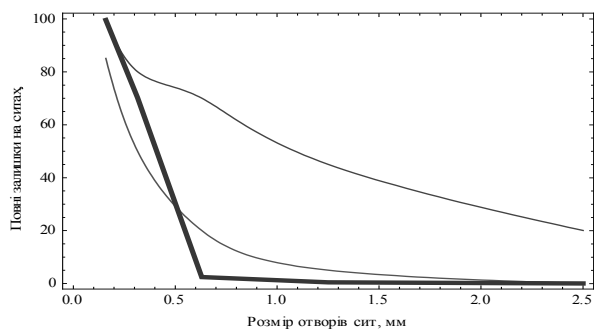


Рис. 3. Кількість повних середніх залишків на ситах третьої проби піску Ігнатпільського родовища

Аналіз зернового складу піску Іршанського родовища показав відповідність його нормам діючих стандартів (табл. 4).

Середня щільність насипної маси піску Іршанського кар'єру складає 1,53 кг/л, модуль крупності – 1,95.

Наступним об'єктом аналізу були піски Кременчуцького річкового порту. Кількість повних середніх залишків на ситах піску Кременчуцького річкового порту – постачальника ВАТ «Україна Промресурс» представлено в табл. 5.

Таблиця 4

**Результати розсіву піску Іршанського кар'єру – постачальника  
ВАТ «Коростеньський завод залізобетонних шпал»**

Залишки повні, %	Розмір сит, мм							Пройшло крізь сито 0,16, %
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
	0	0	1,5	9,0	25,4	63,9	95,1	

Таблиця 5

**Результати розсіву піску Кременчуцького річкового порту та  
Крячнівського родовища Кременчуцького річкового порту**

Залишки повні, %	Розмір сит, мм							Пройшло крізь сито 0,16, %
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Кременчуцький річ. порт	0	0	0,7	2,0	10,5	69,5	96,8	
Крячнівське родовище	0	0	0	0	4,8	56,4	96,4	

Середня щільність насипної маси відсіву першої проби складає 1,56 кг/л, модуль крупності – 1,79. Наявність часток-черепашок розмірами від 2,5 мм до 10 мм – до 1 %.

Модуль крупності відсіву другої проби складає 1,58, середня щільність насипної маси – 1,56 кг/л. Результати розсіву піску не задовольняють нормам діючого стандарту.

Подібні результати аналізу отримано на розсівах піску ПП «Юлія» Запорізького річкового порту, ПП «Солов'їна роща» та Дніпродзержинського річкового порту. Але найменший зерновий склад має пісок Київського річкового порту. Він майже не зближується з допустимою стандартом областю (табл. 6).

Таблиця 6

**Результати розсіву пісків різних родовищ**

Залишки повні, %	Розмір сит, мм							Пройшло крізь сито 0,16, %
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
ПП «Юлія»	0	0	0,8	8,1	14,9	63	96,2	
ПП «Солов'їна роща»	0	0	0,7	2,4	8,9	58,9	95,4	
Дніпродзержинський річковий порт	0	0	0,5	2,2	9,4	68,3	98,6	
Київський річковий порт	0	0	0,5	1,0	1,7	22,6	87,8	



Середня щільність насипної маси піску ПП «Юлія» складає 1,575 кг/л, модуль крупності – 1,83. Наявність часток черепашок розмірами від 2,5 мм до 10 мм – до 1 %.

Модуль крупності піску ПП «Солов'їна ро-ща» складає 1,66, середня щільність насипної маси – 1,55 кг/л. Результати розсіву піску не задовольняють нормам ДСТУ. На ситах 2,5 та 1,25 мм в остатку до 20 % (мас.) черепашок ( $\text{CaCO}_3$ ), які в бетонній суміші при взаємодії з вуглекислим газом повітря утворюють розчинний у воді бікарбонат кальцію, який руйнує попередньо напружені конструкції.

Модуль крупності піску Дніпродзержинського річкового порту складає 1,79, середня щільність насипної маси – 1,56 кг/л. Результати розсіву піску не задовольняють нормам ДСТУ.

На ситах 2,5 та 1,25 мм залишається до 15 % (мас.) черепашок ( $\text{CaCO}_3$ ).

Модуль крупності піску Київського річкового порту складає 1,14; середня щільність насипної маси – 1,49 кг/л. Результати розсіву піску не задовольняють нормам ДСТУ та навіть не зближаються з нормативними значеннями. На ситах наявні залишки ґрунту або водоростей: отвори сит 5–2,5–1,25 мм до 50 %, отвори сита 0,63 мм – до 30 %, отвори сита 0,315 мм – до 15 %.

Наступним об'єктом дослідження був пісок Славутського родовища. Результати розсіву піску Славутського кар'єру – постачальника «Старокостянтинівського заводу залізобетонних шпал» представлено в табл. 7.

Таблиця 7

**Результати розсіву піску Славутського кар'єру – постачальника «Старокостянтинівського заводу залізобетонних шпал»**

Залишки повні, %	Розмір сит, мм							Пройшло крізь сито 0,16, %
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
	0	0	1,6	6,3	22,8	68,5	95,4	

Середня щільність насипної маси піску Славутського кар'єру складає 1,53 кг/л, модуль крупності – 1,97. Результати розсіву піску не задовольняють нормам ДСТУ.

Найбільш глибокий аналіз проведено на пісках різних карт та родовищ «Явір-Інвесту». Результати розсіву піску різних проб наведено в табл. 8.

Таблиця 8

**Результати розсіву піску різних проб родовищ Явір-Інвесту**

Залишки повні, %	Розмір сит, мм							Пройшло крізь сито 0,16, %
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
1	0	0	2,1	8,6	29,2	73,7	96,5	
2	0	0	1,5	6,37	22,46	72,39	96,27	
3	0	0	2,7	12,58	31,08	72,92	94,5	
4	0	0	0,7	4,75	30,45	84,5	98,41	
5	0	0	1,0	4,5	15,3	71,6	96,7	
6	0	0	1,9	6,7	18,6	64,1	95,6	

Модуль крупності відсіву першої проби складає 2,1, середня щільність насипної маси – 1,505 кг/л. Результати розсіву піску задовольняють нормам ДСТУ. На ситах з розмірами отворів 5 та 2,5 мм наявні частки черепашок у кількості до 20 % об'єму.

Модуль крупності піску другої проби складає 2,0, середня щільність насипної маси – 1,50 кг/л. Результати розсіву піску задовольняють нормам ДСТУ. На ситі з отворами 5 мм

наявні великі частки черепашок та на ситах з отворами 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 мм наявні від 20 до 30 % черепашок.

Модуль крупності піску третьої проби складає 2,13, середня щільність насипної маси – 1,51 кг/л. Результати розсіву піску задовольняють нормам ДСТУ. На ситі з отворами 5 мм наявні великі частки черепашок та на ситах з отворами 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 мм наявні від 20 до 30 % черепашок.

Модуль крупності піску четвертої проби складає 2,19, середня щільність насипної маси – 1,56 кг/л. Результати розсіву піску задовольняють нормам ДСТУ. На ситах з отворами 2,5; 5, та 1,25 мм кількість черепашок складає 30...50 %.

Модуль крупності піску п'ятої проби складає 1,89, середня щільність насипної маси – 1,48 кг/л. Результати розсіву піску не задовольняють нормам ДСТУ. На ситі 5 утримуються шматки черепашок діаметрами до 30 мм. На ситах 2,5, 1,25, 0,63 мм залишається до 10 % (мас.)  $\text{CaCO}_3$ , який в бетонній суміші при взаємодії з вуглекислим газом повітря утворює бікарбонат кальцію розчинний у воді, що неприпустимо для попередньо напружених конструкцій.

Середня щільність насипної маси піску шостої проби складає 1,44 кг/л, модуль крупності – 1,87. Наявність часток більше 5 мм – до 1 %. Результати розсіву піску не задовольняють нормам ДСТУ.

З аналізу зернового складу піску родовищ «Явір-Інвесту» можна зробити висновок, що він не є однаковим та змінюється при відборі з нової карти розробок. Тому необхідно проводити вхідний контроль кожної партії піску на підприємствах виробників залізобетонних шпал.

#### Висновки

1. Виявлено, що піски різних родовищ України мають нестабільний хімічний та зерновий склад. Для виробництва залізобетонних

шпал неприпустимо застосування природного піску без вхідного контролю на підприємствах-виробниках

2. Наявність значного відсотку черепашок у складі піску знижує його реакційну здатність, але в бетонній суміші при взаємодії з вуглекислим газом повітря черепашки утворюють бікарбонат кальцію розчинний у воді, що неприпустимо для попередньо напружених конструкцій.

3. Недотримання норм стандартів щодо зернового складу провокує застосування більшої кількості води затворювання, ніж потрібно, застосування реакційноздатних пісків сприяє прискоренню лужно-кремнієвокислої реакції з утворенням додаткових фаз (продуктів реакції) навколо кожної частки піску, що призводить до руйнування бетону із середини протягом 2...5 років.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДСТУ Б.В. 2.7-76-98 «Пісок для будівельних робіт з відсівів руйнування скальних порід гірничозбагачувальних комбінатів України» [Текст] / К.: Держ. комітет з буд-ва, арх-ри та житл. політики України. – К.: Вид-во стандартів, сор. 1999. – 9 с. – (Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи).
2. Штарк, И. Долговечность бетона [Текст] / И. Штарк, Б. Вихт. – К.: Оранта, 2004.

Надійшла до редколегії 14.11.2011.

Прийнята до друку 17.11.2011.

В. В. РЫБКИН, В. В. КОВАЛЕНКО, Ю. Л. ЗАЯЦ, П. А. ПШИНЬКО, В. П. ЛИСНЯК, Л. А. ЯРЫШКИНА, С. В. ВАСИЛЬЕВА

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕЛКИХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ

В работе проведен анализ реакционной способности и зернового состава мелких заполнителей для производства железобетонных шпал.

*Ключевые слова:* железобетонные шпалы, щелочно-кремневокислая реакция, зерновой состав, песок

V. V. RYBKIN, V. V. KOVALENKO, Yu. L. ZAYATS, P. O. PSHIN'KO, V. P. LISNYAK, L. O. YARYSHKINA, S. V. VASILYEVA

## RESEARCH OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SMALL FILLERS FOR PRODUCTION OF FERRO-CONCRETE SLEEPERS

The paper is dealt with an analysis of the reactivity of small fillers and their grain composition for the production of ferro-concrete sleepers.

*Keywords:* ferro-concrete sleepers, alkalinity-silicoacid reaction, grain composition, sand

Н. Т. АРЛАМОВА (ДИИТ), М. В. БУРМИСТР, Т. В. ХОХЛОВА (УГХТУ,  
Днепропетровск), О. В. РОЗГОН, М. Л. СОРОКА (ДИИТ)

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

В статье проанализированы преимущества и недостатки современных технологий переработки отходов полиэтилентерефталата (ПЭТФ), а также объемы накопления ПЭТФ-тары. Установлено, что экспериментальные образцы из вторичного ПЭТФ, полученные методом компрессионного прессования, обладают эксплуатационными свойствами, позволяющими их использование в ненагруженных узлах трения машин и механизмов.

*Ключевые слова:* полимеры, вторичный полиэтилентерефталат, переработка, отходы

### Актуальность темы и постановка цели и задачи исследования

Создание полимерных материалов (ПМ) и композитов на их основе стало объектом особого внимания в последние пятьдесят лет. Это обусловлено тем, что один килограмм ПМ заменяет 4...5 кг черных металлов, 5...10 кг цветных металлов и легированных сплавов, что потенциально позволяет решать проблему ресурсо- и энергосбережения в различных отраслях экономики. В сравнении с выпуском металлических деталей машин, затраты электроэнергии при производстве полимеров в 2...3, а в отдельных случаях до 10 раз меньше. Как указывают некоторые специалисты [1], при выпуске 1 т полимерных изделий достигается снижение трудозатрат на 540 чел·ч, материалоемкости производства до 3,5 раза, а трудоемкость изготовления – в 1,5...3 раза (в отдельных случаях до 10 раз). Опыт показывает, что при производстве изделий из полимеров (в сравнении с производством металлических изделий) наблюдается уменьшение числа технологических операций в 5...10 раз, технологического цикла в 1,2...3 раза, при увеличении коэффициента использования материала до 80...90 % (60...80 % у металлов) [1]. В связи с вышесказанным, проблема поиска новых методов утилизации и переработки полимерных отходов носит острый и актуальный характер. А экологическая оценка подобных методов требует дополнительного изучения.

Цель представленного исследования - проанализировать достоинства и недостатки известных методов утилизации полимерных отходов, характерных для народного хозяйства Украины. Разработать технологию переработки отходов ПЭТФ в пластики конструкционного назначения.

### Экологические аспекты утилизации и переработки полимерных отходов

С каждым годом все более ощутимую роль в производственных процессах занимают полимерные материалы. Мировое производство пластмасс ежегодно возрастает на 5...6 % и, по прогнозам, к концу 2011 г достигнет 250 млн т [2]. С экологической точки зрения у полимеров, как собственно и у большинства синтетических материалов, есть один существенный недостаток: низкий уровень естественной деструкции. Выполнив свое функциональное предназначение, полимеры не разрушаются под влиянием природных факторов на протяжении десятка лет, а при сжигании выделяют ряд токсичных соединений, таких как оксиды углерода, хлороводород, цианистый водород и др. В табл. 1 приведена сравнительная токсичность продуктов сжигания наиболее распространенных полимерных отходов.

Из данных, представленных в табл. 1, можно сделать вывод: единственно верное направление использования полимерных отходов – это их вторичная переработка.

На современном этапе функционирования жилищно-коммунального хозяйства ежегодно в Украине образуется около 1 млрд. тонн твердых бытовых отходов (ТБО). Только десятая их часть применяется в качестве вторичных материальных ресурсов. Основная их часть складывается в специальных хранилищах или захоранивается на полигонах. ТБО, площадь которых на современном этапе достигает около 1600 км<sup>2</sup>, а общий объем отходов – 25 млрд т, в том числе 4,5 млрд т из них высокотоксичны [3]. Они являются одним из наиболее весомых факторов загрязнения окружающей среды населенных мест и отрицательно влияют на все ее компоненты: инфильтрация ливневых вод

полигонов ТБО в водоносные горизонты, горение терриконов, пылеобразование и др. Все эти факторы так или иначе предопределяют миграцию токсичных веществ, приводят к загрязнению подземных и поверхностных вод, ухудшению состояния атмосферного воздуха, земельных ресурсов и здоровья населения.

Специалисты отмечают [3], что в Украине на современном этапе не преодолен разрыв между прогрессирующим накоплением отходов и мероприятиями по их утилизации и обезвреживанию. Впоследствии это неизбежно приведет к обострению экологического кризиса.

Таблица 1

**Токсичность продуктов сжигания полимерных отходов**

Полимерный материал	Токсичный продукт, балл				Суммарная токсичность, балл
	CO	CO <sub>2</sub>	HCl	HCN	
Полистирол	19	2	-	-	21
Полиэтилен	21	1	-	-	22
Полиэтилентерефталат	24	2	-	-	26
Поливинилхлорид	12	1	343	-	356
Полиуретаны	14	1	-	273	287
Полиамиды	17	1	-	931	949
Полиакрилонитрил	7	1	-	1201	1209

Следует подчеркнуть, что основной удельный вес полимерных отходов в общей массе ТБО составляет приблизительно 27 % [4, 5], среди которых в значительной части представлены отходы ПЭТФ (около 25 %), основной их источник – это тара для жидких пищевых и непищевых продуктов.

Даже на фоне постоянного увеличения объемов производства ПЭТФ-тары в Украине объемы ее утилизации не превышают 3 % [6]. Довольно широкое распространение получили термические способы утилизации – сжигание. Так как теплотворная способность ПЭТФ равна 22700 кДж/кг, сжигание полимера проводят в специальных печах, основное экологическое требование к которым – оборудование высокоэффективными фильтрами для очистки от токсичных газовых компонентов. Эти фильтры сложны как в производстве, так и в эксплуатации, поэтому практика показывает, что их использовании не всегда обеспечивают необходимую степень очистки.

Еще один экологический аспект утилизации ПЭТФ кроется в достоинствах его промышленного применения. Полиэтилентерефталат совершенно неслучайно нашел широкое применение для производства тары для жидких продуктов. Он менее склонен к влиянию изменения температуры, не реагирует с CO<sub>2</sub> (что важно при разливе газированных напитков), устойчив к механическим нагрузкам [7]. Но по этим же причинам ПЭТФ мало подходит для

традиционных методов переработки, хотя бы и частичной. Прочность ПЭТФ-материалов усложняет его дробление и дальнейшую сепарацию. Стойкость к повышенной температуре затрудняет его плавление. К примеру, если полиэтилен перерабатывается в диапазоне температур 120...180 °С, то ПЭТФ – при 260...280 °С. Как следствие, для переработки ПЭТФ необходимо не только более сложное и дорогое оборудование, но и новые технологии. Даже если в ходе переработки отходов ПЭТФ-тары удастся успешно получить полупродукт (волокно, гранулы, хлопья), возникает вопрос: что делать дальше? Для ответа на него необходимы экспертиза и сертификация полученного материала (официально это может стоить от 4000 грн), а главное – технология производства какого-то конечного продукта.

Учитывая вышеизложенное, для реализации целей, поставленных в данной работе в качестве объекта исследования был выбран вторичный ПЭТФ, который представляет собой сложный термопластичный полиэфир терефталевой кислоты и этиленгликоля.

#### **Современные технологии переработки отходов ПЭТФ**

Существующие способы переработки отходов ПЭТФ можно разделить на две основных группы: механические и физико-химические. Для нас практическое значение представляют

механические способы, а именно измельчение, которому подвергается ПЭТФ-тара. Данная задача может быть реализована с применением специальной дробилки, простейшая модель которой представлена на рис. 1.

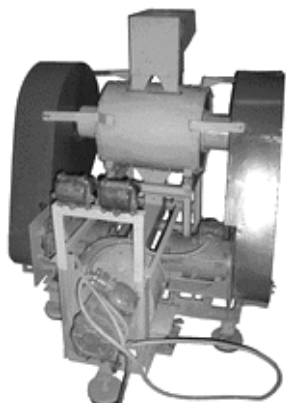


Рис. 1. Измельчитель отходов (дробилка, модель ВЕРБ-400). Технические характеристики дробилки: производительность для гранулята – 45...50 кг/ч; для порошка – 10...13 кг/ч; частота вращения фрезы – 400 об/мин; частота колебаний фрезы – 20 Гц; мощность привода вращения – 22,8 кВт; мощность пневмопривода – 1,5 кВт

Применение подобных дробилок позволяет получить вторичный ПЭТФ в виде гранул, флексов или крошки. Как показывает опыт [8], переработка вторичного ПЭТФ в изделия затруднена из-за его стойкости к повышенной температуре. Это сильно усложняет литье под давлением и экструзию. Поэтому в данной работе предлагается переработка вторичного ПЭТФ методом компрессионного прессования, при котором полимерное связующее доводится не до температуры плавления, а до температуры размягчения (для ПЭТФ около 260 °С).

#### Исследования физико-механических свойств экспериментальных образцов из вторичного ПЭТФ

Полученные по предлагаемой технологии экспериментальные образцы всесторонне

исследовались в соответствии со стандартными методиками. Результаты испытаний образцов, изготовленных из вторичного ПЭТФ, приведены в табл. 2. Учитывая тот факт, что вторичная переработка в соответствующей мере приводит к изменению свойств материалов, было проведено сравнение полученного вторичного и промышленного первичного ПЭТФ.

Таблица 2

#### Физико-механические свойства ПМ

Свойства	ПЭТФ первичный	ПЭТФ вторичный
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1400	1150
Прочность, МПа:		
- при сжатии	70	50
- при изгибе	110	90
Ударная вязкость по Шарпи, кДж/м <sup>2</sup>	30	20
Твердость по Бринеллю, МПа	110	95
Теплостойкость по Вика, °С	140	115

Анализ данных табл. 2 показал, что в целом, эксплуатационные характеристики ПЭТФ при вторичной переработке уменьшаются незначительно и материал остается достаточно работоспособным. Это свидетельствует в пользу применения отходов ПЭФТ в различных отраслях машиностроения.

Следует отметить, что в случае вторичного ПЭТФ увеличивается температура стеклования и снижается температурный коэффициент линейного расширения – характеристики, связанные с подвижностью как структурных элементов макромолекулярных цепей, так и элементов надмолекулярных образований.

Это указывает на заметное ограничение сегментальной подвижности макромолекул связующего за счет образования дополнительных связей и сшивок.

Таблица 3

#### Сравнительная таблица эксплуатационных свойств ПМ

Показатель	Вторичный ПЭТФ	ПЭВД (ГОСТ 16337-77)	ПЭНД (ГОСТ 16338-77)	Полипропилен (ТУ 6-05-1105-73)
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1150	900...939	949...953	900...910
Теплостойкость по Вика, °С	115	80...90	128...134	95...100
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	20	-	80	33
Прочность при сжатии, МПа	50	12	20...36	60

В табл. 3 приводится сравнительная характеристика исследуемого материала и широко используемых аналогов – плавких термопластичных материалов производства стран СНГ.

Из данных, представленных в табл. 3 можно сделать несколько выводов. Материал из вторичного ПЭТФ обладает относительно высоким значением теплостойкости, плотности и прочности при сжатии. Показатели ударной вязкости несколько меньше в сравнении с первичными термопластичными материалами. Это накладывает некоторые ограничения на использование вторичного ПЭТФ. Но для ненагруженных узлов трения машин и механизмов ударная вязкость полученного вторичного полимера более чем достаточна.

Также было установлено, что исследуемый материал работоспособен в широком интервале температур: от минус 30 до плюс 90 °С. Дополнительные исследования показали, что полученный вторичный ПЭТФ устойчив к действию кислот, щелочей и агрессивных газов.

Представленная выше комбинация свойств полученного вторичного ПЭТФ позволяет наравне с первичным отнести его к классу конструкционных полимерных материалов. Это в свою очередь открывает полученному вторичному полимеру соответствующие области применений (рис. 2, 3).



Рис. 2. Фотоснимки экспериментальных втулок из вторичного ПЭТФ

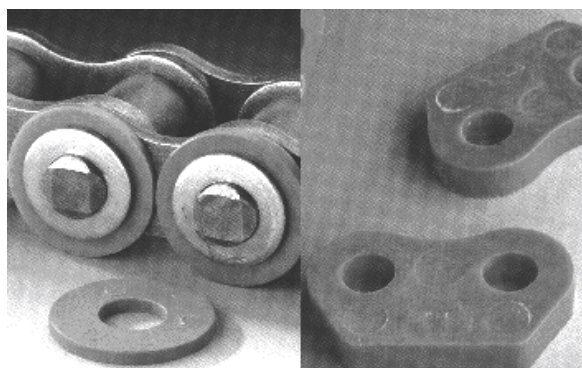


Рис. 3. Фотоснимки экспериментальных предохранительных сегментов для цепей грузоподъемника из вторичного ПЭТФ

## Выводы

На основе представленных в статье исследований можно сделать вывод, что использование отходов ПЭТФ целесообразно в двух направлениях:

- переработка вторичного ПЭТФ в пластики конструкционного назначения;
- создание композиционных материалов на основе вторичного ПЭТФ.

Согласно принципам рационального природопользования, рекомендуемые в статье направления переработки вторичного ПЭТФ более перспективны с экологической и экономической точки зрения, в сравнении с его захоронением, пиролизом или другим методом утилизации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новые конструкционные материалы. Стратегия бизнеса, пути внедрения. Обзор по материалам семинара) [Текст] // Пластические массы. – 2001. – № 11. – С. 36.
2. Ким, С. Прогноз «2010 – год надежд» [Текст] / С. Ким. – Химический журнал [The Chemical Journal]. – 2010. – № 2. – С. 1–5.
3. Запольский, А. К. Основы екології [Текст] / А. К. Запольский, А. І. Салюк. – К.: Вища шк., 2005. – 382 с.
4. Мирный, А. Н. Прогнозы изменения состава ТБО крупных городов России [Электрон. ресурс] : по данным 4-го Межд. Конгресса по управлению отходами, 2005 // портал Экосистем – ООО «Экологическая экспертиза», 2007. – Режим доступа: <http://www.ecoexpert.ru/art/ecsaf/sub1/74.html>
5. Харченко, Д. А. Переработка отходов полимеров [Текст] / Д. А. Харченко, Н. Т. Арламова, Т. В. Хохлова // 36. доповідей IV Міжн. наук.-практ. конф. молодих вчених «Екоінтелект-2009». – Д.: ДІТ, 2009. – С. 106–107.
6. Механические свойства смесей полиэтилена с полиэтилентерефталатом [Текст] / Р. Д. Максимов [и др.] // Механика композитных материалов. – 2003. – т. 39, № 3. – С. 291–300.
7. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов [Текст] [пер. с англ.] / под ред. М. Л. Берштейна, С. П. Ефименко. – М.: Металлургия, 1989. – 576 с.
8. Арламова, Н. Т. Современные технологии переработки полимерных отходов ПЭТФ [Текст] : матеріали VI Міжн. наук.-техн. конф. [«Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні»] / Н. Т. Арламова, О. В. Розгон. – Миколаїв: Нац. ун-т кораблебудування, 2011. – С. 147–150.

Поступила в редколлегию 28.10.2011.  
Принята к печати 01.11.2012.

Н. Т. АРЛАМОВА, М. В. БУРМІСТР, Т. В. ХОХЛОВА, О. В. РОЗГОН, М. Л. СОРОКА

## **ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ**

У статті проаналізовані переваги й недоліки сучасних технологій переробки відходів поліетилентерефталату (ПЕТФ), а також обсяги накопичення ПЕТФ-тари. Встановлено, що експериментальні зразки із вторинного ПЕТФ, отримані методом компресійного пресування, мають експлуатаційні властивості, які дозволяють використовувати їх у ненавантажених вузлах тертя машин і механізмів.

*Ключові слова:* полімери, вторинний поліетилентерефталат, переробка, відходи

N. T. ARLAMOVA, M. V. BURMISTR, T. V. KHOKHLOVA, O. V. ROZGON,  
M. L. SOROKA

## **ECOLOGICAL ASPECTS OF RECYCLING THE POLYETHYLENE TEREPHTHALATE WASTE MATERIALS**

The advantages and defects of modern technology treatment of polyethylene terephthalate (PETF) wastes, and amounts of the accumulation PETF-tares are analyses in article. Has been established that exploitative properties of experimental samples from secondary PETF, development by method compressed pressing, allowing their use in non-loading friction knots of the machines and mechanisms.

*Keywords:* polymers, secondary polyethylene terephthalate, recycling, waste

## АВАРИЯ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОМ ОБЪЕКТЕ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ТОКСИЧНОГО ГАЗА НАД КРЫШЕЙ ЗДАНИЯ

На основе 2D разработанной численной модели выполнен расчет процесса нейтрализации токсичного газа при его выходе через пролом в крыше. Для подачи нейтрализатора используется вертолет. Модель основывается на численном интегрировании уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси и на модели невязкой несжимаемой жидкости. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

*Ключевые слова:* авария на химическом объекте, нейтрализация токсичного газа

### Введение

На территории химически опасных промышленных объектов аварии могут происходить внутри производственных помещений и сопровождаться при этом частичным разрушением зданий – например, появлением пролома в крыше здания. В этом случае загрязнитель (токсичный газ, продукты горения при пожаре) может поступать в атмосферу через этот образовавшийся пролом. Таким образом, источник выброса опасных веществ находится внутри здания. Если рассматривать данную задачу с точки зрения локального прогноза уровня загрязнения атмосферы (т.е. в рамках промышленной площадки объекта) то крайне важно при таком прогнозе учесть эту особенность выброса, т.к. вблизи здания возможно формирование застойных зон загрязнения, где возможен взрыв. Такой учет необходим для оценки риска поражения персонала непосредственно на промышленном объекте, определения безопасных зон для размещения аварийно-спасательных бригад, оценки безопасности маршрутов эвакуации. Но особенно важно осуществить такой учет, если поставлена задача локализации источника выброса на крыше здания, например, путем нейтрализации токсичных веществ, выходящих из пролома. Эффективная локализация источника выброса приведет к существенному уменьшению размеров зоны загрязнения, а значит и к снижению риска поражения людей. Подача нейтрализатора, при выбросе токсичных газов на крыше здания, может происходить от вертолета, поскольку использование другой техники в данной ситуации - затруднено или невозможно (рис. 1). Примером является подача воды с вертолета на крышу здания при аварии на АЭС Фукусима-1. Совершенно очевидно, что воздействие ветрового потока, атмосферной диффузии приведет к сносу реагента

и, в результате, эффективность нейтрализации может быть крайне низкой. Учитывая сложность постановки и проведения физического эксперимента для исследования такого многофакторного процесса, становится понятным, что единственным теоретическим инструментом решения данной задачи есть вычислительный эксперимент на базе численной модели изучаемого процесса [1 – 7]. Вопросы построения математических процесса нейтрализации токсичного газа в атмосфере для различных способов подачи реагента (от наземных средств, вертолета) и их практической реализации достаточно подробно рассмотрены в работах [3, 4, 7]. Анализ литературных источников показал отсутствие математических моделей, предназначенных для решения задач данного класса в условиях выброса опасных веществ, на крыше частично разрушенных зданий. В этой связи, особую актуальность приобретает разработка математических моделей процесса нейтрализации токсичных газов для такой аварийной ситуации, позволяющих рассчитать эффективность этого процесса для различных сценариев подачи реагента, метеоусловий, особенностей выброса и при этом требующих небольших затрат времени при реализации кода на ПК малой и средней мощности.

*Целью настоящей работы* является построение численной модели и кода для решения задачи по оценке эффективности нейтрализации зоны загрязнения на крыше здания при подаче реагента от вертолета..

### Математическая модель загрязнения атмосферы

Будем считать, что при аварии в здании химически опасного объекта произошло частичное разрушение крыши, и в ней образовался пролом (рис. 2). Через этот пролом в атмосферу стал поступать токсичный газ из здания. Для



нейтрализации газа применяется подача реагента от вертолета. Место подачи реагента известно. Образовавшийся в крыше пролом будем моделировать выемкой заданной формы. Форма крыши и выемки формируется в численной модели с помощью техники «porosity technique» [9].

Для моделирования процесса переноса токсичного газа в выемке и над крышей здания при его выходе из пролома, а также для моделирования переноса нейтрализатора будем использовать уравнение миграции примеси, осредненное по ширине расчетной области [2 – 4]

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial (v-w)C}{\partial y} = \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \\ + \sum Q_i(t) \delta(x-x_i) \delta(y-y_i), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $C$  – осредненное значение концентрации примеси (токсичный газ, нейтрализатор);

$u, v$  – компоненты вектора скорости течения воздушной среды;

$\mu_x, \mu_y$  – коэффициенты диффузии;

$x_i, y_i$  – координаты расположения точечного источника выделения примеси – нейтрализатора (ось  $Y$  направлена вертикально вверх);

$w$  – скорость оседания примеси;

$Q_i(t)$  – интенсивность поступления нейтрализатора в воздушную среду от вертолета;

$\delta(x-x_i) \delta(y-y_i)$  – обозначение дельта-функции Дирака.

В построенной численной модели метеорологические параметры – профиль скорости ветра на входе в расчетную область, коэффициенты атмосферной диффузии рассчитываются по зависимостям [5, 6]

$$u = u_1 \left( \frac{y}{y_1} \right)^n;$$

$$\mu_y = 0,11y;$$

$$\mu_x = 0,2 u(x, y),$$

где  $u_1$  – значение скорости ветра на высоте  $y_1 = 10$  м;  $n = 0,15$ .

Постановка краевых условий для уравнения (1) рассмотрена в работах [9, 8].

Отметим, что на дне пролома (рис. 2, нижняя граница выемки) задается скорость газово-

го потока и концентрация загрязнителя в этом потоке.

### Модель гидродинамики

С гидродинамической точки зрения мы имеем задачу о взаимодействии набегающего потока воздуха (ветра) с газовым потоком – загрязнителем, выходящим из пролома в крыше. Данная задача относится к классу задач «о вдуве струи в сносящий поток» [6]. Для расчета поля скорости при взаимодействии двух потоков делается допущение, что движение воздушной среды – потенциальное [3, 5], тогда компоненты скорости воздушной среды определяются соотношениями

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}; \quad v = \frac{\partial P}{\partial y},$$

где  $P$  – потенциал скорости.

Уравнение для определения потенциала скорости имеет вид

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0. \quad (2)$$

Для уравнения (2) ставятся следующие граничные условия:

- на твердых стенках –

$$\frac{\partial P}{\partial n} = 0,$$

где  $n$  – единичный вектор внешней нормали;

- на границах втекания воздушного потока и токсичного газа – вида

$$\frac{\partial P}{\partial n} = V_n,$$

где  $V_n$  – известное значение скорости воздушного потока (или токсичного газа на нижней границе пролома);

- на выходной границе

$$P = P(x = \text{const}, y) + \text{const} \quad (\text{условия Дирихле}).$$

Верхняя граница расчетной области – твердая стенка.

### Метод решения

Численное интегрирование уравнения (1) осуществляется с использованием неявной попеременно-треугольной разностной схемы расщепления [8]. Для численного интегрирования уравнения (2) используется метод Либмана. На базе построенной численной модели разрабо-

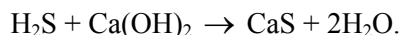
тан код *AIRDEF*, реализованный на алгоритмическом языке FORTRAN.



Рис. 1. Подача воды от вертолета

### Практическое применение численной модели

Разработанный код был применен для решения следующей задачи. Рассматривается выброс токсичного газа ( $\text{H}_2\text{S}$ ) через пролом в крыше цеха (рис. 3). Скорость газового потока составляет 12 м/с на дне выемки. Скорость ветра на уровне крыши – 5 м/с. Концентрация сероводорода в газовом потоке, на дне пролома – 5 г/м<sup>3</sup>. Для нейтрализации газа используется подача с вертолета реагента – раствора  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , интенсивность подачи – 200 кг/с,  $w = 0$ . Реакция взаимодействия нейтрализатора и токсичного газа описывается уравнением:



В разработанном коде процесс нейтрализации рассчитывается в отдельной подпрограмме, что позволяет применять код для расчета нейтрализации любого другого токсичного газа и при использовании другого нейтрализатора. Время начала подачи реагента  $t_0$  с вертолета, позиция источника выброса реагента – емкости, которая располагается на тросе, прикрепленном к вертолету, а также маршрут движения вертолета, режим подачи реагента задается в файле исходных данных.

При проведении вычислительного эксперимента варьировалось место выброса нейтрализатора относительно проема в крыше, из которого выходил токсичный газ. Результаты моделирования представлены на последующих рисунках. На рис. 3 показана зона загрязнения на крыше здания для условия, когда отсутствует подача нейтрализатора. В данном случае зона загрязнения представляет собой шлейф, расширяющийся вдоль направления движения ветро-

вого потока. Форма зоны загрязнения существенно меняется, если происходит подача нейтрализатора. На рис. 4 показана зона загрязнения атмосферы, когда подача реагента происходит непосредственно над выемкой. Отчетливо видно, что в этом случае ширина зоны загрязнения резко уменьшилась и зона загрязнения представляет собой узкую полосу, прижатую к крыше здания. На рис. 5 показана зона загрязнения воздушной среды в случае, когда подача реагента происходит на уровне верхней границы выемки. Видно, что в данном случае произошло изменение формы зоны загрязнения уже внутри выемки, что обусловлено «входом» реагента внутрь данной полости. Хорошо заметна зона влияния источника подачи нейтрализатора, которая оказывается меньше ширины выемки и поэтому «часть» токсичного газа выходит из выемки и образует подзону загрязнения в виде «холма» возле левой стороны выемки. Зона загрязнения справа от выемки продолжает существовать и имеет вид узкой полосы. На рис. 6 изображена зона загрязнения для случая, когда источник подачи реагента опущен внутрь выемки. В данном случае зона загрязнения справа от выемки – отсутствует, а слева от выемки зона загрязнения имеет вид «холма», но уже большего размера, чем в предыдущем случае.

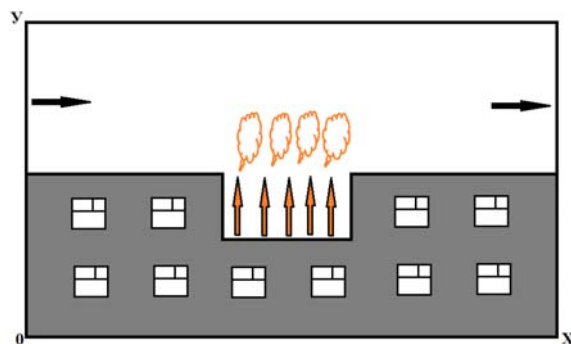


Рис. 2. Схема пролома в крыше здания и выхода токсичного газа в атмосферу

На рис. 7 представлена зона загрязнения атмосферы для случая, когда выемка, образовавшаяся в здании при аварии, имеет сложную геометрическую форму – в виде трапеции. Подача нейтрализатора происходит возле правой стороны выемки. Так как емкость, из которой осуществляется подача нейтрализатора, находится на определенной высоте от крыши, то часть загрязнителя проходит под этой емкостью и, в данном случае, зона загрязнения, по ветру, представляет собой достаточно широкую полосу, вытянутую вдоль крыши здания. Хорошо видно, что непосредственно перед источ-

ником подачи реагента формируется достаточно обширная подзона загрязнения в виде «холма».

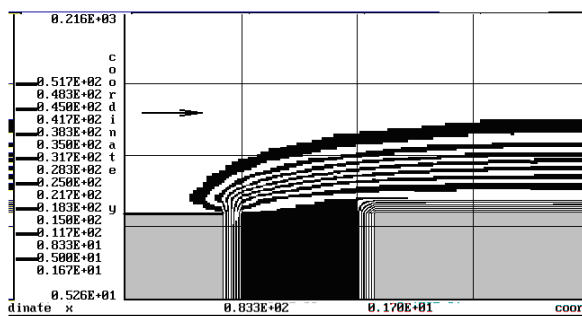


Рис. 3. Зона загрязнения атмосферы над крышей здания для момента времени  $t = 250$  с (нет подачи нейтрализатора)

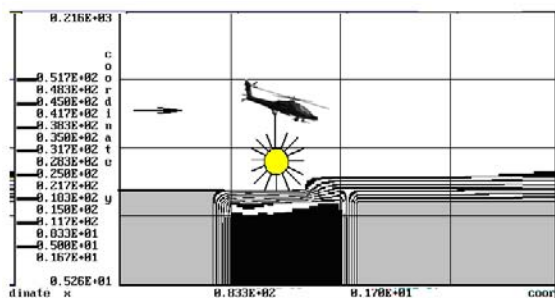


Рис. 4. Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t = 250$  с (происходит подача нейтрализатора над проломом)

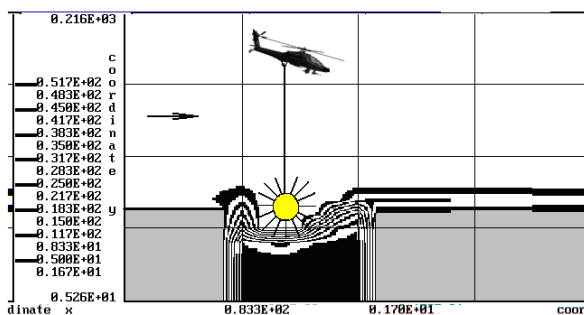


Рис. 5. Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t = 250$  с (происходит подача нейтрализатора на уровне верхней границы пролома)

В заключение отметим, что расчет каждого варианта задачи требует около 10 секунд компьютерного времени.

### Выводы

В работе рассмотрено численное решение задачи по нейтрализации в атмосфере токсичного газа, выходящего из пролома в крыше здания. Разработана численная модель процесса нейтрализации, на основе которой создан специализированный код. Построенная численная модель дает возможность оценить эффек-

тивность данного метода защиты атмосферы от загрязнения с учетом влияния на этот процесс основных физических факторов. Модель может быть использована для оптимизации процесса защиты атмосферы от загрязнения при подаче нейтрализатора от вертолета или какого-либо другого устройства. Дальнейшее совершенствование данного направления необходимо вести по созданию 3D численной модели процесса нейтрализации.

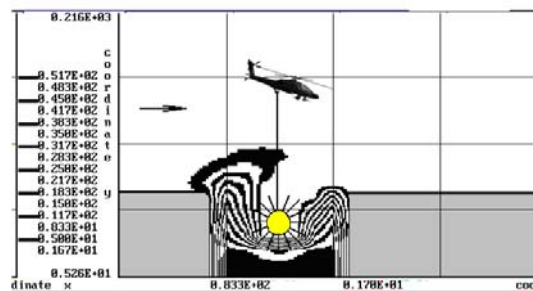


Рис. 6. Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t = 250$  с (происходит подача нейтрализатора внутри пролома)

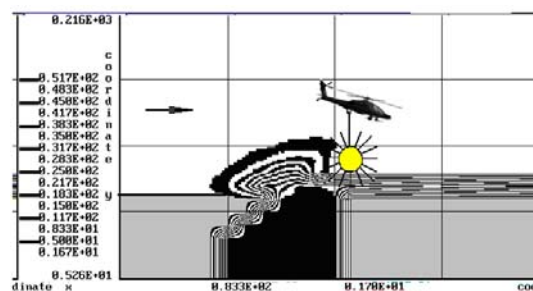


Рис. 7. Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t = 250$  с (происходит подача нейтрализатора сбоку от пролома). Пролом в крыше имеет сложную форму

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андерсон, Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен [Текст] / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990. – 725 с.
2. Беляев, Н. Н. Расчет распространения загрязняющих веществ в условиях застройки [Текст] / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 18. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 21–24.
3. Беляев, Н. Н. Защита атмосферы от загрязнения при миграции токсичных веществ [Текст] / Н. Н. Беляев, В. М. Лисяк. – Д.: Изд-во «Інновація», 2006. – 149 с.
4. Беляев Н. Н. Нейтрализация облака токсичного газа в атмосфере [Текст] / Н. Н. Беляев, В. М. Лисяк // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 29. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 91–95.

5. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы [Текст] / М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
6. Бруцкий, Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов [Текст] / Е. В. Бруцкий. – К.: Ин-т гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
7. Лисняк, В. М. Защита атмосферы при аварии с химическим опасным грузом [Текст] / В. М. Лисняк // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. – Вип. 28. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 73–76.
8. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский [и др.]. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
9. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
10. Самарский, А. А. Теория разностных схем [Текст] / А. А. Самарский. – 2-е изд., испр. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
11. Mahfound, Kadja. Computation of Wind Flow and Air Pollution for Regions Having a Complex Topography [Text] / Kadja Mahfound, Anagnostopoulos [et al.] // Proc. of 3<sup>rd</sup> European & African Conf. on Wind Engineering (Eindhoven Univ. of Technology, Netherlands, July 2 – 6, 2001). – P. 355-358.

Поступила в редколлегию 31.10.2011.  
Принята к печати 03.11.2011.

М. М. БІЛЯЄВ, В. М. ЛИСНЯК

## **АВАРІЯ НА ХІМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОМУ ОБ'ЄКТІ: ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ТОКСИЧНОГО ГАЗУ НАД ДАХОМ БУДІВЛІ**

На базі побудованої 2D чисельної моделі виконано розрахунок процесу нейтралізації токсичного газу при його виході з пролому в стелі. Подача нейтралізатора здійснюється з гелікоптера. Модель базується на чисельному інтегруванні рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки та моделі течії нестислої рідини. Наводяться результати обчислювального експерименту.

*Ключові слова:* аварія на хімічному об'єкті, нейтралізація токсичного газу

N. N. BELYAEV, V. M. LISNYAK

## **ACCIDENT AT CHEMICALLY HAZARDOUS ENTERPRISES: NUMERICAL SIMULATION OF THE PROCESS OF NEUTRALIZING THE TOXIC GAS OVER THE BUILDING ROOF**

The 2D numerical model was used to simulate the toxic gas neutralization when this gas flows from the opening in the cellar of the building. The helicopter is used to supply the neutralizer. The model is based on the *K*-gradient transport model and equation of potential flow. The results of numerical experiment are presented.

*Keywords:* accident on the chemical enterprise, toxic gas neutralization

## КОМПЛЕКСНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЯВИЩ ПОГОДИ, НЕБЕЗПЕЧНИХ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ НАЗЕМНИХ ВИДІВ ТРАНСПОРТУ НА ДНІПРОПЕТРОВЩИНІ

На основі статистичних даних за багаторічний період досліджено кліматичний режим явищ погоди, небезпечних для функціонування наземних видів транспорту та виконано зонування території за ступенем впливу погодних умов.

*Ключові слова:* кліматичний режим, зонування території

### Вступ

Дніпропетровщина – один з найрозвинутіших промислово-аграрних регіонів України, який потребує достатньо розвиненої мережі доріг для транспортування вантажів і перевезення пасажирів. Основними видами наземного транспорту є автодорожній та залізничний.

Транспорт – одна з найбільш залежних від погодно-кліматичних умов галузей народного господарства. Погодні умови чинять суттєвий вплив не тільки на стан й економічні показники роботи транспортних засобів, але й на безпеку руху. Отже, від стану погоди і якості та своєчасності інформації про неї нерідко залежать життя й здоров'я людей. Тому, при проектуванні та експлуатації транспортних магістралей, необхідно враховувати кліматичний режим місцевості, особливо, небезпечних погодних явищ, які впливають на стан доріг і функціонування транспортних засобів.

**Постановка питання.** Згідно з актуальністю та важністю проблеми мета роботи полягає в дослідженні кількісних і просторово-часових характеристик небезпечних явищ погоди (туману, ожеледі, заметілі й снігових заносів, злив тощо) на Дніпропетровщині у взаємодії з функціонуванням транспортних засобів.

Дослідження проведене на основі статистичних даних спостережень за небезпечними явищами погоди в період 1963–2010 рр. на дев'яти нині діючих метеорологічних станціях Дніпропетровщини: Комісарівка, Губиниха, Кривий Ріг, Дніпропетровськ, Павлоград, Лошкарівка, Синельникове, Чаплине, Нікополь.

**Викладення основного матеріалу.** Існує декілька груп небезпечних явищ погоди, які ускладнюють функціонування дорожнього транспорту: ті, що погіршують видимість (тумани, снігопади, пилові бурі); погіршують дорожнє покриття (ожеледь та ожеледиця, паморозь, зливи); створюють небезпеку перекидання

транспортних засобів (сильний боковий вітер, шквали, тромби); при комплексному впливі різних небезпечних явищ часто взагалі унеможливується експлуатація транспортних засобів.

Залізничний транспорт у меншій мірі залежить від несприятливих погодних умов ніж автодорожній. Але ця відносна незалежність може призвести до недооцінки ризику при раптовій появі небезпеки.

Небезпечні явища погоди впливають не тільки на безпеку руху й частоту аварій, а й на перевезення пасажирів і вантажів. Так, у дні з сильним туманом об'єми автодорожніх перевезень зменшуються на 50...70 % [4].

Тумани є однією з найголовніших небезпек для діяльності транспортних магістралей. Туманом називають скупчення завислих у приземному шарі повітря крапель води чи кристалів льоду, що погіршують горизонтальну видимість до 1 км й менше. За інтенсивністю тумани поділяють на слабкі (видимість 0,5...1 км), помірні (50...500 м), сильні (< 50 м).

На Дніпропетровщині найбільша повторюваність туманів (48 %) відмічається у нічний та ранковий час (з 3-ї до 9-ї години). Переважають тумани тривалістю до трьох годин (40...60 %), а тривалістю більше двох діб – лише 1...2 % випадків. Найінтенсивніші тумани, видимістю < 50 м, найчастіше спостерігаються в південних районах області (8...10 %), у центральних районах повторюваність їх зменшується до 6...7 %, у північних – до 3...4 % (табл. 1).

При утворенні туманів переважають вітри південної (повторюваність 20...30 %) та західної чвертей (18...30 %). Найбільша залежність туманів від південного вітру має місце в районі Нікополя (40 %), що зумовлюється винесенням вологого повітря з боку Каховського водосховища. У штильових умовах відбувається 15...20 % річної кількості туманів (табл. 2).

Таблиця 1

Повторюваність (%) туманів різної інтенсивності				
№ з/п*)	Видимість, м			
	0-50	50-200	200-500	500-1000
1	4	34	38	24
2	3	28	39	30
3	8	33	37	22
4	7	23	39	31
5	6	32	37	25
6	5	26	40	29
7	9	22	39	30
8	8	26	33	33
9	10	34	32	24

\*) Примітка. Тут і далі в таблицях у першій колонці «№ з/п» позначені метеостанції: 1 – Комісарівка, 2 – Губиниха, 3 – Кривий Ріг, 4 – Лошкарівка, 5 – Дніпропетровськ, 6 – Павлоград, 7 – Синельникове, 8 – Чаплине, 9 – Нікополь.

Таблиця 2

Повторюваність туманів у залежності від напрямку вітру					
№ з/п	Чверть горизонту звідки дме вітер				Штиль
	північна	східна	південна	західна	
1	15	21	29	18	17
2	16	21	27	19	17
3	16	19	29	16	20
4	18	17	19	30	16
5	16	18	26	20	20
6	19	14	20	29	18
7	17	17	20	28	18
8	13	17	27	25	18
9	6	17	40	21	16

Найбільша кількість днів з туманом відмічається в холодний період року (листопад-березень) – біля 60 днів. У середньому за рік найбільше туманів у східній частині області (середньорічне значення 72 дні, максимальне 100) і в районі Дніпропетровська (71 і 103 дні відповідно). На сході найбільший показник пояснюється близькістю Донецького кряжу, який сприяє підняттю повітря по схилу і конденсації водяної пари, а також осіданню хмар на підвищену поверхню [3]. Збільшення кількості туманів у районах Дніпропетровська та Кривого Рога зумовлюється антропогенним впливом великих міст (табл. 3).

Таблиця 3

Кількість днів з туманом					
№ з/п	Сезон				Рік
	весна	літо	осінь	зима	
1	15	1	21	26	63
2	14	1	18	32	65
3	15	3	17	30	65
4	15	3	19	26	63
5	14	2	18	37	71
6	18	3	16	30	67
7	18	4	13	32	67
8	15	3	16	38	72
9	15	2	16	32	65

Ожеледь являє собою щільний шар льоду, що утворився внаслідок намерзання переохолоджених крапель дощу, мряки, туману на земній поверхні, проводах, деревах інших предметах. Ожеледь, з діаметром відкладів на проводах  $\geq 20$  мм, відносять до особливо небезпечних погодних явищ [5]. Значні відклади ожеледі на проводах викликають їх провисання, скручування, вібрацію та обрив. Намерзання льоду на земній поверхні, на дорогах (ожеледиця) ускладнює рух автомобільного й залізничного транспорту.

Серед проблем залізничного транспорту, пов'язаних з експлуатацією магістралей, є затримка потягів із-за зледеніння залізничних стрілок. На електрифікованих залізницях утворення льоду на проводах призводить до зниження напруги струму в двигунах електровозів. Під дією маси відкладів ожеледі та снігу на пантографі електровоза порушується контакт з електропроводами, що може викликати зупинку потягу [4]. Затримки на залізницях створюють не тільки незручності для пасажирів, а й за тривалих затримок можуть призводити до псування деяких видів вантажів.

Утворюється ожеледь у період з жовтня по квітень, але частіше – з грудня по лютий. У жовтні та квітні ожеледь спостерігається не частіше двох разів за 10 років. Зимового періоду кількість днів з ожеледдю змінюється на теренах області від 10 до 14. У цілому за рік у північних і східних районах відмічається 16...18 днів з даним явищем, а в південно-західних зменшується до 12...14 (табл. 4).

Під час ожеледі температура повітря варіює в широких межах та найбільшу повторюваність (68...78 %) мають значення температури від 0 до  $(-5^{\circ}\text{C})$ .

Тривалість збереження відкладів льоду при ожеледі зазвичай становить 15...20 годин, в окремих випадках – декілька діб.

У період утворення та наростання відкладів ожеледі переважають вітри помірної сили (3...7 м/с) східної та північної чвертей (34 і 30 % відповідно).

Інші види наземних гідро метеорів (паморозь, іній) суттєво не впливають на функціонування дорожнього транспорту.

Таблиця 4

**Кількість днів з ожеледдю**

№ з/п	Сезон			Рік
	осінь	зима	весна	
1	1	13	2	16
2	2	14	2	18
3	1	11	1	13
4	1	11	2	14
5	2	12	2	16
6	1	14	2	17
7	1	13	2	16
8	2	14	2	18
9	1	10	1	12

*Вологість повітря.* Транспортні засоби функціонують під відкритим небом і підлягають корозії, особливо ті, що мають облицювання з тонколистової вуглецевої сталі. Значна частина корозійних пошкоджень машин і механізмів зумовлена конденсацією водяної пари внаслідок періодичних коливань температури та вологості повітря. Навіть у ненасиченому вологому повітрі при відносній вологості 90 % зниження температури на 1...2 °C викликає краплинну конденсацію, а при 100 % – металеві поверхні змочуються повністю.

В умовах забрудненої атмосфери при збільшенні відносної вологості від 50 до 100% швидкість корозії сталі різко зростає і може становити від 10 до 200 мкм за рік.

До основних характеристик вологості повітря відносяться абсолютна вологість, пружність водяної пари, але найбільше практичне значення має відносна вологість, яка характеризує ступінь близькості повітря до стану насичення. У добовому ході мінімальні значення відносної вологості приходяться на післяполудневі години, а максимальні – на час сходу Сонця. Середня річна вологість на Дніпропетровщині зростає з півдня на північ від 72 до 75 %, а річна амплітуда становить 27...30 %. У зимові місяці середні значення вологості найвищі (83...89 %), влітку найнижчі (58...62 %).

Дні з відносною вологістю  $\geq 80$  % є найбільш небезпечними для стану транспортних засобів, залізниць, мостів тощо.

У північних районах області кількість днів з вологістю  $\geq 80$  % перевищує 120 днів, а в південних – менше 100 днів на рік. З листопада по березень більшість днів з відносною вологістю вище 80 % [2].

На роботу дорожнього транспорту значний вплив можуть чинити зливи, коли внаслідок недостатніх розмірів придорожніх каналів, чи водопропускних труб, на дорогах виникають місцеві затоплення, а на понижених ділянках накопичуються матеріали ерозії ґрунту, нанесені з узбіччя. Якщо в літній період за добу випадає 6...10 мм дощу, то така кількість не може суттєво вплинути на функціонування транспортних засобів. Але в окремих випадках інтенсивність опадів може бути значною. Так, 11 серпня 1901 р. у північній частині міста Кривого Рога за добу випало 163 мм дощу, в Павлограді 26 липня 1908 р. – 149 мм. Максимальна інтенсивність 1 мм/хвил. зафіксована 28 липня 1977 р. у Дніпропетровську, коли лише за 2 години випало 120 мм дощу. Наслідки таких дощів бувають катастрофічними [2].

Під час заметілей у зимовий період снігові заноси суттєво погіршують роботу транспортних засобів. Перед насипами шосейних доріг і залізниць як з навітряного, так і з підвітряного боку, утворюються кучугури снігу, висота яких поступово збільшується і на дорожньому полотні утворюються сніжні заноси.

На Дніпропетровщині середня річна кількість днів із заметілями варіює від 12 у південних районах до 15...17 в центральних, східних і західних, а в північних зменшується до 10...13 днів (табл. 5). В окремі роки кількість днів із заметілями збільшується до 35...38.

Таблиця 5

**Середня кількість днів із заметілями**

№ п/п	Сезон			Рік
	осінь	зима	весна	
1	0,5	10,0	2,2	12,7
2	0,4	7,1	2,3	9,8
3	1,1	12,2	3,4	16,7
4	0,9	10,1	2,3	13,3
5	1,1	12,0	3,4	16,5
6	0,8	12,1	2,4	15,3
7	0,9	13,2	3,3	17,4
8	0,6	9,0	2,3	11,9
9	1,0	9,0	2,4	12,4

Під час заметілей переважають вітри східної та північно-східної чвертей (55...69 % випадків) зі швидкістю 6...13 м/с (73...78 %). Сумарна тривалість заметілей у центральних районах становить 96...106 годин, у південних – 66...85, у північних – 82...88 годин за рік.

Зазвичай стійкий сніговий покрив у північних районах Дніпропетровщини утворюється 14...19 грудня, у південних – 24...27 грудня. Тривалість зберігання покриву збільшується з півдня на північ від 50–60 до 78–87 днів за рік. Не дивлячись на те, що середня товщина снігового покриву становить 10...15 см, робота транспортних засобів ускладнюється, особливо в дні зі снігопадами.

Вітер прямо чи опосередковано впливає на функціонування дорожнього транспорту. Вітер зі швидкістю  $\geq 15$  м/с відноситься до небезпечних явищ погоди, а  $\geq 25$  м/с – до стихійних. Сильний зустрічний вітер гальмує рух транспортних засобів, особливо великогабаритних, призводить до збільшення витрат пального та збільшення часу перебування в дорозі.

Перехід до створення швидкісних магістралей ( $> 300$  км/год), може створювати небезпеку перекидання потягу під дією бокового вітру значної сили, зокрема на високих насипах та закругленнях доріг [4].

У північних районах Дніпропетровщини середня річна кількість днів з вітром  $\geq 15$  м/с становить 12...16, у центральних і південних – 14...17 днів, максимальна – перевищує 40 днів на рік. Повторюваність вітру швидкістю  $\geq 25$  м/с зазвичай не перевищує 0,01 % і відмічається при грозових шквалах.

Для оцінки ступеню впливу небезпечних явищ погоди на функціонування дорожнього транспорту в адміністративних районах області виконано бальне оцінювання за методикою [1], яка передбачає наступні дії: 1) виділення найвпливовіших факторів; 2) визначення факторного навантаження (коефіцієнтів значущості) в залежності від ступеня впливу на досліджуваний об'єкт; 3) розроблення бальної оціночної шкали за кожним з виділених факторів. Кінцевий результат оцінювання за п'ятибальною шкалою наведено в табл. 6.

### Висновки

1. В роботі надана комплексна характеристика явищ погоди, небезпечних для наземних видів транспорту, основана на багаторічних статистичних даних гідрометеорологічної мережі Дніпропетровської області.

2. На основі бального оцінювання виділені зони за ступенем впливу погодних явищ на функціонування транспортних засобів.

Центральна зона найбільш залежна від небезпечних явищ погоди, ступінь впливу на який оцінено за п'ятибальною шкалою в 4,4 бала. Високий вплив зумовлюється значною кількістю й тривалістю туманів антропогенного походження у місцях розташування великих промислових міст Дніпропетровська, Дніпродзержинська та Новомосковська, а також збільшеною кількістю днів із заметілями.

Таблиця 6

#### Зонування території Дніпропетровської області за ступенем впливу небезпечних погодних явищ на дорожній транспорт

Зона	Бал	Території адміністративних районів, що входять до відповідної зони	Ступінь впливу
1. Центральна	4,4	Дніпропетровський, Синельниківський, північно-східна половина Солонянського, південно-західна Павлоградського, західна Васильківського, південна Новомосковського.	Високий
2. Східна	4,0	Петропавлівський, Межівський, Покровський, східна частина Васильківського.	Вище помірного
3. Південно-західна	3,7	Криворізький, Криничанський, Софіївський, Широківський, Апостолівський, Нікопольський, Томаківський, південна частина П'ятихатського, південно-західна Солонянського.	Помірний
4. Північна	3,3	Верхньодніпровський, Царичанський, Петриківський, Магдалинівський, Юріївський, північна половина П'ятихатського та Новомосковського, північно-східна частина Павлоградського.	Вище середнього

У східній зоні ступінь впливу небезпечних явищ погоди вище помірного (4 бали). Достатньо високий вплив зумовлюється частими туманами та ожеледдю.

Територія південно-західної зони характеризується помірним впливом погодних явищ (3,7 бала).

Найменший (вище середнього) вплив погодних умов у північній зоні (3,3 бала).



3. Результати дослідження можуть бути корисними у проектуванні, будівництві та експлуатації автомобільних і залізничних магістралей та видів наземного транспорту, а також науковцям і студентам відповідного профілю.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бейдик, О. О. Рекреаційно-туристські ресурси України: методологія та методика аналізу, термінологія, районування [Текст] / О. О. Бейдик. – К.: ВПЦ «Київський ун-т», 2001. – 394 с.
2. Горб, А. С. Клімат Дніпропетровської області [Текст] : моногр. / А. С. Горб, Н. М. Дук. – Д.: Вид-во ДНУ, 2006. – 204 с.
3. Клімат України [Текст] / за ред. В. М. Липінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. – К.: Вид-во Фаєвського. – 2003. – 343 с.
4. Смит, К. Основы прикладной метеорологии [Текст] / К. Смит; [пер. с англ. Л. Т. Матвеева.]. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 424 с.
5. Опасные явления погоды на Украине [Текст] / под ред. К. Т. Логвинова. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 236 с.

Надійшла до редколегії 17.11.2011.

Прийнята до друку 20.11.2011.

А. С. ГОРБ

### КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ, ОПАСНЫХ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА НА ДНЕПРОПЕТРОВЩИНЕ

На основе статистических данных за многолетний период выполнено исследование климатического режима явлений погоды, опасных для функционирования наземных видов транспорта и зонирование территории по степени влияния погодных условий.

*Ключевые слова:* климатический режим, зонирование территории

A. S. GORB

### COMPLEX CHARACTERISTICS OF WEATHER PHENOMENA DANGEROUS FOR THE OPERATION OF LAND TRANSPORT IN DNIPROPETROVSK REGION

On the basis of statistical data for the long-term period the research of climatic mode of the weather phenomena dangerous to functioning of land modes of transport is executed, and also territory zoning on degree of influence of weather conditions is done.

*Keywords:* climate regime, territory zones

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА ТОНАЛЬНЫЕ РЕЛЬСОВЫЕ ЦЕПИ

Работа посвящена исследованию влияния импульсных помех на тональные рельсовые цепи. В результате проведенного имитационного моделирования исследован механизм воздействия на путевой приемник тональной рельсовой цепи одиночной импульсной помехи, периодической и случайной последовательности импульсов, определены «опасные» уровни помех.

*Ключевые слова:* тональные рельсовые цепи, путевой приемник, импульсные помехи, фильтр, имитационное моделирование, «опасные» уровни помех

### Введение

При построении автоматизированных систем управления движением поездов (АСУДП) в настоящее время в качестве основного источника первичной информации о местоположении транспортных средств применяются рельсовые цепи. От надежной работы рельсовых цепей во многом зависит надежность АСУДП, а, следовательно, безопасность движения поездов и эффективность перевозочного процесса. Широко применяются рельсовые цепи тональной частоты (ТРЦ), которые позволяют исключить изолирующие стыки. Благодаря этому, становится возможным применение цельносварных рельсовых плетей, обеспечивается электрическая непрерывность цепи возврата тягового тока, сокращается число используемых дроссель-трансформаторов [1,2].

Одной из причин сбоев в работе рельсовых цепей является воздействие неблагоприятных факторов, таких как флуктуации сопротивления изоляции балласта, влияние гармонических составляющих обратного тягового тока, электромагнитные помехи, создаваемые подвижным составом, устройствами автоматической локомотивной сигнализации, соседними рельсовыми линиями.

По структуре и статистическим характеристикам помехи подразделяют на флуктуационные (гладкие), импульсные (сосредоточенные по времени) и синусоидальные (сосредоточенные по спектру частот) [3]. Источниками флуктуационных помех являются, прежде всего, собственные шумы рельсовой цепи, связанные с флуктуациями параметров ее элементов, а также другие шумы окружающего пространства. Обычно считают, что флуктуационные помехи имеют постоянную спектральную плотность мощности в пределах полосы пропускания приемника, т.е. их можно аппроксимировать белым шумом. По закону распределения

мгновенных значений флуктуационные помехи можно отнести к гауссовским [3, 4].

К сосредоточенным по спектру помехам, влияющим на работу рельсовых цепей, относятся гармонические составляющие тягового тока, сигналы автоматической локомотивной сигнализации, а также сигналы соседних рельсовых цепей.

Импульсные помехи создаются в результате изменения режима ведения электровоза, нарушения токосъема (контакта между ползком токоприемника и контактным проводом), изменения переходных сопротивлений между бандажами колесных пар электровоза и рельсами при движении поезда, аварийных процессов в тяговой сети, а также в результате действия грозовых разрядов.

Как правило, при исследовании влияния системы тягового электроснабжения на работу рельсовых цепей выполняется спектральный анализ обратного тягового тока и определяются уровни гармоник, попадающие в полосу пропускания приемника рельсовой цепи [2, 5 – 7]. В зависимости от спектрального состава тягового тока оценивают степень его влияния на рельсовые цепи. Такой подход справедлив для анализа влияния флуктуационных и сосредоточенных помех, которые можно рассматривать как стационарный случайный процесс. В тоже время импульсные помехи, представляющие собой хаотическую последовательность коротких импульсов, в большинстве случаев не являются стационарными. Поэтому целесообразным является исследование непосредственного влияния импульсных помех на путевой приемник рельсовой цепи.

*Целью данной работы* является исследование непосредственного влияния импульсных помех на путевой приемник тональных рельсовых цепей с использованием детерминированных и вероятностных моделей помех.

## Модели импульсных помех

Импульсная помеха представляет собой последовательность кратковременных импульсов вида

$$U_n(t) = \sum_{i=1}^m A_i \cdot h_i(t - \tau_i), \quad (1)$$

где  $A_i$  – случайные амплитуды импульсов;  $h_i$  – огибающие импульсов;  $\tau_i$  – случайные моменты появления импульсов;  $m$  – количество импульсов. В большинстве случаев огибающую импульсной помехи можно описать выражением

$$h_i(t - \tau_i) = \begin{cases} 1, & \tau_i \leq t \leq \tau_i + t_{ui} \\ 0, & t < \tau_i, \quad t > \tau_i + t_{ui} \end{cases}, \quad (2)$$

где  $t_{ui}$  – случайные длительности импульсов.

При проведении исследований будем использовать несколько упрощенных моделей импульсных помех: одиночная импульсная помеха, периодическая последовательность импульсов и случайная импульсная последовательность.

**Одиночная импульсная помеха** (рис. 1) описывается выражением

$$U_n(t) = \begin{cases} A, & \tau \leq t \leq \tau + t_u \\ 0, & t < \tau, \quad t > \tau + t_u \end{cases}. \quad (3)$$

Параметрами такой помехи являются ее амплитуда  $A$ , время появления  $\tau$  и длительность  $t_u$ .

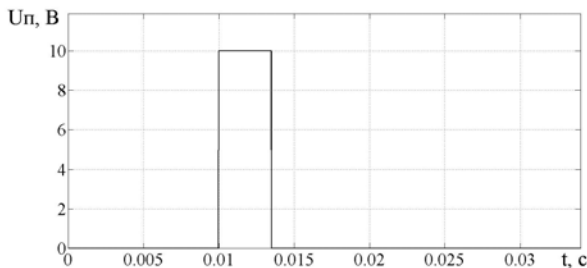


Рис. 1. Одиночная импульсная помеха

Для **периодической последовательности импульсов** (рис. 2) выполняется условие

$$U_n(t) = U_n(t + T), \quad (4)$$

где  $T = t_u + t_{ин}$  – период следования импульсов;  $t_{ин}$  – длительность интервалов между импульсами.

Модель **случайной импульсной последовательности** для исследования помехоустойчивости приемника рельсовой цепи предложена в работе [8]. Авторы данной работы проводили регистрацию импульсных помех на различных участках Куйбышевской и Московской железных дорог при различных режимах движения

поезда (переключение схем управления тяговыми двигателями локомотива, в том числе – режим рекуперации; набор и сброс позиций контроллера машиниста, боксование локомотива, движение по стрелочным переводам и боковая качка локомотива, проезд изолирующих стыков и т.д.). После обработки экспериментальных данных авторами работы [8] было установлено: амплитуда зафиксированных импульсных помех находится в диапазоне от -47 до 51 В, математическое ожидание длительности помех составляет 3,52 мс, дисперсия длительности помех – 17,01 мс<sup>2</sup>, математическое ожидание межимпульсных интервалов – 171,7 мс, дисперсия межимпульсных интервалов – 0,2034 с<sup>2</sup>. Авторами работы [8] также было установлено, что длительность импульсов помехи подчиняется экспоненциальному закону

$$w_u(n) = \lambda e^{-\lambda n} \quad (5)$$

с параметром  $\lambda = 284,057$ , а длительность межимпульсных интервалов подчиняется закону гамма-распределения

$$w_{ин}(n) = \frac{b^a}{\Gamma(a)} n^{a-1} e^{-bn}, \quad (6)$$

где  $\Gamma(x) = \int_0^\infty z^{x-1} e^{-z} dz$  – гамма-функция;  $a = 0,0109$ ;  $b = 1,216$ . Реализация такой случайной импульсной последовательности представлена на рис. 3.

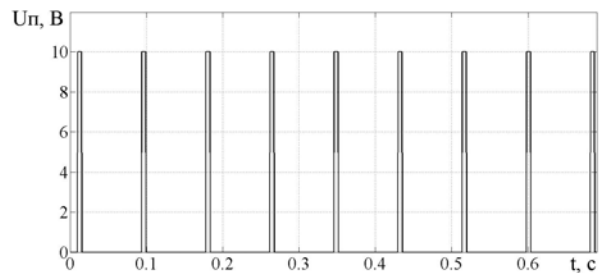


Рис. 2. Периодическая последовательность импульсов

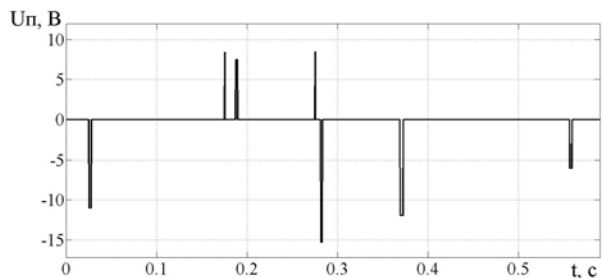


Рис. 3. Реализация случайной импульсной последовательности

## Имитационное моделирование

В тональных рельсовых цепях применяется амплитудно-манипулированный сигнал контроля рельсовой линии (КРЛ). Путьевой приемник ТРЦ, в котором выполняется обработка такого сигнала, содержит следующие функциональные узлы: входной полосовой фильтр (ВФ), настроенный на несущую частоту, демодулятор, первый фильтр модулирующей частоты (ФМ), пороговый элемент, выходной усилитель, второй фильтр модулирующей частоты и выпрямитель [1, 2]. Если уровень сигнала на выходе фильтра ФМ превышает заданное граничное значение, то на выходе порогового элемента формируется последовательность прямоугольных импульсов с частотой модуляции, которая усиливается выходным усилителем и через второй фильтр частоты модуляции и выпрямитель поступает на путьевое реле, приводя к его срабатыванию. Таким образом, на помехоустойчивость приемника влияют, прежде всего, входной фильтр и первый фильтр модулирующей частоты. Если в результате воздействия помехи на входе порогового элемента появится сигнал, превышающий граничное значение, то это может привести к ложному срабатыванию приемника.

Для исследования влияния импульсных помех на путьевый приемник ТРЦ было проведено имитационное моделирование в среде Matlab. При этом использовалась цифровая модель путьевого приемника для несущей частоты 480 Гц и модулирующей частоты 12 Гц. В качестве моделей фильтров применялись цифровые фильтры, параметры которых соответствуют существующим нормативам [9].

Параметры модели входного фильтра:

тип – КИХ-фильтр;

порядок – 86;

частота дискретизации – 2 кГц;

полоса пропускания по уровню 3 дБ –

(468-492) Гц;

полоса задерживания – < 444 Гц, > 516 Гц;

затухание в полосе задерживания – > 38 дБ.

Параметры модели фильтра ФМ:

тип – КИХ-фильтр;

частота дискретизации – 2 кГц;

полоса пропускания по уровню 3 дБ –

(11-13) Гц;

полоса задерживания – < 8 Гц, > 16 Гц;

затухание в полосе задерживания – > 30 дБ.

Для выполнения демодуляции применялась нелинейная операция нахождения абсолютного значения величины.

В соответствии с существующими нормативными документами [9] чувствительность

путьевого приемника ТРЦ должна составлять  $0,35 \pm 0,03$  В. На первом этапе моделирования на вход приемника подавался амплитудно-манипулированный сигнал КРЛ с действующим напряжением 0,32 В. При этом амплитуда сигнала на выходе фильтра ФМ составила 1,44 В. Для обеспечения необходимой чувствительности приемника данное значение было выбрано в качестве граничного для порогового элемента.

На следующем этапе на вход приемника подавались различные импульсные помехи в соответствии с моделями, описанными выше. На рис. 4 показаны результаты моделирования для одиночной импульсной помехи амплитудой 10 В и длительностью 3,5 мс. Как видно, импульсная помеха вызывает ударное возбуждение входного фильтра и на его выходе появляются свободные затухающие колебания с частотой несущей (рис. 4, а). Полученный таким образом радиоимпульс после нелинейного преобразования (демодуляции), в свою очередь, приводит к ударному возбуждению фильтра ФМ (рис. 4, в). Таким образом, в результате воздействия одиночного импульса на выходе первого фильтра модулирующей частоты появляются свободные затухающие колебания с частотой 12 Гц. Если уровень данных колебаний превысит пороговое значение, может произойти ложное срабатывание приемника.

Результаты воздействия на путьевый приемник периодической последовательности кратковременных импульсов амплитудой 10 В с частотами 6, 8 и 12 Гц представлены на рис. 6. Каждый входной импульс вызывает появление свободных затухающих колебаний на выходе фильтра несущей частоты (рис. 5, а). Если частота входных импульсов совпадает с частотой, на которую настроен фильтр ФМ (12 Гц), то после завершения переходного процесса, который длится три-четыре периода, на выходе этого фильтра формируются синусоидальные колебания постоянной амплитуды (рис. 5, б). Таким образом, последовательность из трех-четырех импульсов, период следования которых совпадает с периодом модулирующего сигнала, может привести к появлению значительного сигнала на выходе фильтра ФМ. При частоте импульсов помехи 6 Гц после завершения переходного процесса на выходе фильтра модулирующей частоты возникают биения сигнала (рис. 5, в) с частотой 6 Гц. При этом уже за два периода входного сигнала (в результате действия двух импульсов помехи) сигнал на выходе фильтра ФМ достигает максимального значения. Как видно из рис. 5, г после заверше-

ния переходного процесса фильтр ФМ заметно подавляет импульсную помеху с частотой 8 Гц. Также было установлено, что путевой приемник заметно ослабляет импульсные помехи, частоты которых не входят в диапазоны (11...13) Гц, (5,5...6,5) Гц.

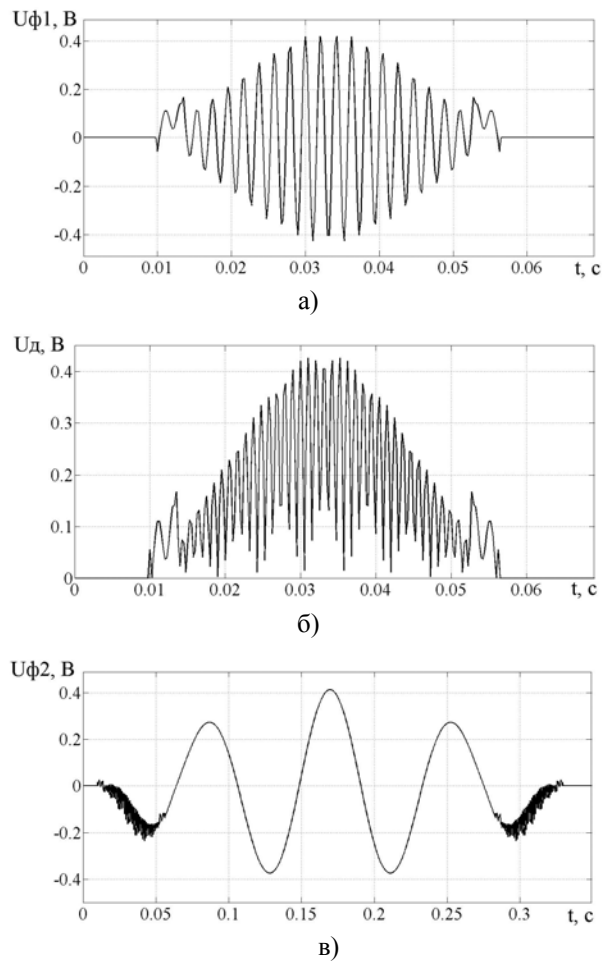


Рис. 4. Временные диаграммы напряжений при воздействии одиночной импульсной помехи: а – на выходе фильтра несущей; б – на выходе нелинейного элемента; в – на выходе фильтра ФМ

Были определены «опасные» уровни помех, при которых может произойти ложное срабатывание путевого приемника. Для этого была получена зависимость максимального значения сигнала на выходе фильтра ФМ от амплитуды помехи (рис. 6). При пороговом уровне 1,44 В «опасными» являются одиночная импульсная помеха амплитудой выше 35 В, периодическая последовательность импульсов частотой 6 Гц и амплитудой выше 22,7 В, периодическая последовательность импульсов частотой 12 Гц и амплитудой выше 12,8 В.

На рис. 7 показаны результаты воздействия на путевой приемник одной из реализаций случайной импульсной последовательности, вероятностная модель которой описана выше. В со-

ответствии с данными, полученными в [8], математическое ожидание межимпульсных интервалов составляет 171,7 мс, а дисперсия – 0,2034 с<sup>2</sup>. При таких параметрах достаточно высокой является вероятность следования импульсов с интервалом 166,7 мс, что соответствует частоте 6 Гц. Этим можно объяснить довольно высокий уровень помехи на выходе фильтра ФМ (рис. 7, б).

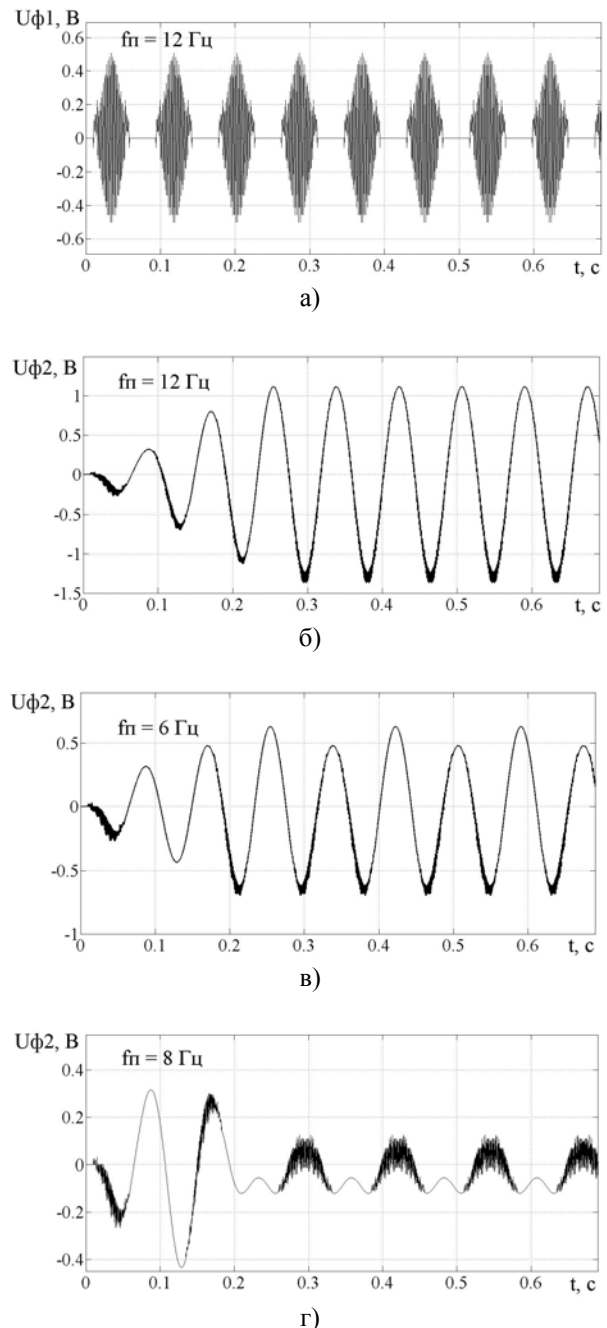


Рис. 5. Временные диаграммы напряжений при воздействии периодической импульсной последовательности: а – на выходе фильтра несущей; б, в, г – на выходе фильтра модулирующей частоты

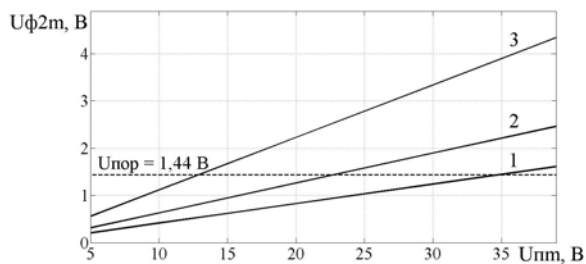


Рис. 6. Зависимость уровня сигнала на выходе фильтра модулирующей частоты от амплитуды помехи  
1 – одиночная помеха; 2 – периодическая последовательность 6 Гц; 3 – последовательность 12 Гц

### Выводы

1. Одиночная импульсная помеха вызывает ударное возбуждение входного фильтра и на его выходе появляются свободные затухающие колебания с частотой несущей, что, в свою очередь, приводит к ударному возбуждению фильтра модулирующей частоты. Одиночный импульс амплитудой выше 35 В может привести к ложному срабатыванию приемника.

2. Наиболее «опасными» являются периодические импульсные последовательности, частоты которых входят в диапазоны (11-13) Гц, (5,5-6,5) Гц. Так при частоте следования импульсов 12 Гц к ложному срабатыванию приемника может привести серия из четырех импульсов амплитудой выше 12,8 В, а при частоте 6 Гц – серия из трех импульсов амплитудой выше 22,7 В.

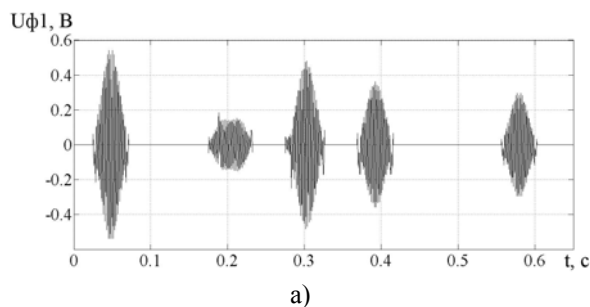


Рис. 7. Временные диаграммы напряжений при воздействии случайной импульсной последовательности:  
а – на выходе фильтра несущей;  
б – на выходе фильтра модулирующей частоты

3. Дальнейшие исследования в данном направлении связаны с усовершенствованием методов защиты путевого приемника рельсовой цепи от импульсных помех, поиском новых более совершенных алгоритмов обработки сигналов контроля рельсовой линии.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоров, Н. Е. Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями [Текст] : учеб. пособие / Н. Е. Федоров. – Самара: СамГАПС, 2004. – 132 с.
2. Кулик, П. Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности [Текст] / П. Д. Кулик, Н. С. Ивакин, А. А. Удовиков. – К.: Изд. дом «Мануфактура», 2004. – 288 с.
3. Фомин, А. Ф. Помехоустойчивость систем железнодорожной радиосвязи [Текст] / А. Ф. Фомин, Ю. В. Ваванов. – М.: Транспорт, 1987. – 295 с.
4. Тихонов, В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем [Текст] / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 1991. – 608 с.
5. Сердюк, Т. Н. Взаимодействие системы тягового электроснабжения постоянного тока с рельсовыми цепями [Текст] / Т. Н. Сердюк, В. И. Гаврилюк // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – № 4. – С. 108–112.
6. Сердюк, Т. Н. Измерение электромагнитных помех в обратной тяговой сети [Текст] / Т. Н. Сердюк, А. В. Завгородний, В. И. Гаврилюк // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 29. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 134–139.
7. Гаврилюк, В. І. Аналіз впливу тягового електропостачання на роботу рейкових кіл [Текст] / В. І. Гаврилюк, О. В. Завгородній // Залізн. трансп. України. – 2005. – № 2. – С. 37–39.
8. Блачев, К. Э. Имитационное моделирование цифрового приемника сигналов систем интервального регулирования движения поездов [Текст] / К. Э. Блачев // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. – 2008. – № 2 (22). – С. 223–227.
9. Кулик, П. Д. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл [Текст] : керівний нормативний документ «Укрзалізниця», ЦШ 0041 : Затв.: Наказ «Укрзалізниця» № 745-ЦЗ від 26.12.2005 / П. Д. Кулик, О. О. Удовіков, В. І. Басов. – К.: Мінтрансзв'язку України, 2006. – 236 с.

Поступила в редколлегию 10.11.2011.

Принята к печати 14.11.2011.

К. В. ГОНЧАРОВ

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІМПУЛЬСНИХ ЗАВАД НА ТОНАЛЬНІ РЕЙКОВІ КОЛА**

Робота присвячена дослідженню впливу імпульсних завад на тональні рейкові кола. В результаті проведеного імітаційного моделювання досліджено механізм впливу на колійний приймач тонального рейкового кола одиночної імпульсної завади, періодичної та випадкової послідовності імпульсів, визначено «небезпечні» рівні завад.

*Ключові слова:* тональні рейкові кола, колійний приймач, імпульсні завади, фільтр, імітаційне моделювання, «небезпечні» рівні завад

K. V. GONCHAROV

## **RESEARCH OF INFLUENCE OF PULSE INTERFERENCE ON THE TONE RAIL CIRCUITS**

The work is devoted to the influence of pulse interference on the tone rail circuits. As a result of simulations, the mechanism of influence on the track receiver of tone rail circuit single impulse interference, periodic and random sequence of pulses has been investigated; «dangerous» levels of noise have been defined.

*Keywords:* tone rail circuits, track receiver, impulse interference, filter, simulation modeling, «dangerous» levels of interference

## СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЗА СТАНДАРТОМ ISO 9000 У ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

Досліджено проблеми управління якістю у сфері діяльності вищого навчального закладу.

*Ключові слова:* системи управління якістю, ISO 9000

Якість — ключовий фактор, який визначатиме наше майбутнє. Це багатогранне поняття є фундаментом для вирішення чисельних завдань, що стоять перед Україною. Розвиток економіки та забезпечення її конкурентоспроможності на світових ринках, підвищення ефективності державного управління, покращення соціальної захищеності громадян — це лише основні з них. Досягнення цих цілей можливе лише за умови об'єднання зусиль усіх зацікавлених підприємств, організацій і спеціалістів, цілого суспільства, а платформою для такого об'єднання повинен бути громадський рух за якість. У сучасному світі термін "якість" присутній в усіх сферах діяльності. Якість є ключовою у промисловості, медицині, торгівлі, сфері транспорту, обслуговування тощо. Не обійшло це поняття й освіту як одну з найважливіших сторін соціального життя суспільства.

Проблеми освіти досліджені багатьма вченими, зокрема. О. І. Волковим, Л. М. Віткіним, Г. І. Хімічевим, А. С. Зенкіним, І. Є. Булах, О. П. Волосовцем та ін. [1, 2, 3].

Визначення якості вищої освіти ніколи не було легким питанням, а під час порівняння якості освіти на міжнародному рівні ці проблеми лише ускладнюються. Хоча деякі елементи системи вищої освіти є загальними, вони мають різні характеристики для різних країн.

На цей час, вибір вищих навчальних закладів різних форм власності в Україні досить великий. Проте суспільство не завжди володіє достовірною інформацією про рівень викладання та якість підготовки в тому або іншому ВНЗ. Інформацію про рейтинги ВНЗ України надають різні дослідницькі інститути, освітні центри, у тому числі Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України. Найбільш відомим в Україні донині вважався рейтинг навчальних закладів «Софія Київська». Його засновниками виступили Міжнародна кадрова академія, Конфедерація недержавних закладів України, Академія наук вищої школи України, Інститут вищого утворення Академії педагогічних наук України і Український інститут соці-

льних досліджень [4].

Окрім загальної оцінки, дуже важливим критерієм рейтингу «Софія Київська» є рівень відповідності підготовки фахівців вимогам сучасного ринку праці. Для впровадження власного рейтингу МОН запропонувало близько ста критеріїв оцінки в різних сферах освітньої діяльності. Проте така різноманітність зорієнтувала керівництво вищих навчальних закладів приймати формальні рішення для підвищення показників діяльності своїх учбових закладів. Болонський процес, що зумовлює необхідність взаємного визнання навчальних програм університетів, у першу чергу націлює на обов'язкове вживання загальноновизнаного інструменту визначення їх рейтингів.

Як свідчить світовий досвід, одним із найефективніших шляхів досягнення цієї мети на сучасному етапі найбільш успішно впроваджуються системи менеджменту якості (СМЯ) відповідно до міжнародних стандартів ISO серії 9000 з урахуванням особливостей галузі освіти.

Застосування принципів, які покладені в основу міжнародних стандартів ISO серії 9000, зокрема системного й процесного підходів, орієнтації на вимоги споживачів, позиції керівництва щодо розвитку навчального закладу, постійного поліпшення якості освітніх послуг і залучення до цього процесу усього персоналу дасть змогу досягти основної мети існування ВНЗ - *забезпечення якісної підготовки фахівців, формування особистостей, адекватних потребам економіки і суспільства*.

Державні стандарти України «Системи управління якістю» (СУЯ) є ідентичними (IDT) перекладами міжнародного стандарту ISO серії 9000.

Ключовою функцією управління будь-якої організації чи навчального закладу та основним засобом досягнення і підтримання їхньої конкурентоспроможності є управління якістю. Роботи з подальшого розвитку принципів і методів управління якістю привели до створення концепції загального управління якістю (*TQM - Total Quality Management*). Концепція TQM ба-



зується на тому, що в сучасних умовах вирішення проблеми якості все більше визначається людським чинником, тобто відношенням людей до справи і відношенням керівників до персоналу. Головне завдання керівництва - ініціація творчого потенціалу працівників у певному напрямі. При цьому концепція TQM спирається на такі поняття, як фірмова (корпоративна) культура, стиль керівництва, демократизація управління. Концепція ставить якість в центр всієї виробничої діяльності, що зумовлює

задоволення вимог споживача і, як наслідок, поліпшення економічного і соціального стану підприємства.

Для ВНЗ цей підхід передбачає залучення усього персоналу ВНЗ для того, щоб забезпечити надання освітніх послуг високої якості.

Розвиток TQM як науки привів до формулювання чітких принципів управління якістю (рис. 1), які стали ідеологічною основою міжнародних стандартів ISO серії 9000.

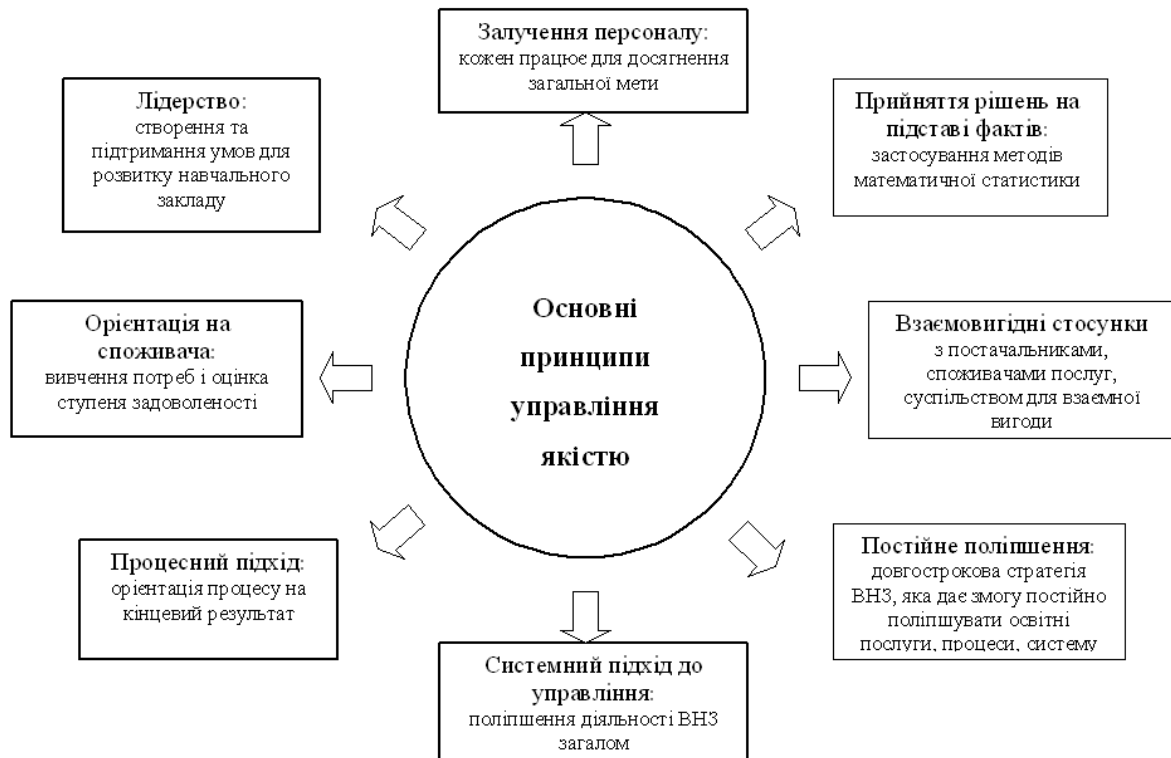


Рис. 1. Основні принципи управління якістю

Для ефективного функціонування ВНЗ повинен ідентифікувати порядок, за якого кожний робочий процес створює цінність для того, хто навчається. На рис. 2 зображена модель СУЯ ВНЗ, в основу якої покладено процес [8].

Керівництво ВНЗ відіграє важливу роль у розробленні й актуалізації результативної та ефективної СУЯ освітніх послуг. Діяльність керівництва навчального закладу поширюється на заходи щодо ініціювання створення СУЯ у ВНЗ, формування організаційної структури СУЯ ВНЗ, розроблення місії, політики та цілей у сфері якості, процесів стратегічного планування, а також регулярного контролю функціонування СУЯ навчального закладу. Постійна увага керівництва до ідеї забезпечення якості освіти і його здатність виділяти відповідні ресурси визначає загалом успішність реалізації планів щодо впровадження СУЯ у навчальному

закладі.

З метою спостереження та оцінювання результатів освіти, з подальшим їхнім аналізом та заходами для підвищення рівня підготовки випускників ВНЗ здійснюється моніторинг системи управління якістю ВНЗ. Під моніторингом і вимірюванням освітніх послуг в СУЯ університету розуміють моніторинг розвитку системи освіти.

З урахуванням специфіки діяльності ВНЗ, його систему моніторингу СУЯ, відповідно до стандартів [5, 6, 7, 8, 9] можна зобразити у вигляді, наданому на рис. 3.

Дані, що отримані під час моніторингу I, II і III-го рівнів, є джерелами інформації для здійснення коригувальних та запобіжних дій, що, своєю чергою, сприяє постійному поліпшенню діяльності ВНЗ. Функціонування конкурентоспроможного ВНЗ у сучасних умовах неможливо без автоматизованого управління систе-

мою якості. Надана комплексна модель (рис. 4) забезпечує вплив на освітній процес за рахунок застосування прогресивних інформаційних технологій з корегуючим зворотним зв'язком, який базується на результатах вимірювань, що

проводяться протягом всього освітнього процесу. Модель орієнтована на створення комплексної АСУ якістю процесів у ВНЗ з використанням концепції стратегічного управління якістю освіти і сучасних інформаційних технологій.

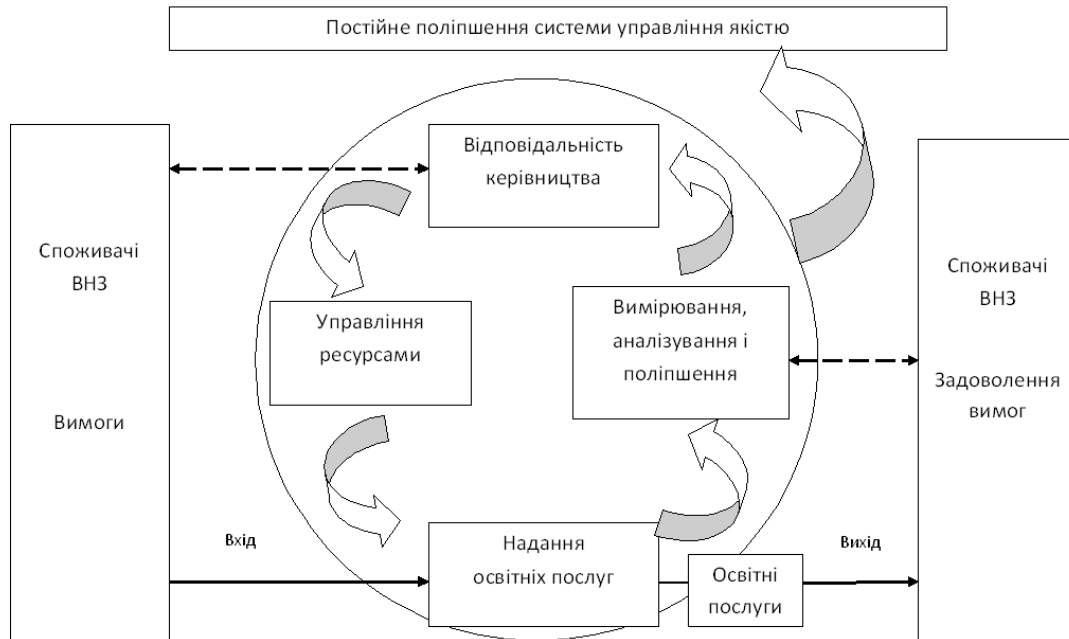


Рис. 2. Модель системи управління якістю, в основу якої покладено процес

Завершальним етапом впровадження СУЯ у ВНЗ є її сертифікація (реєстрація) органом із сертифікації, що акредитований на право виконання цієї роботи, і здійснюється за ініціативою навчального закладу з метою підтвердження відповідності системи вимогам ДСТУ ISO 9001-2001 і забезпечення впевненості (зокрема споживачів) у тому, що ВНЗ здатний стабільно надавати освітні послуги заданої якості.

*Результатами впровадження СУЯ у ВНЗ повинні стати:*

- ключові поліпшення в управлінні процесами, з яких складається діяльність ВНЗ, передусім навчального процесу, наукової діяльності, внаслідок чого підвищиться рівень якості випускників, їхня конкурентоспроможність на ринку праці, рівень задоволення та прихильності роботодавців;
- удосконалення організації роботи персоналу і навчання студентів, зокрема наукової діяльності викладачів і студентів, самостійної роботи студентів;
- поліпшення зовнішнього іміджу ВНЗ і зміцнення позицій на ринку послуг вищої освіти;
- підвищення компетентності та задоволеності персоналу;
- удосконалення інфраструктури ВНЗ, завдяки чому будуть оптимізовані витрати на забезпечення його діяльності;
- поліпшення результатів супутньої діяльності ВНЗ, зокрема, проведення курсів, семінарів,

навчань, тренінгів тощо.

*Упровадження СУЯ у ВНЗ забезпечить:*

- кращий рівень внутрішньої організованості, меншу кількість помилок;
- підвищення ефективності використання бюджетних коштів;
- покращання якості освітніх послуг (підвищення успішності студентів, поліпшення якості наукових досліджень, навчальних програм, ширше залучення викладацького складу і персоналу ВНЗ до зростання попиту на випускників);
- підвищення прозорості послуг ВНЗ для споживачів;
- взаємодію з ВНЗ та організаціями, що вже мають СУЯ;
- стабільну роботу в умовах плинності персоналу.

Як свідчить світова практика, впровадження СУЯ дає змогу ВНЗ вистояти в жорсткій конкуренції на ринку послуг у сфері вищої освіти, досягти високого рівня довіри і стійкості, прихильності споживачів до їхніх послуг, поліпшити та оптимізувати свою діяльність і підвищити результативність та ефективність роботи, стабільно підтримувати високу якість своїх послуг для задоволення потреб і вимог споживачів, відкрити нові можливості або зберегти вже завойовані сегменти ринку послуг у сфері вищої освіти, отримати визнання через процедуру сертифікації.

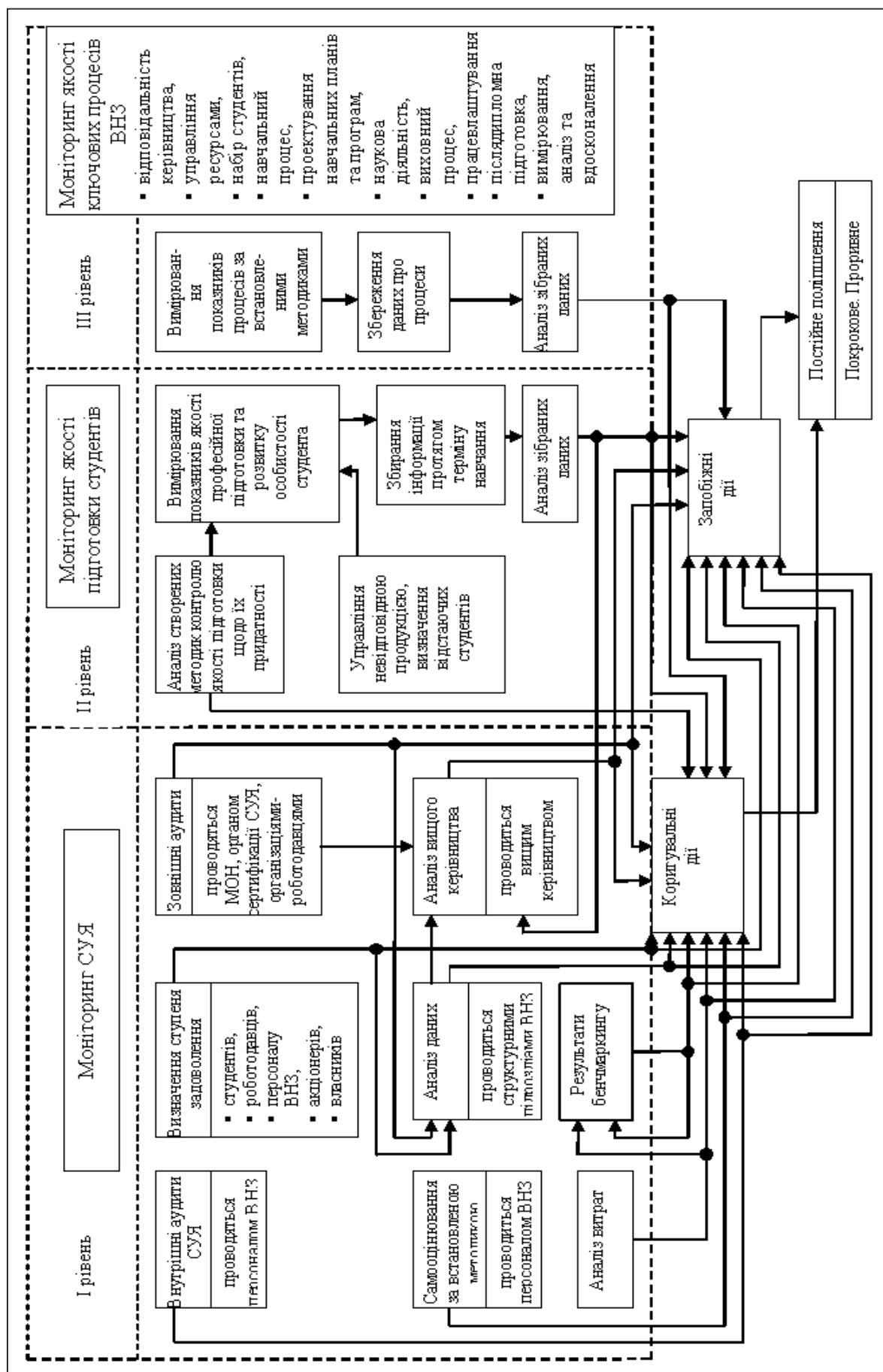


Рис. 3. Моніторинг СУЯ відповідно до стандартів ISO 9000

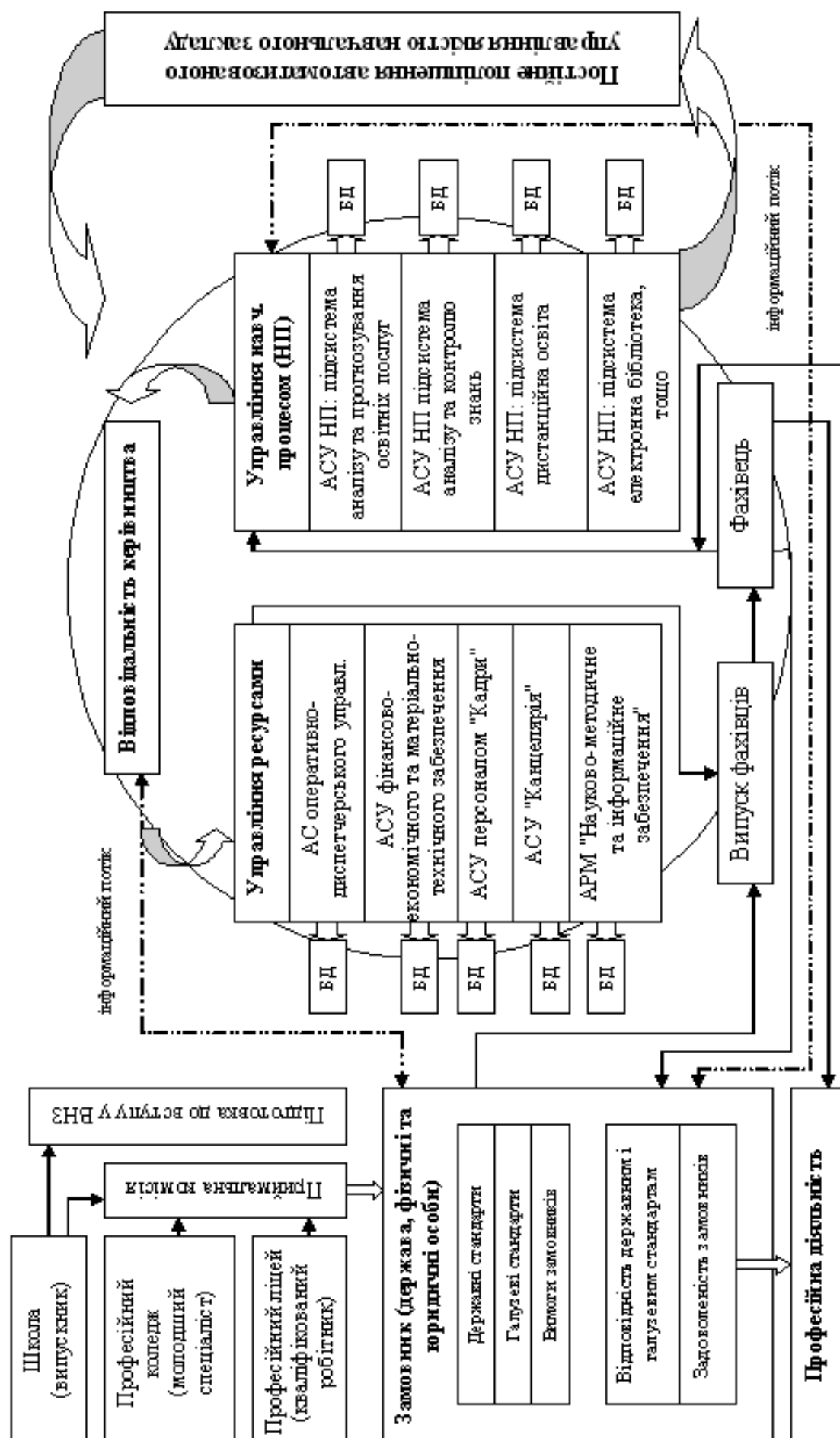


Рис. 4. Комплексна модель автоматизованого управління якістю діяльності навчального закладу

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Система управління якістю медичної освіти в Україні [Текст] : монографія / І. Є. Булах [та ін.]. – Д.: АРТ-ПРЕС, 2003. – С. 29–34.
2. Системи якості вищих навчальних закладів: теорія і практика [Текст] / О. І. Волков [та ін.]. – К. : Наук. думка, 2006. – 289 с.
3. Кайдалова, Л. Г. Управління та забезпечення якості освіти у вищих навчальних закладах [Текст] / Л. Г. Кайдалова, Т. І. Козлова // Проблеми освіти (Наук.-метод. збірник). – 2007. – № 53. – С. 16–19.
4. Згуровский, М. Определение университетских рейтингов – составляющая евроинтеграции в образовательной сфере [Текст] / М. Згуровский // Еженедельник «Зеркало недели». – 22.07.2006. – № 28 (607).
5. IWA 2:2007 Quality Management System - Guidelines for the application of ISO 9001:2000 in education (Системи управління якістю: настанови щодо застосування ISO 9001:2000 у сфері освіти) [Текст].
6. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2005, IDT) [Текст] : ДСТУ ISO 9000:2007. – [Чинний від 2008-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 34 с. (Нац. стандарт України).
7. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2000, IDT) [Текст] : ДСТУ ISO 9001-2001. – [Чинний від 27 червня 2001 р.]. – К. : Держстандарт України, 2001. – 33 с. (Нац. стандарт України).
8. Системи управління якістю. Настанови щодо поліпшення діяльності (ISO 9004:2000, IDT) [Текст] : ДСТУ ISO 9004-2001. – [Чинний від 27 червня 2001 р.]. – К. : Держстандарт України, 2001. – 70 с. (Нац. стандарт України).
9. Настанова щодо аудиту СУЯ та/чи навколишнім середовищем (ISO 19011:2002, IDT) [Текст]: ДСТУ ISO 19011-2003. – [Чинний від 29 грудня 2003 р.]. – К. : Держстандарт України, 2003. – 41 с. (Нац. стандарт України).

Надійшла до редколегії 02.09.2011.

Прийнята до друку 07.09.2011.

Б.Є. БОДНАР, О.О. МАТУСЕВИЧ

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПО СТАНДАРТУ ISO 9000 В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Исследованы проблемы управления качеством в сфере деятельности высшего учебного заведения.

*Ключевые слова:* системы управления качеством, ISO 9000

B. BODNAR, O. MATUSEVICH

## CONTROL THE SYSTEM BY QUALITY ON STANDARD OF ISO 9000 IN HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS

The problems of quality management in the field of activity of higher educational establishment are investigated.

*Keywords:* quality management systems, ISO 9000

## СТРУКТУРНАЯ СЛОЖНОСТЬ СИСТЕМ

Рассмотрена структура сложности системы, в которой определена связанная сложность систем.

*Ключевые слова:* система, структура, структурная сложность, мера сложности

## Введение

Рассматривая ту или иную систему, следует подвергнуть ее анализу на предмет выяснения свойств, характеристик и прочее.

Одними из общих характеристик систем являются связность, сложность, устойчивость, управляемость и другие [1]. В системном анализе сложности уделяется достаточно много внимания, так как сложность естественным образом присуща любой системе, например, это проявляется при высказывании «большая система», «многосвязная система» или «неопределенная система» и других высказываниях относительно систем.

Сложность системы понятие многогранное. Так, для систем информатики можно говорить об объемной сложности семантического множества объектов, о связанной сложности семантических сведений, с функциональной точки зрения рассматривают вычислительную и прочие сложности. Теория сложности систем не завершена и по выражению Дж. Касты [2]: «В идеале математическая теория сложности должна достигнуть уровня, аналогичного уровню развития теории вероятности. В то время как вероятность можно рассматривать как меру неопределенности в данной ситуации, сложность можно трактовать как меру понимания поведения системы».

Существует большое разнообразие мер сложности систем. В частности, для систем информатики их несколько классов: статические, динамические, статистические, связанные и прочие. Причем большинство из них имеют узкую область измерения и не лишены недостатков применения и сравнительной оценки. Например, широко используемая мера связанной сложности алгоритмических программ по Мак-Кейбу [3] проста в определении, но не позволяет полностью оценить особенности связывания программ. Поэтому, возникает проблема разработки интегрированных универсальных мер сложности. В роли универсальной меры сложности Эшби [4] предложил использовать информационный подход [5]. Однако, как указывает Дж. Касты [2] «Теория информации не

является удовлетворительной основой для определения сложности» систем, так как «системные переменные не действуют по отдельности и только в совокупности с другими порождают сложные явления».

Для решения этих проблем в работе предложен структурный подход моделирования системы, т. е. вводится в рассмотрение согласованная с системой формальная структура. Рассмотрены подструктуры введенной структуры, их взаимосвязи и операции над подструктурами, что позволяет корректно задать определение структурной сложности. Предложены некоторые прикладные интерпретации структурной сложности систем информатики. Выполнено сравнение показателей сложности по введенной векторной мере с некоторыми другими мерами.

## Структурная модель системы

Определимся сначала с внутренней структурой системы. Так как в теории систем [1] объектом исследований является не реальная предметная область, иногда называемая на интуитивном уровне «системой», а формальный объект, отражающий взаимосвязь между абстрактными элементами и их свойствами, то обозначим через  $x$  переменную как абстракцию, моделирующую реальные явления (процессы и прочее). Пусть совокупность  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  моделирует явления некоторой предметной области и каждая из переменных  $x_i \in X$  находится в одном или нескольких состояниях  $v_i \in V_i$ , тогда под системой  $S$  понимается [1] отношение на декартовом произведении множеств состояний, то есть  $S \subset V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n$  определяется множеством ее состояний и неявно определенными отношениями. Отношения на системе  $S$  определим вектором бинарных отношений  $B \subseteq X \times X$  с компонентами  $\beta_k, k = \overline{1, m}$ . Описание систем с помощью конечных множеств и отношений выполнено в работе [6]. В нашем случае отношения вектора  $B$  обладают свойствами:

- над парой переменных  $(x_i, x_j)$  может существовать несколько различных отношений  $\beta_k$ ;  $k \in (1, 2, \dots, m)$ ;

- если отношение  $\beta_k$  на паре  $(x_i, x_j)$  существует, то оно может быть рефлексивным;

- для отношения  $\beta_k$  нет симметрии, так как из существования отношения  $x_i \beta_k x_j$  может существовать другое отношение,  $\beta_l$  над парой  $(x_j, x_i)$  или вообще может не существовать ни какого отношения над этой парой; в последнем случае отношение  $\beta_l$  пусто, то есть  $\beta_l = \varepsilon$  и  $\{\varepsilon\} = \emptyset$  [7];

- имеет место *условная транзитивность*: если существуют  $x_i \beta_k x_j$  и  $x_j \beta_l x_q$ , то существует тернарное отношение  $\beta(x_i, x_j, x_q)$ , для которого оно определяется через произведение отношений  $\beta_k$  и  $\beta_l$ , как  $\beta = \beta_k \cdot \beta_l = \beta_k \beta_l$ ; здесь операция произведения не коммутативна.

Как правило, при анализе искусственных систем исследователи формируют пути (цепи) технологических и других процессов. Пути процессов определяются заданными отношениями в системе  $S$ .

Во множестве  $B$  можно выделить подмножества, задающие простые пути отношений:

- последовательные пути отношений, определенные на свойстве транзитивности, как  $n$ -нарные отношения  $\beta_i = \beta_{i_1} \beta_{i_2} \dots \beta_{i_n}$  над последовательностями  $(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_n})$ ;

- пути бинарных ветвлений (распараллеливания путей) по отношению  $\beta_k$ , представленному следующим выражением  $\beta_k = (\beta_{i_1} \beta_{i_2} \dots \beta_{i_r}) \vee (\beta_{j_1} \beta_{j_2} \dots \beta_{j_q})$  над последовательностями  $(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_r})$  или  $(x_{j_1}, x_{j_2}, \dots, x_{j_q})$ ;

- пути с обратным отношением (обратной связью), задаваемые отношениями  $\beta_h = \beta_i \beta_j$  над последовательностями  $(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_r})$  и  $(x_{j_1}, x_{j_2}, \dots, x_{j_q}, x_{i_1})$ .

Другие пути на множествах отношений  $B$  и переменных  $X$  получаются в виде суперпозиций над указанными тремя простыми типами путей. В дальнейшем на множествах путей можно построить графы, комплексы симплексов и прочее.

Предположим, что межэлементные связи в системе  $S$  наступают с некоторой характеристикой (весом, весовым множеством, весовой функцией и прочее), так что любая связь с от-

ношением  $\beta_k$  вектора  $B$  между переменными  $x_i, x_j \in X$  характеризуется весом  $p_{ijk}$ . Обозначим *характеристическое множество* связей системы через  $P = \{p_{ijk}\}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ ;  $k = \overline{1, m}$ . Если характеристики  $P$  имеют вероятностную природу, то должны выполняться условия:

$$\sum_{j=1}^n p_{ijk} = 1, \sum_{k=1}^m p_{ijk} = 1; i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Очевидно, что в случае  $p_{ijk} = \varepsilon$  – характеристика пустая, если характеристика  $P$  вероятностная, то при условии  $\sum_{k=1}^m p_{ijk} = 0$  следует принять отсутствие связи между переменными  $x_i, x_j \in X$ .

Учитывая введенные характеристики связей системы  $S$ , уточним понятие состояния ее переменной.

*Определение 1.* Состоянием  $v_{ijk}$  переменной  $x_i$  называется его связь с переменной  $x_j$  по отношению  $\beta_k$  с весом  $p_{ijk}$ .

Теперь множество состояний  $V_i$  переменной  $x_i$  задается так  $V_i = \{v_{ijk}\}_{j=1, n}^{k=1, m}$ .

*Замечание 1.* Из определения 1 следует, что состояние системы  $S$  однозначно задается характеристической матрицей  $P$  и вектором отношений  $B$ .

*Определение 2.* Структурой системы  $S$  назовем тройку

$$C \triangleq \langle X, B, P \rangle. \quad (2)$$

Очевидно, из определения 2 и замечания 1 следует однозначное соответствие  $\varphi$  между структурой и ее системой, т.е.  $\varphi: C \rightarrow S$ , что позволяет в дальнейшем проводить анализ и исследования над структурой системы. Введем в рассмотрение, аналогично конструктивным структурам [8], понятие подструктуры системы.

*Определение 3.* Подструктурой структуры (2) называется структура  $C_r \triangleq \langle X_r, B_r, P_r \rangle$ , для которой  $X_r \subseteq X$ ,  $B_r \subseteq B$  и  $P_r \subseteq P$ , т.е.  $C_r \subseteq C$ .

Нетрудно видеть, что если  $C_r \subset C$ , то существует подсистема  $S_r \subset S$  такая, что  $\varphi: C_r \rightarrow S_r$ .

*Утверждение 1.* Для отображения  $\varphi$ ,  $\exists \varphi^{-1}$ .

Поэтому подструктура  $C_r$  является *согласованной* с подсистемой  $S_r$ .

**Утверждение 2.**  $\forall C_r \subset C \quad (\forall S_r \subset S),$   
 $\exists S_r \subset S \quad (\exists C_r \subset C).$

Рассмотрим теперь воздействие внешней среды на систему  $S$ . Предположим, что воздействие внешней среды на систему проявляется посредством интерпретации переменных  $x_i \in X$  некоторым предметным множеством  $A = \{a_i; i \in I\}$ , отношений  $B$  — множеством  $T = \{\tau_r; r \in I_1\}$ , весов  $P$  — множеством  $G = \{g_j; j \in I_2\}$ . В свою очередь, система  $S$ , в соответствии с согласованной ее структурой (2) и при заданной интерпретации

$$In: \begin{cases} x_i \mapsto a_q; i = \overline{1, n}, q \in I; \\ \beta_r \mapsto \tau_q; r = \overline{1, m}, q \in I_1; \\ p_{ijk} \mapsto g_q; i, j = \overline{1, n}, k = \overline{1, m}, q \in I_2; \end{cases},$$

порождает множество выходов  $Y = \{y_j; j \in J\}$ .

Множество выходов системы  $S$  зависит от ее интерпретации. Так как интерпретация относится к внешним факторам, влияющим на поведение системы, то в дальнейшем будет рассматриваться только одна фиксированная интерпретация  $In$ , порождающая одно множество выходов системы.

**Определение 4.** Множество выходов  $Y$  системы  $S$  при заданной интерпретации  $In$  назовем *порожденным заданной структурой*.

Пусть  $\bar{C} = \{C_r\}$  множество всевозможных подструктур структуры  $C$  системы  $S$  с интерпретацией  $In$ . Очевидно, что для любого элемента  $y_j \in Y$ , существует подструктура  $C_q^* \in \bar{C}$  его порождающая. Из определения 3 ясно, что не все подструктуры из множества  $\bar{C}$  являются порождающими. В частности, пустая подструктура  $C_\varepsilon = \varepsilon$  ( $C_\varepsilon \subset \bar{C}$ ) для любой интерпретации дает  $Y = \emptyset$ .

**Определение 5.** Подструктуры  $C_1^*, C_2^* \in \bar{C}$  назовем *эквивалентными*, если согласованные с ними подсистемы  $S_1$  и  $S_2$  порождают один и тот же выход.

**Определение 6.** Подструктура  $C_r^* \subset C$  называется *порождающе-полной*, если она порождающая и ее тройка  $\langle X_r, B_r, P_r \rangle$  не содержит подэлементов, не влияющих на порождение элементов из множества  $Y$ .

**Замечание 2.** Эквивалентность по определению 5 для порождающе-полных подструктур вырождается в равенство этих подструктур.

Справедлива следующая очевидная лемма.

**Лемма 1.** На всякой подструктуре структуры (2) системы можно построить порождающе-полную подструктуру.

Поэтому, в дальнейшем будут рассматриваться преимущественно порождающе-полные подструктуры. Множество порождающе-полных подструктур обозначим так  $\bar{C}^* = \{C_r^*\}$ , очевидно,  $\bar{C}^* \subset \bar{C}$ . В силу замечания 2 множество  $\bar{C}^*$  не содержит эквивалентных подструктур.

На множестве  $\bar{C}^*$  можно построить иерархию подструктур по включению. При этом возможны два случая:

- 1) *вырожденная иерархия*, если для подструктуры  $\tilde{N}_i^* \in \bar{C}^*$  во множестве  $\bar{C}^*$  не найдется подструктур, которые могли быть включены в структуру  $C_i^*$ ;
- 2) *невыврожденная иерархия*, если для структуры  $\tilde{N}_j^* \in \bar{C}^*$  существует подмножество  $\{\tilde{N}_{j_k}^*\} \subset \bar{C}^*$  такое, что  $C_{j_1}^* \subset C_{j_2}^* \subset \dots \subset C_j^*$ .

**Определение 7.** Последний элемент  $C_j^*$  в цепи невырожденной иерархии назовем *максимальным по включению* и обозначим его как  $\tilde{N}_{m_j}^*$ , если  $\nexists C_k \in C$ , чтобы  $\tilde{N}_{m_j}^* \subset C_k$ .

**Замечание 3.** Максимальная подструктура  $\tilde{N}_{m_j}^*$  не единственная во множестве  $\bar{C}^*$  и справедливо  $\{\tilde{N}_{m_j}^*\} = C_M^* \subset \bar{C}^*$ .

Рассмотрим некоторые операции над множеством  $\bar{C}$ . Пусть  $C_1, C_2 \subset \bar{C}$  такие, что  $C_1 = \langle X_1, B_1, P_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle X_2, B_2, P_2 \rangle$ .

Под операцией объединения ( $\cup$ ) двух подструктур понимаем подструктуру  $C_3 = C_1 \cup C_2$ , для которой  $C_3 = \langle X_1 \cup X_2, B_1 \cup B_2, P_1 \cup P_2 \rangle$ .

Операция пересечения ( $\cap$ ) над подструктурами представляется, как  $C_3 = C_1 \cap C_2$  и выполняется по правилу  $C_3 = \langle X_1 \cap X_2, B_1 \cap B_2, P_1 \cap P_2 \rangle$ . В том случае, если  $X_1 \cap X_2 = \emptyset$  или  $B_1 \cap B_2 = \emptyset$ , или  $P_1 \cap P_2 = \emptyset$ , то примем  $C_3 = \emptyset$ .



И, наконец, за разность  $(-)$  двух подструктур  $C_1$  и  $C_2$  примем, если  $C_1 \cap C_2 \neq \emptyset$  и  $X_1 - (X_1 \cap X_2) \neq \emptyset$ , и  $B_1 - (B_1 \cap B_2) \neq \emptyset$ , и  $P_1 - (P_1 \cap P_2) \neq \emptyset$  выражение  $C_3 = C_1 - C_2$ , для которого  $C_3 = \langle X_1 - X_2, B_1 - B_2, P_1 - P_2 \rangle$ .

Не сложно видеть, что для порождающе-полных подструктур результат операций  $(\cup)$  и  $(\cap)$  дает порождающе-полную подструктуру.

**Определение 8.** Подмножество подструктур  $\{C_i^*\} \subset \bar{C}^*$  назовем *образующим структуры  $C$* , если 1)  $\bigcup_i C_i^* = C$ , 2) множество подсистем  $\{S_i\}$  согласованных со структурами  $\{C_i^*\}$  порождает множество выходов  $\{Y_i\}$  такое, что  $\bigcup_i Y_i = Y$ .

Определение 8 указывает способ разбиения множества выходов на порождающие классы, кроме того для образующих подструктур имеет место следующие: лемма и теорема.

**Лемма 2.** Всякую порождающую подструктуру можно расширить до максимальной подструктуры.

Аналог доказательства леммы 2 можно найти в работе [8, с. 79].

**Теорема 1.** Подмножество порождающих подструктур  $\{C_i^*\} \subset \bar{C}^*$  будет образующим структуры  $C$  тогда и только тогда, когда для ее произвольного элемента имеет место  $\tilde{N}_i^* \in C_M^*$ .

Теорема доказывается от противного с использованием леммы 2.

### Структура показателя сложности системы

Для введенной системы  $S$  и ее структуры (2) можно задать меры сложности на множествах  $X$ ,  $B$  и  $P$ , иерархической сложности порождающих подструктур выходов системы, информативной сложности, связной сложности и другие. Так как эти и иные меры сложности определяются индивидуально, то целесообразно унифицировать понятие сложности, например, с помощью структуры показателя сложности системы.

Пусть  $\mu(S) \in \mathbb{R}^+$  некоторая мера сложности системы  $S$ .

**Определение 9.** Структурной сложностью системы  $S$  назовем структуру

$$C_\mu \triangleq \langle \bar{C}, \Sigma, \Lambda_\mu \rangle, \quad (3)$$

в которой сигнатура  $\Sigma$  операций  $\{(\cdot)^2, (\parallel_\beta)^2, (\cdot)^2\}$  и  $\Lambda_\mu$  – аксиоматика сложности системы.

Таким образом, структурная сложность системы определяется через ее подструктуры, множество операций на них и аксиоматику правил сигнатуры и сложности.

Рассмотрим бинарные структурные операции связывания подструктур структуры  $C$  такие, как операции последовательного, параллельного связывания и операция с обратной связью.

Пусть  $C_1 = \langle X_1, B_1, P_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle X_2, B_2, P_2 \rangle$  подструктуры структуры  $C$ .

Операция  $(\cdot) \in \Sigma$  последовательного связывания подструктур действует по правилу:

$$C_1 \cdot C_2 = \langle X_1 \uplus X_2, B_1 \uplus B_2, P_1 \uplus P_2 \rangle \quad (4)$$

Здесь мультимножественная операция  $(\uplus)$  объединения со сложением [9, 10], которая порождает новое множество присоединением, например, к множеству  $X_1$  множества  $X_2$  и поэтому она не коммутативна, но ассоциативна. Следовательно, операция последовательного связывания подструктур также обладает этими свойствами.

Правило реализации операции параллельного связывания подструктур  $(\parallel_\beta) \in \Sigma$  по заданному отношению следующее:

$$C_1 \parallel_\beta C_2 = \begin{cases} C_1 \mid_{\beta \rightarrow 1}, \\ C_2 \mid_{\beta \rightarrow 0}; \end{cases} \quad (5)$$

или при противоположных значениях отношения. Эта операция также не коммутативна, но ассоциативна.

Операция  $(\cdot) \in \Sigma$  последовательного связывания подструктур  $C_1$  и  $C_2$  с обратной связью, для которой

$$C_1 \cdot C_2 = \left\langle X_1 \uplus X_2 \uplus X_1, B_1 \uplus B_2 \uplus B_1, P_1 \uplus P_2 \uplus P_1 \right\rangle, \quad (6)$$

не коммутативна и не ассоциативна.

Рассмотренные операции  $(\cdot)$  и  $(\cdot)$  не замкнуты по отношению к структуре  $C$ . Для замыкания по этим операциям можно дополнить множество подструктур  $\bar{C}$  подструктурами на операциях  $(\cdot)$  и  $(\cdot)$ . Следовательно, получим расширенное по отношению к множеству  $\bar{C}$  множество  $\tilde{C}$ ,  $\bar{C} \subset \tilde{C}$ .

Отправляясь от результатов работы [2], учитывая связи подструктур по правилам (4) – (6), зададим аксиоматику сложности на структурном множестве  $\tilde{C}$ .

1.  $\mu(C_e) = 0$ .
2.  $\forall \tilde{C}_1, \tilde{C}_2 \in \tilde{C}, \tilde{C}_1 \subset \tilde{C}_2 \Rightarrow \mu(\tilde{C}_1) \leq \mu(\tilde{C}_2)$ .
3.  $\forall \tilde{C}_1, \tilde{C}_2 \in \tilde{C} \Rightarrow$   

$$\mu(\tilde{C}_1 \cdot \tilde{C}_2) \leq \mu(\tilde{C}_1) + \mu(\tilde{C}_2).$$
4.  $\forall \tilde{C}_1, \tilde{C}_2 \in \tilde{C}, \Rightarrow$   

$$\mu(\tilde{C}_1 \parallel_\beta \tilde{C}_2) \leq \max\{\mu(\tilde{C}_1), \mu(\tilde{C}_2)\}.$$
5.  $\forall \tilde{C}_1, \tilde{C}_2 \in \tilde{C}, \Rightarrow$   

$$\mu(\tilde{C}_1 \div \tilde{C}_2) \leq \mu(\tilde{C}_1) + \mu(\tilde{C}_2) + \mu(\tilde{C}_2 \cdot \tilde{C}_1). \quad (7)$$

Приведенные аксиомы естественные и применимы к любым интерпретациям мер сложности систем.

Так как отдельные элементы структуры (2) можно трактовать как подструктуры, то модель структурной сложности (3) пригодна и для структуры системы.

### Примеры мер структурной сложности

Рассмотрим вначале структуру (2) по весовой интерпретации. Пусть в роли весов связей системы выступают вероятности, т.е. характеристика  $P$  системы  $S$  удовлетворяет условиям (1). Определим весовую сложность системы через показатели ее состояний. Обозначим множество элементарных состояний системы как  $V = \{V_i\}_{i=1}^n$ , в котором состояние переменной  $x_i$  задается определением 1.

Дополним аксиоматику структуры (2) следующими тремя определениями.

**Определение 9.** Сложностью элементарного состояния  $V_i$  переменной  $x_i$  системы  $S$  назовем  $\mu(V_i) = \max_j \{p_{ijk}\}$ .

Заметим, что переменная  $x_i$  системы  $S$  может иметь несколько состояний с одинаковой сложностью.

Используя элементарные состояния множества  $V$  можно получить различные пути состояний переменных связанной последовательности  $\bar{x}_i = (x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_n})$ . Очевидно, множество состояний связанной последовательности  $\bar{x}_i$  есть мультимножество  $\bar{V}_i$  множеств  $V_{i_r}$ , а множество всевозможных путей состояний —  $\bar{V} = \{\bar{V}_i\}$ .

**Определение 10.** Сложностью пути состояний  $\bar{V}_i$  связанной последовательности  $\bar{x}_i$  системы  $S$  назовем

—  $\mu(\bar{V}_i) = \prod_r \mu(V_{i_r})$ , если на пути состояний

для каждой переменной отсутствуют одинаковые сложности элементарных состояний;

—  $\mu(\bar{V}_i) = \max_j \left\{ \prod_r \mu(V_{ij_r}) \right\}$ , при наличии пу-

тей состояний с одинаковыми сложностями хотя бы на одной переменной.

И наконец, структурная сложность по вероятностной интерпретации характеристики системы  $S$  может быть определена как.

**Определение 11.** Весовая сложность

— для линейной структуры системы  $\mu(\bar{V}) = \sum_r \mu(\bar{V}_{i_r})$ ,

— для структуры с ветвлением  $\bar{x}_i \parallel_\beta \bar{x}_j$  по

условию  $\beta \mu(\bar{V}) = \max \left\{ \sum_r \mu(\bar{V}_{i_r}), \sum_r \mu(\bar{V}_{j_r}) \right\}$ ,

— для структуры с обратной связью  $\bar{x}_i \div \bar{x}_j$

$\mu(\bar{V}) = \mu(\bar{V}_i) + \mu(\bar{V}_j) + \mu(\bar{V}_j \cdot \bar{V}_i)$ .

Очевидно, введенная сложность удовлетворяет аксиомам сложности (6).

Рассмотренная мера сложности по вероятностной интерпретации характеристики системы допускают обобщение на другие весовые интерпретации, если значения весов удастся связать с некоторыми количественными показателями.

Покажем, как можно ввести меру структурной сложности систем на основе ее связей. В этом случае структуру системы удобно представить графически. Если не учитывать ориентацию связей и при этом окажется граф связным, то за меру сложности системы по связям можно принять цикломатическое число графа. Однако, для систем важна ориентация связей и мера сложности как цикломатическое число не объективна. Поэтому Мак-Кейбом [3] предложен конструктивный прием (внесение в граф виртуальных дуг), позволяющий сделать ориентированный граф связным и определить меру сложности снова как цикломатическое число. Благодаря своей простоте определения, мера сложности Мак-Кейба нашла широкое применение в системах программирования. Заметим, что мера Мак-Кейба не полностью учитывает сложность информационных систем, не различая вложенность путей с обратными связями.

Пусть переменные  $x_i \in X$  системы приняты за вершины графа, а отношениям  $\beta_k \in B$  между переменными соответствуют связям графа. Тогда связанная последовательность переменных

системы  $\bar{x}_i = (x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_n})$  образует путь на графе. Обозначим через  $st(x_i)$  степень вершины  $x_i$  графа и введем меру связности пути  $\bar{x}_i$ .

**Определение 12.** Мерой связной сложности пути  $\mu(\bar{x}_i)$  на структурном графе системы назовем  $\min_j \{st(x_{i_j})\}$ .

Показатель сложности пути  $\mu(\bar{x}_i)$  определяет отношение на структурном графе системы, которое задает предпорядок на структуре системы. Предпорядок сложности путей позволяет выделить в структуре системы классы  $K_t$  с одинаковыми показателями сложности  $t$ . Таким образом, связная сложность системы характеризуется  $t$ -степенным вектором  $K = (K_0, K_1, \dots, K_{\max})$ .

**Определение 13.** Мерой связной сложности структуры (2) системы  $S$  назовем показатель

$\mu(C) = \sqrt{\sum_{i=0}^{\max} |K_i|^2}$ , в котором  $|K_i|$  – объем  $i$ -го класса.

Продemonстрируем применение введенной меры связной сложности на структурных графах заданных матрицами смежности  $M_1$  и  $M_2$ .

$$M_1 = \begin{array}{c|cccccc} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 \\ \hline x_1 & & 1 & & & & \\ x_2 & & & 1 & & & \\ x_3 & & & & 1 & & \\ x_4 & & & 1 & & 1 & \\ x_5 & & 1 & & & & 1 \\ x_6 & & & & & & \end{array},$$

$$M_2 = \begin{array}{c|cccccc} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 \\ \hline x_1 & & 1 & & & & \\ x_2 & & & 1 & & & \\ x_3 & & 1 & & 1 & & \\ x_4 & & & & & 1 & \\ x_5 & & & & 1 & & 1 \\ x_6 & & & & & & \end{array}.$$

Так как структурные графы имеют по два контура (по матрице  $M_1$  один контур вложен в другой, а по матрице  $M_2$  контуры расположены на графе последовательно), то мера сложности систем по Мак-Кейбу одинакова.

Для введенной определением 13 меры сложности, несмотря на то, что в обеих структурах

степенные векторы состоят из одинаковых классов  $K_0, K_1, K_2$  и  $K_3$ , но объемы классов  $K_1$  и  $K_3$  в структурах различны. Так для графа с матрицей смежности  $M_1$  класс  $K_1$  состоит из множества путей

$$\{(x_1), (x_1, x_2), (x_1, x_2, x_3), \dots, (x_6)\},$$

объем которого равен 35 и класс  $K_3$  образован множеством путей

$$\{(x_2), (x_2, x_3), \dots, (x_5, x_2, x_3, x_4, x_5)\}$$

таких, что  $|K_3| = 44$ . Для другой матрицы, соответственно, имеем объемы  $|K_1| = 31$  и  $|K_3| = 29$ . Следовательно, заданные структурные графы систем характеризуются различными степенными векторами и мера связанной сложности для первого графа больше, чем для второго, что естественно.

В случае сложных пространственных связей на структурную графическую конструкцию следует смотреть как на симплициальный комплекс и воспользоваться обобщением рассмотренной методики для определения связной сложности на этих комплексах [2].

## Выводы

1. Использование в работе единого подхода к системе позволило задать согласованную с ней структуру и ввести структуру показателя сложности системы.

2. Проведены исследования системы над согласованной структурой. В частности, рассмотрены подструктуры системы, их интерпретация и порождение выходов, образующие классы структур и критерий существования образующего класса.

3. Введенная структурная сложность системы является универсальной и определяется через ее подструктуры, множество операций на них и аксиоматику правил сигнатуры и сложности.

4. Рассмотрены примеры построения весовой и связной мер сложности системы. Показано, что введенный степенной вектор для определения меры связной сложности полнее отражает сложность систем-программ, чем мера Мак-Кейба.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы [Текст] : монография / М. Месарович, Я. Такахара. – М.: Мир, 1978. – 311 с.
2. Касти, Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы [Текст] : монография /

- Дж. Касти. – М.: Мир, 1982. – 216 с.
3. Евстигнеев, В. А. Топологическая сложность программ: [Текст] / В. А. Евстигнеев, Г. П. Кожевникова. – М., 1989. – 30 с. – (Препринт / АН СССР. Ин-т точной механики и выч. техники. Новосиб. фил.; № 23).
  4. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику [Текст] : монография / У. Р. Эшби. – М.: ИЛ, 1959. – 432 с.
  5. Нечипоренко, В. И. Структурный анализ систем (эффективность и надежность) [Текст] : монография / В. И. Нечипоренко. – М.: Сов. радио, 1977. – 216 с.
  6. Atkin, R. H. Mathematical structure in human affairs [Text] : monograph. – London: Heinemann, 1974. – 212 p.
  7. Босов, А. А. Функции множеств и их приложение [Текст] : монография / А. А. Босов. – Днепродзержинск: Изд. дом «Андрей», 2007. – 182 с.
  8. Ільман, В. М. Формальні структури та їх застосування [Текст] : монографія / В. М. Ільман, В. В. Скалозуб, В. І. Шинкаренко. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. – 205 с.
  9. Singh, D. An Overview of the Applications of Multiset [Text] / D. Singh, A. M. Ibrahim, T. Yohanna, J. Singh // Novi Sad Journal of Mathematics. – 2007. – Vol. 37, No. 2. – P. 73–92.
  10. Syropoulos, A. Mathematic of Multisets [Текст] / A. Syropoulos // Multiset Processing: Mathematical, Computer Science and Molecular Computing Points of View, Number 2235 in Lecture Notes in Computing Science. – Berlin: Springer-Verlag, 2001. – P. 347–358.

Поступила в редколлегию 15.11.2011.

Принята к печати 23.11.2011.

А. А. БОСОВ, В. М. ІЛЬМАН

## СТРУКТУРНА СКЛАДНІСТЬ СИСТЕМ

Введено структуру складності системи, за якою визначено зв'язну складність систем.

*Ключові слова:* система, структура, структурна складність, вимір складності

A. A. BOSOV, V. M. IL'MAN

## STRUCRURAL COMPLEXITY OF SYSTEMS

The structure of system complexity is introduced; and the linked complexity of systems is determined according to it.

*Keywords:* system, structure, structural complexity, measure of complexity

Д. В. ВОЙТИКОВ (НПФ систем автоматизации и управления «Винк», Днепропетровск)

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ СХЕМЫ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены методы экспертных систем для автоматизации оперативного контроля состояния схемы контактной сети тягового электроснабжения железной дороги. Обозначены направления исследований по формированию структуры базы знаний.

Ключевые слова: экспертные системы, контактная сеть, электроснабжение.

### Введение

В настоящее время на сети железных дорог Украины наиболее широко распространены и находятся в эксплуатации АРМы участковых энергодиспетчеров (АРМ-ЭЧЦ) системы ДИУС «ИРА» [5], разработанной научно-производственной фирмой систем автоматизации и управления «ВИНК» г. Днепропетровск (около 40 АРМ-ЭЧЦ).

Все функции участкового энергодиспетчера, кроме принятия решений практически полностью автоматизированы. Существующие АРМ-ЭЧЦ работают по следующей модели: энергодиспетчер принимает решение и выдает команды и задания, АРМ-ЭЧЦ в автоматизированном или автоматическом режиме выполняет команды и задания в условиях определенности, обеспечивая достаточный уровень безопасности [4]. Такая модель успешно работает в условия определенности и плановых переключений, что позволяет обеспечить уровень автоматизации более 80%. Однако в аварийных, вынужденных режимах работы контактной сети тягового электроснабжения и в условиях неопределенности такая модель работает неэффективно или вообще не работает.

В настоящее время актуальной задачей автоматизации работы участкового энергодиспетчера является автоматизация принятия решений в аварийных, вынужденных режимах и в условиях неопределенности. Принимаемые энергодиспетчером решения в таких условиях могут быть ошибочными или далеки от оптимальных, могут повлечь за собой усугубление аварии, значительную задержку поездов, повреждение контактной сети или гибель оперативно-ремонтного персонала. Усугубляющими факторами в этих ситуациях является дефицит времени и возникающая у энергодиспетчера операционная или стрессовая напряженность

[4]. При этом, первоочередной задачей при принятии решений энергодиспетчером является оперативная оценка состояния схемы контактной сети и наличие питания на электрических секциях в зависимости от положения коммутируемых электрических связей.

Анализ оперативной работы энергодиспетчера и процесса оперативного управления [4] показывает, что поставленная задача может быть наиболее эффективно решена методами искусственного интеллекта. С помощью этих методов можно проверять, является переключение санкционированным или нет и контролировать правильность переключений в контактной сети.

Настоящая работа посвящена автоматизации процесса принятия решений в существующих АРМ-ЭЧЦ системы ДИУС «ИРА» [6] методами экспертных систем.

Целью данной работы является повышение эффективности и достоверности энергодиспетчерского контроля за состоянием схемы контактной сети.

### Применение методов экспертных систем

Проведенный анализ существующих методов искусственного интеллекта показал, что наиболее эффективными и надежными для энергодиспетчерского управления являются методы экспертных систем [1][2]. Экспертные системы состоят из базы знаний и машины логического вывода. База знаний состоит из набора фактов и правил для их обработки. Машина логического вывода определяет, каким фактам соответствуют правила, располагает выполняемые правила по приоритетам и выполняет правило с наивысшим приоритетом. Наличие у экспертной системы базы знаний и машины логического вывода обеспечивают выполнение

следующих основных требований энергодиспетчерского управления:

- возможность определения правил в полном соответствии с правилами эксплуатации контактной сети и правилами техники безопасности;
- достоверность полученных заключений;
- полнота полученных заключений;
- наличие средств объяснения;
- близость к методам, используемым энергодиспетчером, основанным на знаниях, опыте и логическом выводе;
- масштабируемость предметной области;
- независимость от сложности схемы контактной сети тягового электроснабжения;
- достаточно высокое быстродействие.

База знаний экспертной системы хранится отдельно от всего комплекса программ АРМа

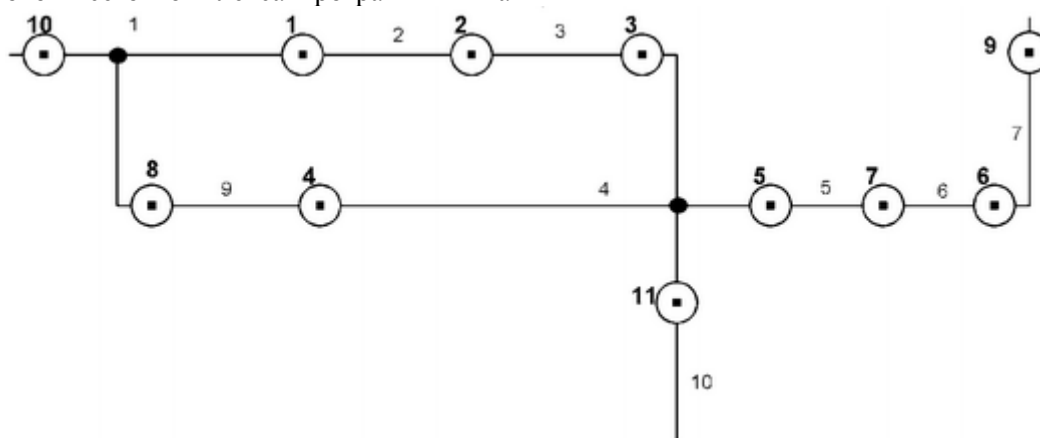


Рис. 1. Графическая модель фрагмента схемы контактной сети

Для формализации схем контактной сети и формирования базы знаний проведен общий анализ схем на пяти участках электроснабжения с крупными узловыми станциями (на Приднепровской и Южной железных дорогах). Редактор схем АРМа ЭЧЦ был доработан для обеспечения автоматической разбивки схем на секции. Идентифицированы и классифицированы основные известные элементы схемы контактной сети:

- секции;
- коммутационные электрические связи КЭС (автоматы, разъединители, выключатели, снимаемые шунты);
- электрифицированные железнодорожные пути;
- изоляторы;
- воздушные промежутки;
- стрелки и съезды.

Для секций и коммутационных электрических связей сформированы структуры представления в базе знаний экспертной системы.

ЭЧЦ. Наполненная и проверенная база знаний может тиражироваться на другие энергодиспетчерские участки электроснабжения.

### Предметная область экспертной системы и исходные данные

Источником информации для формирования базы знаний экспертной системы в рамках решаемой задачи является схема контактной сети тягового электроснабжения. АРМ ЭЧЦ использует схему, подготовленную в редакторе, который входит в состав АРМа. Схема представляет собой набор известных фрагментов – графических представлений элементов контактной сети.

На рис. 1 представлена графическая модель фрагмента схемы контактной сети.

Анализ схем показал, что каждая такая схема АРМ ЭЧЦ содержит порядка 300...1000 разъединителей и 240...700 электрических секций. Чтобы сократить количество ошибок при вводе схемы, в графическом редакторе АРМ ЭЧЦ были разработаны дополнительные функции для анализа схемы и выявления возможных графических и логических ошибок и неточностей.

### Взаимодействие АРМа ЭЧЦ с экспертной системой

Одним из требований к экспертной системе энергодиспетчера является минимизация диалога с человеком. Для этого экспертная система должна максимально получать оперативную информацию от АРМа ЭЧЦ. Это одна из важных отличительных особенностей экспертной системы энергодиспетчера. АРМ автоматически получает сигнализацию от средств телемеханики и передает в экспертную систему изменившуюся информацию.

Диалог диспетчера с экспертной системой также ведется через АРМ ЭЧЦ. Энергодиспетчер дает приказы АРМу на включение, отключение, блокировку на переключение разъединителей. Вся информация, произведенная в результате таких действий, поступает в базу знаний экспертной системы. В дальнейшем разрабатываемая экспертная система, на основании полученных фактов, будет формировать заключение о допустимости или недопустимости действий энергодиспетчера. Заключение экспертной системы основывается на анализе всей схемы контактной сети, что гарантирует достоверность заключения. Благодаря такому контролю со стороны экспертной системы, энергодиспетчер получит информацию о возможных последствиях ошибочного действия и может отказаться от утверждения команды.

Обмен данными между АРМом ЭЧЦ и экспертной системой осуществляется через файл.

### **Формирование базы знаний**

Для создания базы знаний выбран язык CLIPS, разработанный в Космическом центре NASA. При разработке этого языка ставилась задача обеспечить полную переносимость и простую интеграцию с внешними системами [1]. Эти требования и стали ключевыми при выборе инструментария для стыковки с АРМом ЭЧЦ. В комплект CLIPS входит динамически подключаемая библиотека, которая была использована для стыковки АРМа ЭЧЦ с экспертной системой.

В рамках разработки структуры базы знаний проводились исследования влияния структуры базы знаний на достоверность заключений. Исследования показали, что база знаний чувствительна к выбору структуры и требует понимания происходящих внутри процессов от инженера по знаниям. Кроме того способ описания правил на языке CLIPS может сильно повлиять на производительность системы и на объем использования оперативной памяти.

Анализ показал, что язык CLIPS [1] предоставляет несколько способов по формированию структуры базы знаний:

- простые правила с заранее определенными приоритетами;
- правила с дополнительными условиями, исключающими конфликты между правилами;
- правила, описанные с учетом выбранной стратегии разрешения конфликтов;
- группировка правил в модули и управление последовательностью выполнения правил,

используя специальные механизмы языка CLIPS.

Проведенные экспериментальные исследования влияния структуры базы знаний на достоверность заключения показали, что достоверность заключения зависит от порядка выполнения правил машиной логического вывода. На этот порядок можно повлиять путем установки приоритет правил, выбором стратегии разрешения конфликтов, устранение конфликтов с помощью дополнительных условий и группировкой правил в модули. Проведенные исследования выявили следующие особенности:

1) простые правила с заранее определенными приоритетами удобно применять в простых экспертных системах, в которых основными требованиями выступают быстроедействие и простота. Приоритеты правил в такой структуре делают базу знаний похожей на программу на алгоритмическом языке, где указывается порядок, в котором должны выполняться правила;

2) правила с дополнительными условиями, исключающими конфликты и определяющие порядок выполнения правил, удобно применять в системах с небольшим их количеством. Основное условие определяет, в каком случае сработает правило, а дополнительные условия определяют приоритет по отношению к другим правилам;

3) правила, описанные с учетом выбранной стратегии разрешения конфликтов, подходят для систем с очень малым количеством правил, сложны в разработке и требуют тщательной проверки после завершения разработки. Как показали исследования, применяя этот способ, есть большая вероятность совершить ошибку;

4) группировка правил в модули позволяет создавать сложные экспертные системы с большим количеством правил. Этот подход позволяет выделять правила по их назначению, например, одна группа правил определяет разрыв в цепи питания и составляет список отключившихся секций, другая группа следит за включением разъединителей и составляет список включившихся секций. Внутри модуля правила также могут конфликтовать между собой, поэтому нужно применять один из трех вышеперечисленных способов разрешения конфликтов или их комбинацию. Данный подход требует от инженера по знаниям определения порядка запуска правил, а появившиеся новые знания требуют пересмотра этого порядка.

## Проведение испытаний

Проведены испытания производительности работы экспертной системы на реальных схе-

мах контактной сети. Испытания проводились на компьютере с процессором Intel® Core 2 Duo 2.2 ГГц. и 1 Гб ОЗУ. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Время обработки схем

Количество разъединителей	Количество секций	Состояние разъединителей		Время обработки, с			
		Отк.	Вкл.	Загрузка	Обработка	Поиск отключенных секций	Всего
531	537	54	477	0,031	0,063	0,062	0,156
528	418	70	458	0,031	0,078	0,031	0,140
367	239	31	336	0,016	0,062	0,031	0,109
1 066	705	178	888	0,031	0,156	0,078	0,265
341	239	48	293	0,015	0,141	0,015	0,171

Система показала достаточное для решения поставленной задачи быстродействие.

Были проведены испытания системы при использовании механизма объяснения логического вывода. Исследования показали, что включение этого механизма существенно замедляет работу на этапе инициализации. Для проведения испытаний каждому правилу было назначено по две строки объяснений. На выполнение самой большой схемы ушло 3,3 секунды. Был сформирован файл отчета размером 1,2 Мб, содержащий 17822 строки. В штатном режиме, после загрузки будут выполняться только те правила, под условия которых подпадают изменившиеся факты, поэтому время, затраченное на запись объяснений, будет заметно меньше.

Пригодность базы знаний экспертной системы во многом зависит от знаний эксперта предметной области и правильной интерпретации знаний инженером по знаниям. Иногда различные эксперты расходятся во мнениях по поводу правильности того или иного способа действий. Реализовав знания одного из них, инженер по знаниям рискует получить недоверие к экспертной системе со стороны другого эксперта. Это следует учитывать при проектировании базы знаний и работать с группой экспертов при применении экспертных методов в энергодиспетчерском управлении.

Важным аспектом успешной эксплуатации экспертной системы является возможность ее обучения. Проблема состоит в том, чтобы формализовать знания, т.е. перевести знания на язык описания базы знаний. На текущий момент это может только инженер по знаниям. Чтобы добавить новое правило, инженер должен тщательно изучить взаимодействие новых

правил с уже существующими правилами в базе знаний. На сегодняшний день для поставленной задачи еще не разработаны средства, позволяющие удобно наполнять базу знаний без учета ее структуры. Кроме того, из проведенных исследований стало очевидно, что способ формирования базы знаний значительно влияет на сложность обучения экспертной системы.

## Выводы

1. Применение методов экспертной системы совместно с АРМом энергодиспетчера повышают эффективность управления тяговым электроснабжением контактной сети, так как ЭС может быстро проанализировать состояние схемы контактной сети и сообщить энергодиспетчеру об обнаруженных нарушениях.
2. Экспертная система нуждается в дальнейшем развитии для реализации контроля над действиями диспетчера с целью предотвратить его ошибочные действия.
3. Достоверность заключения экспертной системы зависит от порядка выполнения правил. На этот порядок можно повлиять путем установки приоритетов, используя стратегии разрешения конфликтов и группируя правила в модули.
4. Развитие экспертной системы во многом зависит от выбора структуры базы знаний, что требует дальнейших исследований в этой области.
5. Для экспертной системы, применяемой в области управления тяговым электроснабжением, важным аспектом является ее обучение. Дальнейшие исследования



должны быть направлены на поиск эффективных способов обучения экспертной системы.

6. Методы экспертной системы позволяют делать достоверное заключение за приемлемо короткий промежуток времени, даже при очень больших и сложных схемах контактной сети.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джарратано, Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование [Текст] / Д. Джарратано, Г. Райли : пер. с англ. – М. : изд. дом «Вильямс», 2006. – 1152 с.
2. Джексон П. Введение в экспертные системы Introduction to Expert Systems [Текст] / П. Джексон. – 3-е изд. – М. : изд. дом «Вильямс, 2001. – С. 624. – ISBN 0-201-87686-8.
3. Субботін, С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень [Текст] : навчальний посібник / С. О. Субботін. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2008. – 341 с. – ISBN 978-966-7809-87-4

4. Иванов, В. В. Оперативное управление участком энергоснабжения электрифицированных железных дорог [Текст] / В. В. Иванов, Е. Е. Бакеев. – М. : Транспорт, 1986. – 132 с.

5. Иванов, В. В. Многоуровневая интегрированная система энергодиспетчерского управления и телеконтроля тяговым электроснабжением железной дороги [Текст] / В. В. Иванов // Сб. тр. 7<sup>th</sup> International scientific conference of railway experts. Югославия. 4-6 октября 2000. – С. 94-97.

6. Иванов, В. В. Создание и результаты внедрения энергодиспетчерской многоуровневой информационно-управляющей системы нового поколения с применением современных информационных и компьютерных технологий [Текст] / В. В. Иванов // 67 международ. науч.-практ. конференция «Проблемы и перспективы развития ж.-д. транспорта». – Д., 2007. – С. 109.

7. Шикин, Е. В. Компьютерная графика, полигональные модели [Текст] / Е. В. Шикин, А. В. Борисков. – М. : Диалог МИФИ, 2000. – 461 с. ISBN 5-86404-139-4

Поступила в редколлегию 02.09.2011.

Принята к печати 08.09.2011.

Д. В. ВОЙТИКОВ

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ СХЕМИ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦІ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

Розглянуто методи експертних систем для автоматизації оперативного контролю стану схеми контактної мережі тягового електропостачання залізниці. Позначені напрямки досліджень по формуванню структури бази знань.

Ключові слова: експертні системи, контактна мережа, електропостачання.

D. V. VOYTIKOV

## AUTOMATION OF OPERATIVE CONTROL OF THE STATE OF CHART OF CONTACT NETWORK OF HAULING ELEKTROSABZHENIYA OF RAILWAY ON BASIS OF METHODS OF CONSULTING MODELS

It is considered the methods of expert systems for automation of the operative control of a condition of the scheme of a contact network of traction electrosupply of the railway. It is designated the directions of researches on formation of structure of the knowledge base.

Keywords: expert systems, contact network, electrosupply.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЕЗДНОЙ РАБОТОЙ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Приведено описание автоматизированной системы разработки прогнозного графика движения поездов. Рассмотрены назначение, состав и структура системы. Установлены требования к входной информации. Регламентированы процедуры автоматического построения и диспетчерских корректировок прогнозного графика движения поездов.

*Ключевые слова:* график движения поездов, диспетчерские корректировки, автоматическое построение

### Введение

Комплексная автоматизация диспетчерского управления является одним из основных направлений повышения качества перевозочного процесса. Частью этой проблемы является автоматизация регулирования движения поездов на перегонах и станциях. С этой целью на Белорусской железной дороге создается Комплексная система управления поездной работой (КС УПР БЧ).

Применение современных устройств СЦБ существенно повышает производительность труда и снижает эксплуатационные расходы, но не решает в полной мере проблемы автоматизации регулирования движения поездов. Одной из основных причин этого является то обстоятельство, что все команды по приготовлению маршрутов и открытию сигналов на промежуточных станциях вводятся диспетчером вручную. При этом диспетчер руководствуется нормативным графиком движения поездов, а в случаях отклонения движения поездов от графика должен сам разрабатывать варианты пропуска поездов и их реализовывать.

Для снижения загрузки диспетчерского аппарата, с целью повышения безопасности и качества принятия управленческих решений целесообразно решение перечисленных выше задач возложить на программно-технический комплекс. На диспетчера в этом случае возлагаются функции централизованного управления движением поездов, творческой корректировки разработанных графиков и контроля за реализацией намеченных решений.

Первоочередной задачей, связанной с автоматизацией управления движения поездов следует считать разработку прогнозных графиков движения поездов на 3 часа. Для ее решения необходима разработка автоматизированной системы «Прогнозный график движения поездов» (АС ПГДП), которая является составной частью КС УПР БЧ.

### 1. Общее описание системы

АС ПГДП предназначен для выдачи на АРМ ДНЦ прогнозного графика движения поездов (ПГДП) на период текущего планирования поездной работы.

Назначением подсистемы является:

- разработка ПГДП пассажирских и пригородных поездов с учетом сезонности и дней недели;
- разработка ПГДП с учетом предоставления «окон» и действующих предупреждений;
- разработка ПГДП для заданных размеров движения грузовых поездов;
- разработка ПГДП с учетом реальных времен готовности поездов к отправлению с технических станций;
- формирование ПГДП;
- отображение ПГДП в АРМ ДНЦ средствами ГИД «Неман»;
- ручная корректировка ПГДП;
- анализ ПГДП и расчет показателей.

ПГДП является частью КС УПР БЧ и в процессе функционирования осуществляется информационный обмен со следующими подсистемами:

- график исполненного движения (ГИД «Неман»);
- увязка составообразования с графиком движения поездов (УСОГДП);
- поездная модель дороги;
- локомотивная модель дороги;
- бригадная модель дороги;
- автоматизированная система разработки нормативных и вариантных графиков движения поездов АС «Графист»;
- подсистема сбора заявок и выдачи предупреждений АС ПРЕД;
- АРМ ДНЦ ДЦ «Неман»;
- подсистема эталонной нормативно-справочной информации (ПЭ НСИ);

Задачи АС ПГДП группируются в шесть комплексов.

1. Автоматическое построение ПГДП;
2. Построение ПГДП по актуальному ГДП;
3. Корректировка ПГДП;
4. Отображение ПГДП в ГИД «Неман»;
5. Анализ ПГДП;
6. Вывод информации по ПГДП.

При информационном обмене ПГДП с другими системами используется централизованная база данных ИАС ПУР ГП, в которой хранится вся информация подсистемы.

Информационный обмен между задачами в ПГДП организован на основе сортировки, группировки и корректировки информации центральной базы данных.

Задача «Прогнозный график движения поездов» решается в Центре управления перевозками службы перевозок Белорусской железной дороги при текущем планировании поездной работы.

Ответственным за разработку прогнозного графика движения поездов является поездной диспетчер (ДНЦ) в границах соответствующего диспетчерского круга.

Доступ к разработанным ПГДП обеспечивается средствами ГИД «Неман». Перечень специалистов, имеющих доступ к просмотру ПГДП, определяется должностными инструкциями работников ЦУП.

Периодичность планирования поездной работы определяется технологией эксплуатационной работы Центра управления перевозками службы перевозок Белорусской железной дороги (п. 6.4.3). План поездной работы должен быть разработан не позднее, чем за 2 часа до начала периода планирования. ПГДП при 3-х часовом периоде планирования разрабатывается 8 раз в сутки.

Продолжительность решения задачи «Разработка ПГДП» с учетом его возможной ручной корректировки не должна превышать 15 минут.

## **2. Автоматическое построение ПГДП**

При автоматизированной разработке ПГДП используются два вида схем расчета:

- при уровне занятости ниток нормативного ГДП свыше 70 % – производится привязка поезда к ближайшей свободной нитке нормативного ГДП с учетом категории и дальности следования поезда;
- при уровне занятости ниток нормативного ГДП менее 70 % – используется алгоритм автоматического построения ПГДП.

Выбор схемы расчета производится при настройке системы на конкретном участке.

При реализованном автоматическом расчете ПГДП на участке пользователю (ДНЦ) предоставляется возможность выбора схемы расчета.

Построение ПГДП по актуальному графику производится путем привязки поезда к ближайшей свободной нитке нормативного ГДП с учетом категории и дальности следования поезда. Актуальное расписание движения пассажирских и пригородных поездов передается из системы «Актуальное расписание движения поездов» АР ДП.

Для целей ведения актуального расписания движения поездов при формировании нормативного графика необходимо предусматривать дополнительные признаки для пассажирских и пригородных поездов «периодичность курсирования».

Выделяются следующие периодичности:

- сезонная (летняя, зимняя круглогодичная, по приказу Н);
- по четным или по нечетным дням;
- по дням недели.

Для учета периодичностей необходимо в информации о поездах организовать три поля определяющих периодичность курирования каждого поезда.

На основании вариантного графика движения поездов и периодичности курсирования, устанавливаются расписание движения пассажирских и грузовых поездов на плановый период (АС «Графист»). В дальнейшем эти расписания передаются в АР ДП и служат основой для разработки вариантных ГДП.

Актуальное расписание движения грузовых поездов формируется на основе сведений о наличии и продолжительность «окон».

При построении реализуются следующие функции:

- определение времени готовности состава к отправлению;
- определение времени готовности локомотива и локомотивной бригады к отправлению;
- ручной ввод информации о готовности поезда к отправлению;
- ручная корректировка времени готовности состава к отправлению;
- формирование актуального расписания движения поездов на плановый период;
- привязка к ниткам графика поездов, находящихся в движении;
- привязка к ниткам графика готовых к отправлению поездов.

ПГДП разрабатывается в следующем порядке.

1. Устанавливается наличие и продолжительность «окон» и действующих предупреждений на перегонах участка  $\{t_{\text{окон}}\}_j$  на период времени  $T_{\text{план}}$ .

2. С учетом сезона, дня месяца и недели устанавливаются нитки нормативного графика, занятые пассажирскими и пригородными поездами  $\{I_{\text{пасс}}^{\text{норм}}\}_j$  (в том числе и дополнительно назначенными поездами).

3. Определяются нитки нормативного графика, занятые находящимися в движении грузовыми поездами и поездами, следующими по «твердым» ниткам графика  $\{I_{\text{гр}}^{\text{норм}}\}_j$ .

4. На основании данных системы УСОГДП определяется категории готовых к отправлению поездов.

Готовые к отправлению поезда ранжируются по приоритету.

В первую очередь выполняется привязка к ниткам графика поездов с большим приоритетом (числовое значение минимальное) к ближайшим более поздним ниткам графика. Т.е. поезд может быть привязан к нитке в том случае, если время готовности состава к отправлению меньше либо равно времени отправления поезда по нитке графика.

В случае если отсутствует нитка требуемого приоритета (например, для отправления ускоренного поезда), выбирается свободная нитка с более низким приоритетом.

После привязки поездов к ниткам графика поездов с более высоким приоритетом, выполняется привязка поездов с более низким приоритетом.

В случае если количество готовых к отправлению поездов в прогнозный период превышает количество свободных ниток, выполняется привязка готовых поездов к ниткам графика вне (позже) прогнозного периода.

Для автоматического построения ПГДП используется алгоритм, использующий функцию запрета отправления на перегон или прибытия на станцию в течение межпоездного интервала  $I$  более одного поезда.

Для разработки ПГДП требуются следующие исходные данные:

- перегонные времена хода поездов по участкам;
- дополнительное время, затрачиваемое на разгон поезда;
- дополнительное время, затрачиваемое на

замедление поезда;

- дополнительное время, связанное с наличием предупреждений;
- значения станционных и межпоездных интервалов.
- времена плановых стоянок поездов;
- наличие приемо-отправочных путей на станциях и их характеристики;
- прогнозные времена отправления грузовых поездов со станций;
- характеристики поезда (категория поезда, длина, серия локомотива, наличие вагонов с опасными и негабаритными грузами, наличие порожних вагонов в составе поезда);
- актуальный график движения пассажирских и пригородных поездов.

В ПГДП, действующем в течение периода  $T_{\text{план}}$ , могут изменяться как количество ниток графика  $K_{\text{нит}}$ , так и времена хода поездов по перегонам для отдельных ниток графика  $\|I_{\text{гр}}^i\|$ .

На параметр  $K_{\text{нит}}$  оказывают влияние обеспечение ниток локомотивами и локомотивными бригадами, число и период действия окон, выделенных для ремонтных и строительномонтажных работ на участках и перегонах направления, наличие в период  $T_{\text{план}}$  пассажирских и пригородных поездов, план поездообразования на ограничивающих участок технических станциях.

Времена хода поездов по перегонам  $\|I_{\text{гр}}^i\|$  зависят от действующих в период  $T_{\text{план}}$  временных ограничений скорости движения поездов, веса составов поездов, количества и серии поездных локомотивов, необходимости остановок грузовых поездов для скрещения и обгона поездами, наличия в составе порожних вагонов и подвижного состава, требующего особых условий пропуска.

В исходных данных для разработки ПГДП можно выделить данные, которые являются результатами расчета поездообразования по станциям полигона:

- занятость ниток графика движения поездов  $\{I_{\text{нит}}^{\text{зан}}\}_j$  находящимися в движении поездами, следующими по «твердым» ниткам (ниткам, корректировка которых запрещена);
- моменты времени готовности поездов к отправлению  $\{T_{N_{i,q}}^{\text{гот отпр}}\}_j$ ;

– параметры прогнозируемых к отправлению грузовых поездов  $\{m_{N_{i,q}}\}$ .

Укрупненная схема разработки ПГДП приведена на рис. 1.

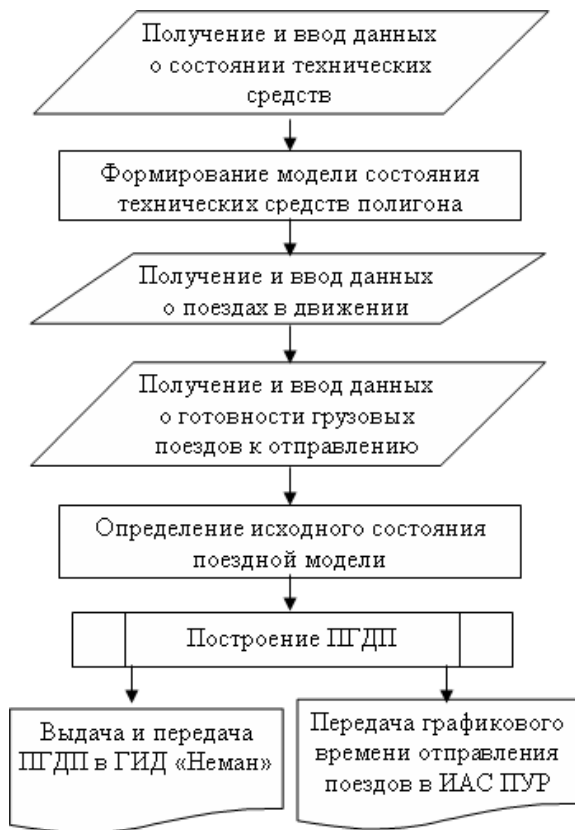


Рис. 1. Укрупненная схема разработки ПГДП

ПГДП разрабатывается в следующем порядке.

1. Устанавливается наличие и продолжительность «окон» и действующих предупреждений на перегонах участка  $\{t_{\text{окон}}\}_j$  на период времени  $T_{\text{план}}$ .

2. С учетом сезона, дня месяца и недели устанавливаются нитки нормативного графика, занятые пассажирскими и пригородными поездами  $\{I_{\text{пасс}}^{\text{норм}}\}_j$  (в том числе и дополнительно назначенными поездами).

3. Определяются нитки нормативного графика, занятые находящимися в движении грузовыми поездами и поездами, следующими по «твердым» ниткам графика  $\{I_{\text{гр}}^{\text{норм}}\}_j$ .

4. На основании плана поездообразования устанавливаются времена готовности поездов к отправлению  $\{T_{N_{i,q}}^{\text{гот отпр}}\}_j$  (данные передаются из подсистемы УСОГДП).

5. Для установленного варианта поездообразования определяются характеристики прогнозируемых к отправлению поездов. К таким характеристикам относятся:

- условная длина поезда, вагонов –  $m$ ;
- масса брутто, тонн –  $Q$ ;
- верхняя негабаритность – ВНГ;
- боковая негабаритность – БНГ;
- наличие вагонов с опасными грузами – ОГ;
- наличие порожних вагонов в составе поезда – ПР.

Характеристики поезда определяются средствами УСОГДП и передаются в ПГДП.

6. На основании характеристик поезда, серии локомотива и наличия действующих предупреждений определяются перегонные времена хода поездов  $\|t_{\text{гр}}^i\|$ .

Перегонные времена хода принимаются из таблиц либо определяются тяговыми расчетами. На первом этапе реализации подсистемы ПГДП перегонные времена хода принимаются на основании таблиц следующей формы (табл. 1).

Таблица 1

Значения перегонных времен хода в зависимости от массы состава и серии локомотива

Масса состава	Серия локомотива				
	$M1$	$M2$	$M3$	...	$M_i$
$Q1$	$t_{11}$	$t_{21}$	$t_{31}$		$t_{i1}$
$Q2$	$t_{12}$	$t_{22}$	$t_{32}$		$t_{i2}$
$Q3$	$t_{13}$	$t_{23}$	$t_{33}$		$t_{i3}$
...					
$Q_i$	$t_{1i}$	$t_{2i}$	$t_{3i}$		$t_{ii}$

Таблицы перегонных времен хода формируются на стадии разработки нормативного графика движения поездов в отдельности для каждого перегона.

7. Перегонные времена хода поездов и времена готовности поездов к отправлению передаются в подсистему «построение ПГДП».

8. На основании полученных данных разрабатывается ПГДП на период  $T_{\text{план}}$ . При разработке ПГДП учитываются следующие ограничения:

– не допускается изменение графика движения пассажирских и пригородных поездов;

– не допускается отправление с технической станции грузового поезда ранее времени его готовности к отправлению, т. е.

$$T_{N_{i,q}}^{\text{гот отпр}} \leq T_{N_{i,q}}^{\text{отпр}};$$

- не допускается остановка длинносо-  
ставных поездов на промежуточных станциях  
для обгона или скрещения, если полезная длина  
приемо-отправочных путей меньше длины по-  
езда. То есть необходимо соблюдения условия  
 $L_{\text{полез}}^{\text{пр.отпр}} \geq L_{\text{поезда}}$ ;

- не допускается остановка поездов с не-  
габаритными грузами и ВМ на неспециализи-  
рованных путях промежуточных станций.

9. Разработанные ПГДП по участкам поли-  
гона передаются в АС ГИД «Неман».

Расчет производится с учетом взаимного  
влияния станций участка.

При известном исходном состоянии станций  
участка (занятость путей, времени стоянок)  
схема позволяет определить возможность при-  
бытия (проследования) поезда на соседнюю  
станции. При отсутствии возможности прибы-  
тия определяется время, когда данное событие  
может произойти и корректируется время от-  
правления с предыдущей станции. Если возни-  
кает ситуация, когда на одну станцию одновре-  
менно прибывает два и более поездов, порядок  
их прибытия и корректировки времени прибы-  
тия определяются приоритетом поезда.

В связи с этим, вначале выполняется про-  
кладка поездов с более высоким приоритетом, а  
затем, в оставшиеся промежутки времени – по-  
ездов с меньшим приоритетом.

Автоматическое построение ПГДП и по-  
строение ПГДП по актуальному расписанию  
прекращается при следующих условиях:

- отсутствуют исходные данные, необхо-  
димые для решения задачи;
- на плановом поездном участке произош-  
ла аварийная ситуация, исключая пропуск  
поездов в плановый период или в часть плано-  
вого периода;
- невозможность обеспечения пропуска  
поездов по графиковым временам хода;
- нарушение нормальной работы устройств  
СЦБ и связи;
- невозможность пропуска заданного коли-  
чества поездов по участку (наличная пропуск-  
ная способность меньше потребной).

Решение об использовании подсистемы  
ПГДП для разработки графика на плановый пе-  
риод принимает ДНЦ в зависимости от склады-  
вающейся поездной ситуации и иных условий.

ДНЦ имеет право произвести корректировку  
нормативов ГДП, исходных данных и разрабо-  
танного ПГДП, если это необходимо для вы-  
полнения плана поездной работы и обеспече-  
ния безопасного пропуска поездов.

### 3. Диспетчерская корректировка ПГДП

Корректировка ПГДП производится на ра-  
бочем месте ДНЦ средствами ГИД «Неман».

При корректировке реализуются следующие  
функции:

- добавление поезда и его прокладка в  
вариантном графике по установленным пере-  
гонным временам хода;
- добавление поезда и его прокладка в  
вариантном графике по новым перегонным  
временам хода;
- удаление поезда из прогнозного графи-  
ка движения поездов;
- параллельный перенос всей нитки;
- изменение времени движения по пере-  
гону с параллельным переносом на последую-  
щих перегонах (по направлению движения по-  
езда);
- изменение времени движения по пере-  
гону с параллельным переносом на предыду-  
щих перегонах (по направлению движения по-  
езда);
- изменение времени движения по двум  
прилегающим перегонам (без параллельного  
переноса);
- создание, удаление, изменение остано-  
вки с параллельным переносом соответствую-  
щей части нитки поезда;
- анализ конфликтов;
- ведение архива корректировок прогно-  
зного графика движения поездов.

В АС ПГДП предусмотрено 5 режимов из-  
менения траектории нитки поезда (рис. 2–6).

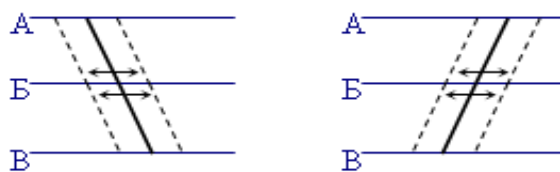


Рис. 2. Параллельный перенос всей нитки

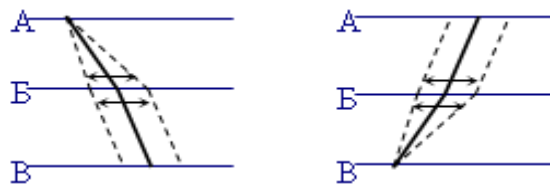


Рис. 3. Изменение времени хода по перегону  
с параллельным переносом на последующих  
перегонах

При изменении нитки, во всех режимах,  
кроме приведенного на рис. 5, производится  
автоматический пересчет времени нахождения  
на станции, причем на том перегоне, на кото-  
ром изменяется время движения по перегону

(рис. 3 и 4) времена на станции не меняются.

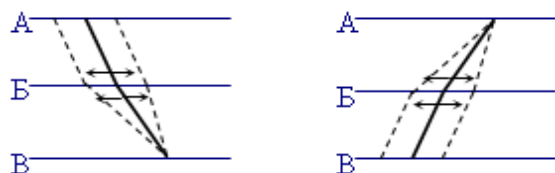


Рис. 4. Изменение времени хода по перегону с параллельным переносом на предыдущих перегонах

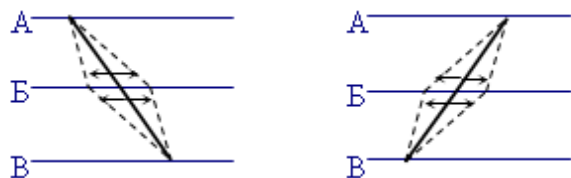


Рис. 5. Изменение времени хода по двум прилегающим перегонам

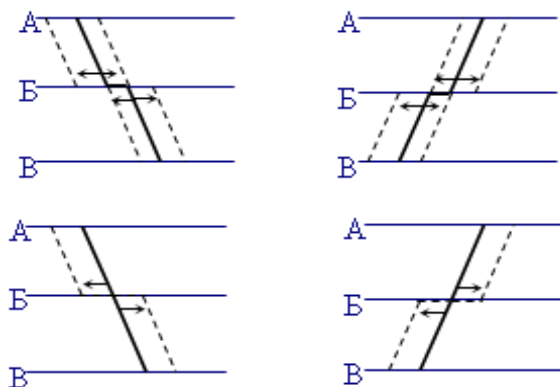


Рис. 6. Создание, удаление, изменение остановки с параллельным переносом части нитки поезда

Корректировка нитки графика с помощью расписания выполняется путем корректировки времен прибытия/отправления/проследования поездов по станциям участка, которые представлены в табличном виде.

При ручной корректировке ПГДП необходимо производить «Анализ конфликтов», возникающих при прокладке плановых ниток. Анализ конфликтов реализуется средствами ГИД «Неман» по станционным и межпоездным интервалам.

Добавление нитки ручным способом в ПГДП производится в случае необходимости пропуска по диспетчерскому участку поезда, который отсутствует по каким-либо причинам в ПГДП.

Добавление нитки в окне ГДП должно производиться следующим образом:

- на панели инструментов нажать кнопку «добавить поезд»;
- в появившемся окне вводятся следующие данные:

- номер поезда;
- индекс поезда;
- станция отправления;
- время отправления.

Прокладка нового поезда на графике может производиться двумя способами:

1) по перегонным временам хода, установленным нормативным графиком движения поездов без учета возникающих «конфликтов». В этом случае может потребоваться ручная корректировка нитки с учетом возникающих конфликтных ситуаций в прокладке поезда;

2) по перегонным временам хода, установленным нормативным графиком движения поездов с учетом возникающих «конфликтов».

Удаление нитки с ПГДП производится в случае, если по каким-либо причинам проложенный в ПГДП поезд исключен из плана отправления поездов.

Для удаления поезда в окне ГДП выбрать нитку (или поезд в списке поездов) и нажать кнопку «удаление поезда».

Пересчет ПГДП после удаления поезда не производится.

В подсистеме ПГДП должна быть реализована функция ведения архива корректировок. В обязательном порядке в архиве должны фиксироваться следующие действия:

- изменения расписания нитки поезда в таблице;
- изменения траектории движения нитки с помощью одного из возможных режимов;
- добавления нитки;
- удаления нитки;
- скрытия/показа нитки поезда;
- изменения настроек отображения номеров поездов на участке по умолчанию и индивидуально.

Ведение архива должно позволять автоматически отменять выполненные действия и возвращаться к исходному варианту ПГДП.

Срок хранения архива должен быть не менее срока хранения архивов системы ГИД «Неман» с обязательной фиксации времени и рабочего места выполнения действия.

## Заключение

В настоящее время сотрудниками научно-исследовательской лаборатории «Управление перевозочными процессами» БелГУТа совместно со специалистами Конструкторско-технического центра Белорусской железной дороги разработан технический проект на АС ПГДП и ведется разработка самой системы. Внедрение системы автоматизированной раз-

работки прогнозного графика движения поездов является первым этапом по комплексной автоматизации управления поездной работой на Белорусской железной дороге.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Порядок планирования, организации предоставления и использования «окон» для ремонтных и строительно-монтажных работ на Белорусской железной дороге. СТП 09150.15.075-2008. [Текст] – Мн., 2008. – 55 с.
2. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспор-

те. [Текст] / под ред. П.С. Грунтова. М. : Транспорт, 1994. – 459 с.

3. Гребенюк, П. Т. Тяговые расчеты: [Текст] : справочник / П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, А. И. Скворцова; под ред. П. Т. Гребенюка. – М. : Транспорт, 1987. – 272 с.
4. Каретников, А. Д. График движения поездов. [Текст] / А. Д. Каретников, Н. А. Воробьев. – М. : Транспорт, 1979. – 301 с.
5. Порядок разработки графика движения поездов на Белорусской железной дороге СТП 09150.15.114-2009 [Текст]. – Мн., 2009. – 112 с.

Поступила в редколлегию 02.09.2011.

Принята к печати 09.09.2011.

А. А. ЄРОФЕЄВ, Е. А. ЄРОФЕЄВА

### АВТОМАТИЗАЦІЯ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ ПОЇЗДОВОЮ РОБОТОЮ НА БІЛОРУСЬКІЙ ЗАЛІЗНИЦІ

Наведений опис автоматизованої системи розробки прогнозного графіка руху поїздів. Розглянуто призначення, склад і структуру системи. Встановлені вимоги до вхідної інформації. Регламентовані процедури автоматичної побудови і диспетчерських коректувань прогнозного графіка руху поїздів.

Ключові слова: графік руху поїздів, диспетчерські коректування, автоматична побудова

A. A. EROFEEV, E. A. EROFEEVA

### AUTOMATION OF CONTROLLER'S MANAGEMENT BY TRAIN WORK ON THE BYELORUSSIAN FERROUS ROAD

The description of the automated system of working out of the look-ahead train schedule is resulted. Appointment, structure and system structure are considered. Requirements to the entrance information are established. Procedures of automatic construction and dispatching updatings of the look-ahead train schedule are regulated.

Keywords: train schedule, dispatching updatings, automatic construction



Ю. М. ІВЧЕНКО (ДІПТ), В. Г. ІВЧЕНКО, О. М. ГОНДАР (ІОЦ Придніпровської залізниці, Дніпропетровськ)

## СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ КОРПОРАТИВНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

В статті надана оцінка небезпечі збоїв сервісів та служб корпоративної інформаційно-телекомунікаційної системи Придніпровської залізниці, важливості виконання постійного контролю функціонування основних компонентів системи. Запропоновані класифікація компонентів за категоріями, залежно від функціонального призначення, і програмне забезпечення для контролю компонентів кожної категорії.

*Ключові слова:* моніторинг корпоративної інформаційної мережі.

Корпоративна мережа Придніпровської залізниці вимагає постійної уваги до себе. Збої апаратного чи програмного забезпечення можуть привести до тяжких наслідків. Значне сповільнення функціонування мережевих сервісів та служб – найменш неприємне з них. Особливо складними є випадки, коли зовсім припиняється функціонування критично важливих служб і додатків, а також коли стають недоступними окремі сегменти мережі або територіально віддалені підприємства.

Від правильної, коректної роботи маршрутизаторів та іншого мережевого обладнання залежить доступність серверів та їх сервісів. Від працездатності серверів (веб-серверів, серверів баз даних, серверів електронного документообігу), в свою чергу, залежить робота важливих додатків і сервісів, які забезпечують функціонування оперативних систем АСК ВП УЗ та АСК ПП УЗ. Вихід з ладу будь-якого з перелічених компонентів може привести до серйозних порушень у роботі інформаційних систем.

Але слід відмітити, що вихід з ладу обладнання або збій в роботі програмного забезпечення не завжди є основними і найбільш небезпечними причинами порушення функціонування інформаційних систем.

Більшою небезпекою є збої, викликані зловмисними діями всередині або ззовні мережі.

Зловмисники, використовуючи вразливості програмного забезпечення чи помилки в конфігурації, можуть виконати безліч деструктивних дій, починаючи з простого виведення з ладу серверів, далі зміни конфігурації мережевого обладнання, порушення роботи мережі, зміни спрямування трафіка, закінчуючи зараженням вірусами та викраданням конфіденційних даних.

Не варто залишати поза увагою також помилки обслуговуючого та керуючого персоналу під час обслуговування чи зміни конфігурації будь-якої частини інформаційних систем.

Всі перелічені варіанти відмов та порушень в роботі інформаційних систем можуть викликати серйозні матеріальні збитки: затримки вагонів, припинення реалізації квитків, розголошення конфіденційної інформації, втрата довіри клієнтів тощо.

Оскільки виключити повністю збої апаратного чи програмного забезпечення неможливо, рішення проблеми полягає в постійному контролі стану складових частин інформаційної системи для отримання інформації щодо проблем на ранніх стадіях.

Для досягнення цієї мети, як правило, використовується різноманітне програмне забезпечення, яке контролює роботу серверів, компонентів мережі передачі даних, зміни конфігурацій, а також збирає статистичну інформацію щодо їх функціонування.

Вибір засобів моніторингу залежить від різних факторів. Так можливості моніторингу мережевого обладнання, в значній мірі, визначаються його виробником. Для серверів вирішальним є тип операційної системи та прикладне програмне забезпечення.

Зараз існує значна кількість програмних продуктів для здійснення контролю функціонування інформаційних систем та їх складових.

Класифікуємо компоненти інформаційних систем за категоріями залежно від функціонального призначення та розглянемо програмні продукти, які виконують їх контроль.

Можливо виділити наступні категорії та програмне забезпечення для їх контролю [2]:

Категорії	Компоненти	ПЗ
1	Доступність та зміни конфігурацій мережевого обладнання, збереження резервних копій конфігурацій	Rancid, Nagios
2	Контроль безпеки, наявності вразливостей та помилок конфігурування систем і сервісів	Nessus, Lotus Domino

Категорії	Компоненти	ПЗ
3	Статистика стану і завантаження каналів, облік помилок, детальний аналіз трафіку	Cacti, Fluke NetWatch, Fluke Netflow Tracker
4	Контроль функціонування критичних служб і додатків	Nagios
5	Інвентаризація ПЗ серверів та користувачів, контроль встановленого ПЗ	Microsoft System Center Configuration Manager 2007

Програмне забезпечення Rancid проводить моніторинг конфігурації маршрутизаторів, включаючи програмне і апаратне забезпечення (модулі, серійні номери і т. ін.), та використовує Subversion для контролю історії змін.

Nagios – це додаток, що використовується для виконання моніторингу систем і мереж. Він стежить за певними додатками і службами та генерує сповіщення в залежності від поведінки служб, за якими ведеться спостереження.

Сумісне використання програмного забезпечення Rancid і Nagios дозволяє проводити постійний контроль змін конфігурацій мережевого обладнання, мати актуальний набір резервних копій файлів конфігурацій, отримувати оперативні повідомлення про недоступні вузли мережі передачі даних. Це дозволяє контролювати спроби несанкціонованих змін конфігурацій маршрутизаторів, оперативно виявляти і виправляти помилки адміністраторів мережі передачі даних при виконанні змін конфігурацій мережевого обладнання. У випадку, якщо зміни конфігурації приводять до відмови в роботі вузлів мережі, програмне забезпечення Nagios, що здійснює контроль за доступністю вузлів, сповістить про це відповідальних співробітників.

Nessus – це програма для автоматичного пошуку відомих вразливостей в захисті інформаційних систем. Вона спроможна виявити види ураження, які найбільш часто трапляються, наприклад:

- наявність вразливих версій служб або демонів;
- помилки в конфігурації (наприклад, відсутність необхідності авторизації на SMTP-сервері);
- наявність паролів за замовчанням, пустих або слабких паролів.

Програма має клієнт-серверну архітектуру, що значно розширює можливості сканування.

IBM Lotus Domino Server – сервер додатків системи Lotus Notes, базово надає ряд сервісів (нереляційна СУБД, сервер каталогів, пошто-

вий сервер, web-сервер) і може використовуватися для побудови корпоративних систем електронного документообігу, колективної роботи, інших додатків. Він має в своєму складі великий набір модулів. Основними з яких є пошто-вий сервер, http-сервер, сервер баз даних.

На Придніпровські залізниці за допомогою Nessus і Lotus Domino розроблена система перевірки параметрів безпеки серверів і мережевого обладнання. Система складається з трьох компонентів:

1. Nessus-сервер – програма для автоматичного пошуку відомих дірок в захисті інформаційних систем;

2. Плановик завдань, який безпосередньо виконує перевірку серверів і мережевих служб, запускає клієнт Nessus з заданими параметрами за розкладом;

3. База даних «Безпека» (Lotus Domino) є сховищем сканера Nessus з відстеженням появи та усунення критичних вразливостей на серверах, які скануються. База налагоджена таким чином, що при виявленні критичних вразливостей автоматично надсилає повідомлення з описом і рекомендаціями співробітнику відповідального за супроводження даного сервера.

Використання даного комплексу дозволяє проводити аналіз захищеності систем та вузлів мережі, прогнозувати появу порушень безпеки, контролювати процес усунення виявлених вразливостей.

Cacti – веб-додаток, який дозволяє будувати графіки за допомогою RRDtool. Cacti збирає статистичні дані за певний інтервал часу і відображає їх у графічному виді. Переважно використовуються стандартні шаблони для відображення статистики щодо завантаженості процесора, надання оперативної пам'яті, кількості запущених процесів, використання вхідного/вихідного трафіка каналів зв'язку.

Дане програмне забезпечення використовується для контролю завантаженості та кількості помилок каналів зв'язку в мережі передачі даних (виділених аналогових, супутникових каналів, волоконно-оптичних ліній зв'язку).

Диспетчерська система NetWatch – це засіб управління з веб-інтерфейсом, який надає можливість контролю стану мережевих пристроїв у форматі, що відповідає вимогам усіх рівнів технічної компетенції.

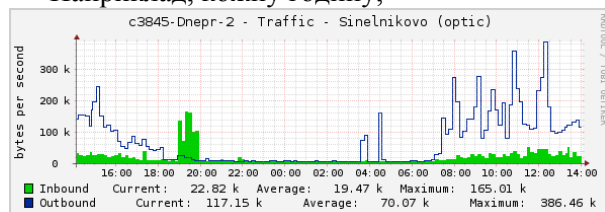
Унікальний інтерфейс Netwatch представляє новий функціональний рівень управління мережею і виконує огляд мережевих ресурсів з використанням інтернет-технологій. Високо-класна презентаційна складова продукту дозво-

ляє більш широкій аудиторії спостерігати і оцінювати стан мережі та параметри, з якими вона працює. Замість надання технічно-орієнтованих графіків і діаграм Netwatch представляє інформацію у зручному форматі, зображаючи мережу у вигляді зрозумілої схеми, з нескладним доступом до додаткової інформації. Система дозволяє легко інтегрувати звіти, набори даних та компоненти інших управляючих систем.

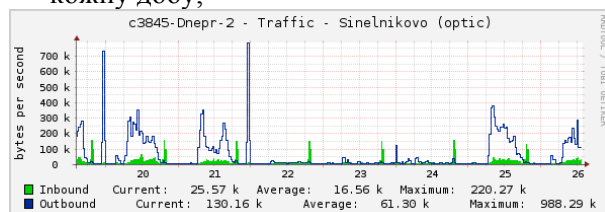
Набір перелічених програмних продуктів використовується для побудови системи контролю якості каналів зв'язку, їх завантаженості, доступності вузлів мережі передачі даних. На базі даної системи створено web-портал, з розділами, які контролюють стан основних вузлів мережі та каналів зв'язку, компонентів мережі щодо кожної станції. Для контролю рівня помилок та стану резервних виділених аналогових каналів зв'язку створені розділи порталу для кожної дирекції залізниці, які виконують цей контроль спільно з програмним забезпеченням Састі.

NetFlow Tracker – це програмне рішення для збору та аналізу NetFlow-інформації, яку надає обладнання Cisco. Програмне забезпечення встановлюється на сервері і дозволяє акумулювати дані, а також надавати звіти про мережевий трафік в реальному масштабі часу (до 14 діб), та забудь-який період часу з різним рівнем деталізації (від 1 хвилини).

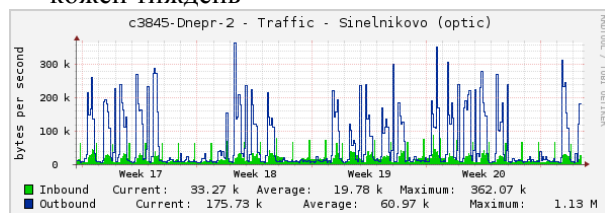
Наприклад, кожен годину,



кожну добу,



кожен тиждень



NetFlow Tracker використовується в корпоративній мережі Придніпровської залізниці для збору деталізованої статистики щодо трафіка маршрутизаторів Cisco в найбільш важливих вузлах мережі передачі даних (Дніпропетровськ, Кривий Ріг Головний, Запоріжжя, Сімферополь, Джанкой) в безперервному режимі. При необхідності є можливість проведення тимчасового контролю інших вузлів мережі, їх більше 100, у разі зниження якості передачі даних в мережі.

Використання програмного рішення NetFlow Tracker разом з ПЗ NetWatch дозволило підняти рівень контролю інформації, яка передається в мережі передачі даних, на якісно новий рівень і значно скоротити час на визначення причин порушення нормальної її роботи. Це дає можливість підвищити надійність функціонування мережі передачі даних разом з резервування обладнання у вузлах [1].

Незважаючи на порівняно нетривалий термін експлуатації даного програмного забезпечення, його ефективність вже підтверджена у випадках виявлення причин збоїв в роботі мережі та їх усунення. Більш того, функціональні можливості NetFlow Tracker дозволяють проводити налагодження оперативного контролю та журналу повідомлень, якщо кількість небажаної або неслужбової інформації перевищить рівень, визначений адміністративною політикою. Це дає можливість здійснювати контроль активності та знаходити її джерело навіть в тих випадках, коли після її виникнення пройшов досить значний час.

Microsoft System Center Configuration Manager 2007- програмний пакет для керування ІТ-ресурсами підприємства (серверами та робочими станціями під управлінням операційних систем Windows).

Основні можливості: інвентаризація програмного та апаратного забезпечення; розповсюдження програмного забезпечення; управління оновленнями операційних систем та прикладного програмного забезпечення; оцінка вразливості клієнтів; моніторинг використання програмного забезпечення; віддалене управління; розгортання образів операційних систем; управління мобільними пристроями; управління гетерогенними системами.

Важливість даного програмного пакета важко перебільшити, тому що у поточний час кількість робочих станцій, що підключені до мережі, обчислюється тисячами, і вона неухильно зростає.

Використання розглянутих програм дозволяє не тільки оперативно усувати збої у функціонуванні інформаційних систем, а також і запобігати їх виникненню.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Івченко, Ю. М. Інтеграція мережевого обладнання АСК ВП УЗ та АСК ПП УЗ, підключення його до ЄМПД [Текст] / Ю. М. Івченко, В. Г. Івченко, О. М. Гондар // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - Вип. 29. - Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту

- залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. - С. 143-146.
2. Івченко, Ю. Н. Система мониторинга информационной сети Приднепровской ж.д. [Текст] / Ю. Н. Ивченко, В. Г. Ивченко, О. Г. Гондар // Тези доп. Міжн. наук-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» (13-14.05.2010 р., Дніпропетровськ). - Д., 2010. - С. 12-13.

Надійшла до редколегії 02.09.2011.

Прийнята до друку 05.09.2011.

Ю. Н. ИВЧЕНКО, В. Г. ИВЧЕНКО, О. Н. ГОНДАР

## СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ

В статье оценена опасность сбоев сервисов и служб корпоративной информационно-телекоммуникационной системы Приднепровской ж.д., важности осуществления постоянного контроля функционирования основных компонентов системы. Предложены классификация компонентов системы по категориям, в зависимости от функционального назначения, и программное обеспечение для контроля компонентов каждой категории.

*Ключевые слова:* мониторинг корпоративной информационной сети.

YURIY IVCHENKO, VALENTINA IVCHENKO, OLEG GONDAR

## SYSTEM OF MONITORING OF THE CORPORATE INFORMATIVE SYSTEM

The danger of failures of services and services of the corporate informatively-telecommunication system of Pridneprovskoy railway is appraised in the article., to importance of realization of permanent control of functioning of basic components of the system. Offered classification of components of the system on categories, depending on the functional setting, and software for control of components of every category.

*Keywords:* monitoring of corporate informatively network.

## ПОВНОФУНКЦІОНАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ АКЦІОНЕРНИХ ТОВАРИСТВ ТА КОМПАНІЙ

Для створення сучасних систем диспетчерського керування об'єктами енергетики пропонується застосувати геоінформаційні технології, що дозволить мати відомості про події та про місце їх виникнення, про стан обладнання.

*Ключові слова:* геоінформаційні системи, диспетчерське керування, електромережі, трансформаторні підстанції

### Постановка проблеми та її зв'язок з важливими завданнями

Електроенергетичний комплекс відіграє важливу роль в економіці будь-якої країни. Характерною особливістю таких комплексів є ієрархічна архітектура (структура) системи управління об'єктами, які об'єднані між собою практично одночасністю процесів вироблення, передачі, розподілення та споживання електричної енергії. Забезпечення надійного та ефективного функціонування електроенергетичного комплексу України за умов незбалансованості структури генеруючих потужностей, застарілості та недосконалості обладнання, у тому числі в контурі оперативного керування, недостатності рівня спостережливості та керованості режимами окремих об'єктів, компаній та електроенергетичних систем можливе тільки за рахунок впровадження комплексу сучасних засобів моніторингу, оцінювання стану, аналізу та оптимізації режимів. В теперішній час для верхніх рівнів ієрархії керування має місце обладнання сучасними системами, в то ж час на нижчих рівнях стан не можливо вважати задовільним. Особливістю електроенергетики будь-яких рівнів є розташування енергетичних об'єктів на значній території, а для деяких з них (наприклад, лінії електропередачі) – на значних відстанях. Тому при управлінні такими об'єктами важливим є отримання інформації не тільки про події на об'єкті, а й визначення місця, де ця подія сталася (наприклад, обрив проводу на ЛЕП). Для вирішення таких задач пропонується використовувати геоінформаційні системи (технології).

### Аналіз останніх досліджень і публікацій по цій проблемі

За результатами досліджень з вказаної проблеми наукових робіт різних авторів можливо стверджувати, що для підвищення ефективності

електроенергетичного комплексу необхідно модернізувати діючі системи диспетчерського керування або створювати нові з урахуванням сучасних вимог ринкових відносин та здебільшого ґрунтуватися на базі теорії подібності й моделювання [1-4]. При удосконаленні або створенні нової системи диспетчерського керування потрібно враховувати, що найбільш важливою особливістю даного об'єкту електроенергетики (наприклад, трансформаторної підстанції) є те, що будь-яка модель може бути виконана і функціонувати тільки на основі вимірів параметрів режиму.

Ефективність прийняття рішень під час оперативного диспетчерського керування режимами систем електропостачання споживачів залежить від швидкості та точності розв'язання задач, таких як аналіз та оптимізація режимів, оперативний контроль потужності та обліку електроенергії, дослідження стійкості тощо. Успішне розв'язання будь-якої з цих задач повинно здійснюватися, враховуючи конкретний експлуатаційний режим електричної мережі. Саме для цього оцінюється стан системи електропостачання в масштабі реального часу. Тобто, вхідною інформацією для розв'язання задачі оцінювання стану є дані вимірів. Враховуючи той факт, що реально підстанції електричних мереж телемеханізовані лише частково, виникає проблема збільшення вхідної інформації. Цю проблему в ряді робіт пропонується вирішувати або на основі розрахунку стану за конкретним зрізом існуючих вимірів (такі параметри носять назву псевдовимірів), або по даним автоматизованих систем обліку (АСКУЕ), якими досить швидко оснащуються підстанції. Таким чином, оцінювання стану – це відтворення режиму за даними телеметрії, яка існує в електричній мережі. Основна проблема моделювання об'єктів вимірів - вибір таких моделей, які можна вважати адекватно описуючими

вимірювані величини (властивості) даного об'єкта. Об'єкт виміру характеризується набором властивостей і описуючих їхніх фізичних величин. Вимірювальна величина - це фізична величина, що підлягає визначенню відповідно до вимірювального завдання. В [1-6] під вимірюваною величиною розуміється "параметр або функція параметрів моделі об'єкта вимірів, що відображають ту його властивість, кількісну оцінку якого необхідно одержати в результаті вимірів". При цьому особливу вагу має достовірність отриманих результатів вимірів (про шляхи забезпечення достовірності вимірів в мережах районного та місцевого значення результати досліджень наводяться в подіючих розділах роботи).

### **Мета роботи**

Оцінювання стану електроенергетичного комплексу є базовою задачею оперативного диспетчерського керування. З переходом на ринкові відносини змінилися функції диспетчерського керування. Ці зміни відносяться до прямих обов'язків диспетчерського керування. Забезпечення підвищення ефективності роботи диспетчерів досягається за рахунок збільшення обсягів і достовірності інформації, швидкості обробки і представлення її в вигляді, зручним для прямого використання. Для збору, обробки та відображення інформації пропонується використовувати геоінформаційні системи. Забезпечення умов функціонування інтегральної системи управління за результатами дослідження інформаційної бази електроенергетичної частини виробничого комплексу як складової частини загального документального потоку – основна мета роботи.

### **Матеріал і результати дослідження**

Великий обсяг задач, що вирішуються з метою управління електроенергетичними комплексами, а також структура самого об'єкту управління диктують необхідність створення ієрархічної інтегральної системи диспетчерського керування, що відповідає структурі електроенергетичної галузі країни. При цьому на кожному ієрархічному рівні мають бути забезпечені функціонування і взаємодія інформаційно-технологічних систем [2, 3, 4]: 1) оперативного контролю і управління режимом; 2) оперативного аналізу і планування режиму; 3) довгострокового і короткострокового планування режиму; 4) контролю і обліку енергоспоживання; 5) автоматичного управління.

Основою побудови єдиної ієрархічної системи керування є створення єдиного інформаційного простору і масштабованої відкритої архітектури, а також використання єдиних інформаційної технології і системи стандартних інтерфейсів. Визначальні критерії якості цієї системи мають бути: інформативність (інформаційна ефективність); оперативність надання даних про поточний режим диспетчерському персоналу та іншим користувачам; інформаційна надійність і живучість системи [3, 4].

Інтерес до задач оцінювання стану раніше проявлявся, в основному, на рівні об'єднаних диспетчерських управлінь високих рівнів. Останнім часом очевидна тенденція зростання заінтересованості в розв'язанні цієї задачі і для нижчих рівнів диспетчерського управління - в системах електропостачання акціонерних товариств, обласних (регіональних) енергетичних компаній (...обленерго).

Кожен рівень має певну специфіку і, незважаючи на спільність методичних підходів, врахування особливостей об'єктів впровадження інтегральної системи управління електроенергетичними об'єктами дозволяє істотно поліпшити якість диспетчерських рішень в задачах оцінювання стану та прийнятті оптимальних (або близьких до них) рішень. Якщо для високих рівнів об'єднаних енергосистем характерні вимірювання активних і реактивних потужностей, а також напруг, то для нижніх рівнів характерним є вимір струмів, причому як в лініях електропередачі і трансформаторах, так і навантаженнях споживачів [2].

Для задачі оцінювання стану об'єкта виміри струмів є менш інформативні, ніж потужностей, оскільки в загальному випадку вони не характеризують ні напрям передачі енергії (потужності), ні співвідношення між активною і реактивною складовими. У якійсь мірі гострота проблеми може бути понижена за рахунок залучення додаткової інформації, що отримується в результаті контрольних вимірів, що епізодично проводяться. Як показують результати досліджень, для переважної більшості споживачів співвідношення активних і реактивних потужностей навантаження низьковольтних мереж є стабільними величинами для певних періодів доби, тижня та сезону. Ці обставини для задач оцінювання можуть розглядатися в якості псевдо вимірів. Їх величини можуть визначатися або на основі експертних оцінок, або на основі інформації з базових режимів (контрольних замірів в режимні дні). У зв'язку з бурхливим прогресом в області

інформаційних технологій в останній час з'явилася можливість прямих замірів різниць фаз напруги ланцюга. Потрібно відмітити, що виміри різниць фаз напруги цікаві тим, що при певних допущеннях вони можуть характеризувати запаси по статичній стійкості вузлів навантаження.

Якщо до переходу на ринкові відносини основним завданням диспетчерського керування було забезпечення технічного управління енергетичними об'єктами, а питання економічного обґрунтування керуючих дій не завжди вирішувалося на необхідному рівні, то в ринкових умовах питання економічних чинників набувають необхідного рівня. В цьому сенсі до технічного керування (технологічна модель-технічний моніторинг - оцінка технічної спостережливості - реалізація технічної керованості) додається економічна складова (комерційна модель об'єкта – комерційний моніторинг – оцінка комерційної спостережливості – реалізація комерційної керованості) і система управління перетворюється в інтегральну систему управління електроенергетичним об'єктом (система електропостачання чи електроенергетична система) [1, 3]. Характеристики реакції інтегральної системи повинні розглядатися в двох аспектах: реакції інформаційного тракту в цілому (часу затримки отримання користувачем інформації про поточний режим) та реакції людино-машинного інтерфейсу, пов'язаного із затримкою виконання запиту на доступ до набору певних даних.

Отже, завдання побудови ефективної інтегральної ієрархічної системи диспетчерського управління полягає у визначенні: 1) числа рівнів управління; 2) структури вертикальних і горизонтальних зв'язків між рівнями і елементами рівнів управління; 3) оптимального розподілу завдань по рівнях управління; 4) інформаційно-технічних засобів, що забезпечують ефективність роботи інтегральної ієрархічної системи керування (надійність, живучість, вартісну ефективність тощо).

В теперішній час для забезпечення спостережливості електричних мереж має місце оснащення їх цифровими улаштуваннями релейного захисту та автоматики (РЗА), автоматизованими системами комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) та автоматизованими системами управління енергетичними об'єктами (АСУТП), системами діагностики тощо. Все це зумовлює значне зростання обсягів інформації, передачу її по інформаційним мережам та обробку. Значне зростання обсягів інформації та

необхідність прийняття по ним відповідальних рішень суттєво впливають не тільки на технологічні процеси передачі, розподілу та використання електричної енергії, а й техніко – економічні показники діяльності виробничих комплексів. Тому зростають вимоги до достовірності інформації та її зберігання. Ефективним засобом вирішення вказаних проблем є впровадження інформаційних технологій.

Запропонована геоінформаційна технологія - подальше вдосконалення застосування засобів обчислювальної техніки у напрямі створення локальних, а потім і корпоративних мереж, побудованих по технології Intranet, вдосконалення програмного забезпечення та інструментальних програмних засобів розробки значно розширили обсяг завдань, які вирішуються за допомогою інформаційних технологій у сфері управління і експлуатації електричних мереж електроенергетичних систем та компаній. В цьому випадку диспетчери та інший персонал електричних мереж підприємств та компаній має можливість наочно в темпі процесу отримувати інформацію про стан та параметри режиму електроенергетичної системи та електроенергетичних об'єктів на екранах персональних комп'ютерів, оперативно стежити за зміною ситуації, оновлювати інформацію і зберігати її у відповідних базах даних (БД).

Обмін інформацією, що відбувається в темпі процесу, між різними підрозділами підприємств електричних мереж, а також між різними ієрархічними рівнями управління дозволяє підвищити не лише ефективність управління, але і надійність і якість функціонування електричних мереж систем електропостачання та електроенергетичних систем. Цей факт означає початок зміни технології експлуатації електричних мереж і об'єктів електромереж, виведення її на сучасний рівень, відповідний міжнародним стандартам, який допоможе прискорити інтегруватися до європейського союзу. Зрештою, це дає можливість побудувати інтегровану АСУТП електричними мережами, що функціонує в єдиному інформаційному просторі електроенергетичної галузі.

Інтегрована АСУТП електричними мережами споживачів, електроенергетичних компаній або систем, яка побудована з урахуванням останніх досягнень в області інформаційних технологій, покликана вирішувати електроенергетичні задачі на якісно новому, більш вищому та ефективному рівні. Це, передусім, дозволить різними користувачам виконання багатьох завдань одночасно, використовуючи розосе-

реджене середовище обробки даних і можливості сучасних операційних систем обробляти великий обсяг інформації, що надходить різними потоками.

Як вказувалося раніше, особливістю електроенергетики будь – яких підрозділів є розташування енергетичних об'єктів на значній території, а для деяких з них – на значних відстанях. Тому при управлінні такими об'єктами важливим є отримання інформації не тільки про події на об'єкті, а й визначення місця, де ця подія сталася (наприклад, обрив проводу на ЛЕП). Для вирішення таких задач пропонується використовувати геоінформаційні системи (технології). Сьогодні в розвинених країнах накопичений значний досвід застосування геотехнологій в різних сферах виробничої і господарської діяльності. Тому геотехнології можливо досить успішно використовувати і в інтегрованих АСУТП електроенергетичних об'єктів для вирішення завдань, пов'язаних з експлуатацією ЛЕП, підстанцій, в роботі виробничих та технічних служб, при видачі технічних умов на приєднання споживачів до електричних мереж енергетичних компаній та систем, в оперативно-диспетчерській службі. Службі контролю за енергоспоживанням тощо..

Геоінформаційні системи - це комп'ютерна інформаційна система, де кожен елемент даних має чітку просторову географічну прив'язку. Така організація системи дозволяє користувачеві:

- оперативно отримувати необхідну текстову інформацію (паспорти об'єктів - ЛЕП, підстанцій, іншого обладнання) при роботі з графічними матеріалами (цифровими картами територій, схемами об'єктів, вузлів навантажених, їх фотографічними зображеннями тощо);
- проводити пошук об'єктів, вибраних за тими чи іншими критеріями в текстовій БД, з паралельним їх відображенням (підсвічуванням і локалізацією) на цифрових картографічних матеріалах;
- організовувати складні запити з аналізом графічної БД і тематичною фільтрацією текстової або графічної інформації;
- виводити на друк необхідну текстову або графічну інформацію;
- розосереджувати і визначати напрями оперативних робочих місць по ліквідації аварій або по введенню параметрів режиму в оптимальну область;
- вирішувати різні технологічні, експлуатаційні та експертні завдання, моделювати режимні ситуації тощо.

Завдяки наявності таких зв'язків забезпечу-

ється велика кількість функціональних можливостей геотехнологій в електричних мережах. У базовий набір функцій пропонується включити: збір та перевірка достовірності інформації, її редагування; збереження, оновлення, інформаційний пошук додаткових даних, аналіз, моделювання та розрахунки в випадку необхідності отримати результати розрахунків для використання в управлінні, паспортизація даних та їх віднесення до відповідної БД.

Виконанні дослідження показують, що для електричних мереж за функціональними можливостями доцільно застосувати мережні геоінформаційні системи, які орієнтовані на робочі станції (операційне середовище Windows NT, UNIX, Solaris) і мережний режим роботи. Таких систем у світі нараховується до 20, з яких найбільш поширеними є MGE, Microstation, ARS/INFO, Intergraf, System 9, SPAN GIS, SISSCAN.

Для роботи геотехнічної системи необхідно: налагодити серійний випуск програмного забезпечення; мати надійні фірми-виробники; забезпечити сервісну підтримку і модернізації; мати можливість працювати в комп'ютерних мережах; мати можливість працювати в архітектурі «клієнт – сервер»; мати відкриту архітектуру; мати можливість підтримувати (обробляти) великі за обсягом (територія) картографічні матеріали; підтримувати стандартні графічні розширення для обміну інформацією; підтримувати роботу з різними типами БД.

Нині в країні відсутнє сучасне програмне забезпечення геоінформаційних систем вітчизняної розробки, яке б забезпечувало ефективний збір і збереження інформації, що необхідна для управління. Існуючі відомчі системи збору даних організаційно і методично розрізнені, що не дозволяє ефективно використовувати їх при формуванні, обґрунтуванні і прийнятті конкретних рішень. Крім того, низький рівень автоматизації під час збору, обробки і передачі інформації затрудняє своєчасне її отримання в необхідних обсягах і в прийнятному вигляді. Наявні в електроенергетиці розробки окремих колективів вирішують обмежене коло завдань і не відповідають рівню, необхідного для їх промислового застосування.

За таких обставин доцільно використати закордонний досвід. Використання геоінформаційних систем в електроенергетиці за кордоном має місце здебільшого в країнах, що використовують інтеграцію на міжгалузевому рівні на загальній картографічній основі з використанням серійно вироблюваного програмного



продукту. При цьому підкреслюється, що серед основних особливостей технології потрібно виділити її потужність (здатність оперувати значними обсягами графічної і текстової інформації), мережева структура організації, адаптація до усієї гамми платформ (UNIX, DOS, Windows NT, Windows 9\*, MAC тощо), сумісність з усіма основними БД (Oracle, Informix, MS SQL Server, Sybase, X-base, DBASE тощо) і непримхливість (робоче місце може бути організовано навіть на базі ПК 80386).

Таким чином доведено, що створення і розвиток АСУТП електричними мережами повинні будуватися з використанням останніх досягнень інформаційних технологій, що є одним із найбільш перспективних напрямів, що дозволяють створювати автоматизовані системи управління електроенергетичними об'єктами на основі поєднання графічних, що охоплюють усі ієрархічні рівні управління, використовуючи для цього єдиний інформаційний простір відповідно споживача, компанії, енергетичної системи тощо. Крім того, використовуючи можливості масштабування, які наявні у геотехнологічних систем, можливо нарощувати кількість проблемних завдань і рівнів управління, що беруть участь в інформаційному обміні в процесі управління роботою електроенергетичних об'єктів.

Застосування геоінформаційних технологій в управлінні експлуатацією ЛЕП, підстанцій та інших електроенергетичних об'єктів дозволяє оперативно реагувати на зміну технічного стану обладнання енергомереж, режимів роботи, використовуючи інформацію, що поступає від систем моніторингу, вимірювання, РЗА та безпосередньо від персоналу. При цьому диспетчер або керівництво отримує наглядну інформацію про пошкоджені елементи та про місце їх розташування, виробляє відповідні рішення, погодивши їх з іншими службами і обмінявшись відповідною інформацією. Інформація про технічний стан, про подібні події і про прийняті рішення (наприклад, про відключення і вивід в ремонт ЛЕП) поступає в БД, обробляється і документується. На підставі цього формуються надалі графіки оглядів, ремонтів і так далі з наступним занесенням інформації в БД.

Геоінформаційні системи дозволять наочно в автоматичному режимі з прив'язкою до місцевості для відповідних служб:

- проводити процеси збору, обробки і оперативного отримання необхідної технічної, технологічної та експлуатаційної інформації;

- контролювати технічний стан об'єктів електромереж і мережі в цілому;

- встановлювати терміни планових ремонтів і профілактичних оглядів залежно від експлуатаційних характеристик устаткування з розрахунком необхідних витрат у відповідності до діючих нормативними документами;

- мати постійно оновлюванні картографічні матеріали по проходженню інженерних комунікацій різних користувачів, з визначенням місць перетинів і зближення;

- отримувати різноманітні схеми і креслення об'єктів з відображенням їх паспортів і сучасного стану;

- проводити інвентаризаційні роботи по обладнанню у межах окремих об'єктів і системи в цілому;

- встановлювати і контролювати склад користувачів з визначенням їх просторового розташування, автоматизувати їх облік;

- планувати і проектувати прокладення нових комунікацій;

- моделювати різноманітні технологічні ситуації, у тому числі аварійні

- та визначати розміри збитків і час їх усунення тощо.

За результатами досліджень можливо запропонувати наступну модель системи управління електричною мережею з використанням геоінформаційних систем. Вона може мати наступний вигляд. В конкретній енергопостачальній компанії на базі прийнятої для АСУТП електричної мережі операційної платформи і системи управління БД приймається середовище роботи геоінформаційної системи. Далі на основі наявної картографічної інформації вибираються карти з нанесенням на них об'єктів електричної мережі в необхідних масштабах і заповнюється БД по цих об'єктах.

Для підсистеми АСУТП електричними мережами, що відповідає за задачі виробничо-технічного управління, на першому етапі впровадження геоінформаційних систем вирішуються питання, пов'язані з експлуатації ЛЕП і підстанцій в повному обсязі. При цьому геоінформаційні системи передаються завдання виробничо-технічної служби, включаючи завдання по видачі технічних умов на приєднання споживачів до мереж компаній, про умови проходження максимуму навантаження, про умови компенсації реактивних потужностей тощо. На цьому етапі вирішуються також питання взаємодії цієї підсистеми з іншими підсистемами АСУТП енергетичними об'єктами, ув'язка структури БД, питання роботи в обчислюваль-

ній мережі (локальної чи корпоративної). На цьому ж етапі вирішуються питання зв'язку та обміну інформацією з іншими ієрархічними рівнями управління і обміну інформацією (при необхідності) з іншими підприємствами електричних мереж (включаючи магістральні мережі), вирішуються питання взаємодії з аналогічними системами інших підрозділів підприємства (наприклад, відділу головного механіка, бухгалтерії, відділу техніки безпеки тощо).

На наступному етапі геоінформаційні технології застосовуються для графічного відображення на картографічній основі рішення завдань оперативно-диспетчерського управління (наприклад, відображення відключених приєднань, трансформаторів, споживачів і так далі) і контролю за виконанням умов енергоспоживання та інших контролюючих заходів.

Наявність відповідних БД дозволить з урахуванням мережі телекомунікації отримувати інформацію для будь-якого ієрархічного рівня управління про будь-який об'єкт управління з точною прив'язкою його до географічних координат, а також отримувати інформацію про стан об'єктів, що належать іншим підрозділам виробничої діяльності. При цьому проектні рішення будуть оперативно відображатися в БД експлуатуючих організацій, які, у свою чергу, зможуть видавати завдання на проектування на загальній картографічній основі з достовірною технологічною інформацією.

Для вищих ієрархічних рівнів управління (наприклад, для диспетчерських управлінь НЕК України) застосування геоінформаційних технологій дозволить отримати оперативну інформацію про стан об'єктів електричних мереж і районів електричних мереж в цілому на більших масштабах, у розмірі регіонів, що цікавлять, або для усієї України. Інформація для цих рівнів може бути отримана по телекомунікаційних інформаційних мережах від підприємств нижчих ієрархічних рівнів управління, що використовують геоінформаційні системи. Особливо наочно проявляються переваги геотехнологій для вищих ієрархічних рівнів управління при їх застосуванні для відображення інформації про масові аварії в мережах, розташуванні аварійних запасів, шляхів їх доставки і тому подібне.

Геоінформаційні технології дозволяють також значно спростити вирішення питань, пов'язаних із спільним рішенням електроенергетичних задач і задач інших галузей економіки, що розташовані в визначеному економічному регіоні. Спільне використання графічної інформації,

що належить різним відомствам, дозволить вирішувати такі завдання, як, наприклад, прокладення нових інженерних комунікацій поблизу коридорів проходження ЛЕП, розширення підстанцій, перетин комунікацій різних відомств (ЛЕП і лінії зв'язку, силові кабелі і кабелі зв'язку, траси газопроводів і ЛЕП, перетин ЛЕП і доріг і так далі).

Таким чином, впровадження геоінформаційних технологій в практику експлуатації і розвитку електричних мереж дозволить по новому вирішувати питання управління електроенергетичними підприємствами, підвищити рівень управління об'єктами електричних мереж і, зрештою, дасть можливість підвищити ефективність функціонування електричних мереж.

### Висновки

1. За результатами досліджень з вказаної проблеми можливо стверджувати, що створення системи диспетчерського керування об'єктами енергетики здебільшого ґрунтується на базі теорії подібності й моделювання. При удосконаленні або створенні нової системи управління потрібно враховувати, що найбільш важливою особливістю даного об'єкту (трансформаторної підстанції) є те, що будь-яка модель може бути виконана і функціонувати тільки на основі вимірів параметрів режиму.

2. Ефективність прийняття рішень під час оперативного диспетчерського керування режимами систем електропостачання споживачів, електричних мереж акціонерних товариств та компаній залежить від швидкості та точності розв'язання таких задач, як аналіз та оптимізація режимів, оперативний контроль потужності та обліку електроенергії, дослідження стійкості тощо. Успішне розв'язання будь-якої з цих задач повинно здійснюватися, враховуючи конкретний експлуатаційний режим електричної мережі. Саме для цього оцінюється стан системи електропостачання в масштабі реального часу. Тобто, вхідною інформацією для розв'язання задачі оцінки стану є дані вимірів. Враховуючи той факт, що реально підстанції електричних мереж телемеханізовані лише частково, виникає проблема збільшення вхідної інформації. Цю проблему в роботі пропонується вирішувати або на основі рахунку стану за конкретним зрізом існуючих вимірів, або по даним автоматизованих систем обліку (АСКУЕ), якими досить швидко оснащуються підстанції. Таким чином, оцінювання стану – це відтворення режиму за даними телеметрії, яка існує в електричній мережі.

3. Основна проблема моделювання об'єктів вимірів - вибір таких моделей, які можна вважати адекватно описуючими вимірювані величини (властивості) даного об'єкта. Об'єкт виміру характеризується набором властивостей і описуючих їхніх фізичних величин.

4. Пропонується для вирішення завдань проектування, експлуатації і управління електричними мережами систем електропостачання, енергетичних компаній та систем застосовувати геоінформаційні технології. Застосування геоінформаційних технологій дасть можливість використовувати загальну картографічну інформацію для декількох суб'єктів господарювання на визначеній території регіону.

5. Для електроенергетики використання геоінформаційних технологій дасть можливість вирішувати спільно з іншими відомствами такі завдання, як ліквідація наслідків стихійних лих, проведення аварійних відновлювальних робіт, розташування аварійних запасів матеріальних ресурсів, визначити величину сил і засобів для ліквідації аварій.

6. Застосування геоінформаційних технологій дозволить вирішити проблему визначення впливу кліматичних навантажень на об'єкти електричних мереж з урахуванням рельєфу місцевості, здійснити прив'язку метеостанцій по трасі проходження ЛЕП з точним визначенням додаткових механічних навантажень на проводи і троси від ожеледі та сили тиску вітру, що дозволить визначити стійкість об'єктів електричних мереж до дії вказаних кліматичних навантажень.

7. Геоінформаційні технології по відношенню електричних мереж дадуть можливість вирішувати завдання оперативного управління експлуатацією на різних ієрархічних рівнях, дозволять диспетчерам і керівництву отримувати наочну інформацію про об'єкт управління на єдиній топографічній основі. Застосування геоінформаційних технологій дасть можливість інтегрувати завдання АСУТП електричними мережами, включаючи задачі автоматизованої

системи диспетчерського управління (АСДУ), на новому технологічному рівні, враховуючи інтереси інших суб'єктів виробництва.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Барінов, В. А. Режимы энергосистем: методы анализа и управления. [Текст] / В. А. Барінов, С. А. Совалов – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 308 с.
2. Коротков, В. А. Информационные технологии и средства диспетчерского управления. [Текст] / В. А. Коротков, Л. К. Осика – М. : ИПК, 2006. – 253 с.
3. Півняк, Г. Г. Розрахунки електричних мереж систем електропостачання [Текст] : навч. посібник / Г. Г. Півняк, Г. А. Кігель, Н. С. Волотковська ; за ред. Г. Г. Півняка. – 3-є вид., перероб. та доп. – Д. : НГУ, 2006. – 217 с.
4. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) [Текст] : учеб. пособ. для вузов / В. А. Веников. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Высш. шк., 1976. – 376 с.
5. Яндульский, А. С. Синтез системы управления промышленной электрической подстанцией. [Текст] / А. С. Яндульский, А. В. Гинайло, М. В. Мартинюк // Электрические сети и системы. – 2004. – № 3. – С. 9-16.
6. Сергеев, А. Г. Метрология [Текст] : учеб. пособ. для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Крохин – М. : Логос, 2001.
7. Експлуатація електроустановок [Текст] : навч. посібник / Г. Г. Півняк [та ін.]; за ред. акад. НАН України Г. Г. Півняка – Д. : НГУ, 2005. – 445 с.
8. Оценивание состояния в электроэнергетике [Текст] / А. З. Гамм [и др.]. – М. : Наука, 1983. – 302 с.
9. Ключко, В. П. К вопросу о применении геоинформационных технологий [Текст] / В. П. Ключко // Энергетика и электрификация. – 2001. – № 2. – С. 47-50.

Надійшла до редколегії 07.04.2011.

Прийнята до друку 19.04.2011.

А. Г. КИГЕЛЬ

## ПОЛНОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ АКЦИОНЕРНЫХ ОБЩЕСТВ И КОМПАНИЙ

Для создания современных систем диспетчерского управления предложено использовать геоинформационные технологии, что позволит иметь сведения о событиях и о месте их возникновения, о состоянии оборудования.

*Ключевые слова:* геоинформационные системы, диспетчерское управление, электросети, трансформаторные подстанции

A. G. KIGEL'

## **ПОВНОФУНКЦІОНАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ АКЦІОНЕРНИХ ТОВАРИСТВ ТА КОМПАНІЙ**

For creation of modern systems of dispatching management it is offered to use geoinformation technology that that will allow to have data on events about a place of their occurrence, about an equipment condition.

*Keywords:* geographic information systems, supervisory control, power supply, transformer substation

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ В СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

В работе рассматриваются методы предварительного анализа звуковых сигналов для выделения устойчивых признаков классификации состояний реле, применяемых в системах железнодорожной автоматики. Предложен алгоритм описания звукового сигнала на основе этих признаков.

*Ключевые слова:* периоды ремонта релейной аппаратуры; акустическая диагностика электромагнитного реле; признаки распознавания; методы обработки акустического сигнала

### Введение

Впервые проблема оценки параметров электромагнитных реле была поднята в Уральском отделении Центрального научно-исследовательского института Министерства путей сообщения в 1970 году. Большой вклад в проблему оптимизации периодов ремонта релейной аппаратуры, разработки методов измерений и диагностики внесли такие известные ученые, как: Муравин В. М., Витенберг М. В., Миловзоров В. П., Разгонов А. П., Сапожников В. В. и др.

Сегодня в основном используются диагностические системы проверки реле на основе бесконтактных датчиков следующих типов: емкостные, ультразвуковые, индукционные, оптические, магнитные и др. [1, 2]. До серийного образца дошли только автоматизированные стенды для измерения электрических и временных характеристик реле (<http://vasavi.com/>, <http://mrd.com.au/>, <http://gtss.rzdp.ru/info/181.html>).

*Целью работы* является формирование устойчивых показателей состояний релейных элементов железнодорожной автоматики на основе акустического сигнала.

### Актуальность

Проблема автоматической диагностики работоспособности реле в целом, в том числе и с возможностью измерения механических параметров реле железнодорожной автоматики, непосредственно связана с возможностью измерения хода якоря электромагнитного реле в процессе его работы [3–5]. Проблема автоматического измерения величины зазора между якорем и полюсным наконечником реле в процессе его работы напрямую связана с возможностью автоматической диагностики работоспособности реле в целом, в том числе и с возможностью измерения механических парамет-

ров реле железнодорожной автоматики. Для решения этой задачи в разное время были предложены различные способы и устройства.

Основной проблемой при использовании бесконтактных датчиков для проверки механических параметров реле является малая точность получаемых результатов. Диагностика релейных элементов систем управления с помощью акустических сигналов позволяет повысить точность распознавания неисправностей. Важной задачей в решении этого вопроса является задача выделения устойчивых признаков для проведения процедуры распознавания [6].

*Анализ литературных источников.* Одним из эффективных методов неконтактного диагностирования радиоэлементов, в том числе и реле, являются акустические методы [7, 8]. Шумовой сигнал реле представляет собой сумму шумовых составляющих сигнала от разных источников. Такой шум может иметь некоторую тональность, которая определяется частотой, соответствующей максимальной амплитуде в его спектре.

Использование акустического метода диагностирования реле во время его проверки по нескольким каналам измерения предложено авторами [9, 10]. Основным элементом измерительного комплекса обработки акустических сигналов на базе аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) является цифровая фильтрация, которая используется для восстановления сигнала после дискретизации и фильтрации ненужных частотных составляющих [10]. Комплекс позволяет определять параметры распределения измеряемой величины, ее максимальное и минимальное значения, стандартное отклонение и корреляционную функцию.

Задача идентификации состояний элементов на основе звуковых сигналов решаются методами распознавания образов [11–14]. Во всех случаях необходимо сформировать признаки

для распознавания, что связано с экспериментальными исследованиями [15, 16]. Известны два метода идентификации шумовых сигналов: на основе частотного (спектрального) анализа и с использованием пространственных характеристик распределения сигналов. При спектральном анализе состояние реле оценивается показателем при котором среднеквадратичный уровень спектральной составляющей, соответствующий шумовому или вибрационному процессу, сравнивается с предельным, который считается типичным для оборудования без дефекта [8, 17].

### Выделение признаков распознавания

Звуковые сигналы характеризуются разнообразием свойств и способностью изменяться в зависимости от среды, состояния источника. Одному источнику могут соответствовать разные сигналы относительно выбранных характеристик (показателей) звука. Например, один и тот же человек может произнести одно слово подряд, а произнесенному слову будут соответствовать различные сигналы. Тем не менее, все люди, говорящие на одном языке, понимают друг друга. Следовательно понимание звукового сигнала осуществляется потому, что в звуковом сигнале присутствуют такие физические параметры, независимые от состояния источника звука при производстве одного и того же звукового элемента (например слог, слово и т.п.), которые позволяют распознать сигнал. Указанные физические параметры принято называть фонетическим кодом. Для нахождения фонетического кода необходимо провести предварительный анализ (обработку) звуковых сигналов для получения его признаков, образующих наиболее устойчивую информацию о сигнале. На сегодняшний день нет общепризнанного метода обработки звуковых сигналов [13–15, 17].

Звуковой сигнал обычно рассматривается последовательностью состоящей из стационарных и переходных компонент, классифицируемых в соответствии с сочетанием или характером изменения сегментных признаков. Выбранные признаки должны отражать способ формирования акустического сигнала и составляющие образующих звук. Как правило, обра-

$$y_i = \frac{y_{i-3} + 2 \cdot y_{i-2} + 3 \cdot y_{i-1} + 4 \cdot y_i + 3 \cdot y_{i+1} + 2 \cdot y_{i+2} + y_{i+3}}{16}, \quad i = 1 \dots N$$

несколько раз [19], и каждый раз вычисляют следующие параметры:

ботку сигнала производят последовательно, анализируя сигнал на интервалах времени длительностью в 15...20 микросекунд (мкс). Результаты анализа представляются в виде вектора  $u$ , в котором его координаты  $u_k$  есть выбранные признаки, образующие передаточную характеристику звукового тракта и параметры источников его возбуждения в рассматриваемый момент времени [14, 17].

Компонентами вектора  $u_k$  для текущего интервала анализа могут быть значения автокорреляционной функции

$$u_k = R(k) = \sum_{i=1}^{N-k} y_i \cdot y_{i+k}, \quad k = 0 \dots N-1,$$

где  $y_i$  – дискретные значения оцифрованного сигнала,  $i = 1 \dots N$ .

Сглаженный по частоте энергетический спектр звукового сигнала на дискретной сетке частот  $\omega_m$  также может быть взят в качестве признаков

$$u_m = Q(\omega_m) = R(0) \cdot g(0) + 2 \sum_{i=1}^m R(i) \cdot g(i) \cdot \cos(\omega_m \cdot i \cdot \pi), \quad m = 1 \dots N-1,$$

где  $\omega_m = 2\pi \cdot \Delta t$  – относительная частота;

$\nu$  – звуковая частота;

$\Delta t$  – период дискретизации;

$g(k)$  – импульсная (весовая) функция;

$Q(\omega_m)$  – сглаженный спектр, огибающая спектра сигнала.

Рассмотренный энергетический спектр  $Q(\omega_m)$  образует устойчивый по отношению к особым свойствам признаки, обеспечивающие высокую эффективность распознавания при незначительных вычислениях [17, 18].

Последовательность дискретных значений  $y_i$  анализируемого звукового сигнала получают с выхода принимающего устройства. Интервал (период) дискретизации в экспериментах составлял 20 мкс. Оцифрованный акустический сигнал сглаживается по формуле

–  $H_\nu$  – рассматриваемая частота сигнала в текущий момент времени. Определяется подсче-

том максимумов, который определяется по условиям

$$y_i - y_{i-1} > 0 \text{ и } y_i - y_{i+1} > 0;$$

–  $D_1, D_2, D_3$  – количество импульсов длительностью, превышающей соответственно 250, 400, 550 микросекунд. Вычисляется анализом длительности интервалов между максимумами сигнала;

–  $Y_0$  – средняя громкость сигнала, вычисляется подсчетом  $y_i$  превышающих некоторое пороговое значение  $\bar{y}$ ;

–  $E_v$  – энергия сигнала в полосах частот  $\nu = \{200, 300, 500, 700, 900, 1100, 1500, 2500\}$  Гц;

–  $\Omega_1, \Omega_2$  – средние частоты формант. Определяются анализом максимумов энергий  $E_v$  в диапазонах частот 200...900 Гц и 700...2500 Гц, соответственно;

–  $P_2, P_3, P_5$  – признаки наличия шумовых составляющих в частотных областях больше 2 кГц, 3 кГц, 5 кГц.

На основе выбранных признаков могут быть определены бинарные признаки, характеризующие фонетические свойства звукового сигнала.

Признаками состояний электромагнитного реле могут служить так называемые значения пик-факторов, которые характеризуют высокочастотный диапазон частот исследуемого акустического сигнала. Пик-фактор определяется отношением пикового значения к среднеквадратичному значению частоты колебания реле в определенном диапазоне частот. Пик-фактор реагирует на появление отдельных коротких импульсов, связанных с появлением локального дефекта (залипание реле, искрение контактов и т. п.). Поскольку импульсы короткие, они возбуждают высокочастотные составляющие. Ширину полосы частот для фильтрации сигнала берется равной 1/3 октавы. Частотная полоса должна захватывать диапазон собственных частот акустического сигнала реле.

С целью выявления наиболее информативной полосы частот, для расчета пик-фактора, проводилась серия экспериментов, в которых использовалось новое реле и несколько реле с различными дефектами. Проведенные исследования показали, что значения пик-фактора наиболее чувствительны в полосе частот 8,5...12 кГц. В результате обработки экспериментальных данных полу-

чены величины пик-факторов, которые могут быть использованы в качестве признаков для классификации дефектов реле.

Использование пик-фактора целесообразно в целях диагностики локальных дефектов обусловленных высокочастотными составляющими в сигнале. Общий износ реле характеризуется увеличением среднеквадратического значения колебаний реле. Увеличение среднеквадратического значения колебаний реле приводит к уменьшению значения пик-фактора. Последнее необходимо учитывать при формировании диагностических признаков и дальнейшего их использования.

## Выводы

Предложенные в работе признаки распознавания состояний электромагнитного реле по его акустическому сигналу позволяют увеличить скорость проведения диагностики, повысить достоверность классификации состояний реле и в целом улучшить систему содержания систем железнодорожной автоматики.

Сформированные признаки классификации могут быть применены при разработке как автономных систем распознавания неисправностей реле, так и в системах диагностики реального времени.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Совершенствование методов обслуживания и эксплуатации устройств СЦБ [Текст] : отчет по НИР / ЦНИИ МПС. – 553-У-76-78. – Свердловск, 1978. – 162 с.
2. Стенд для проверки реле СЦБ. Разработка предложений по созданию стенда на базе КТС-ЛИУС-2 [Текст] : отчет по НИР ДИИТ – 353/3803. – Д., 1983. – 54 с.
3. Кизяков, В. Я. Измерительно-вычислительный ком-плекс для контроля и измерения параметров электромагнитных реле [Текст] / В. Я. Кизяков, А. Н. Байдуж // Совершенствование и повышение надежности железнодорожных систем автоматики, телемеханики и связи : межвуз. сб. науч. тр. – Д. – 1990. – С. 41–48.
4. Разгонов, А. П. Стенд для автоматической проверки параметров реле СЦБ [Текст] / А. П. Разгонов, А. Н. Байдуж // Автоматика, телемеханика и связь. – 1991. – № 2. – С. 13–16.
5. Грачев, Г. Н. Автоматизированный комплекс ремонтно-технологического участка для проверки реле и релейных блоков [Текст] / Г. Н. Грачев, К. О. Колужный, Ю. А. Липовецкий // Автоматика, телемеханика и связь. – 1993. – № 5. – С. 19–21.
6. Ljung, L. System Identification: Theory for the User [Text] / L. Ljung. Prentice. – Hall. – 1987. – Рр. 278–280.

7. Коллакот, Р. А. Диагностирование технического оборудования [Текст] / Р. А. Коллакот ; под ред. Ю. Н. Мяникова; пер. с англ. – Л. : Судостроение, 1980.
8. Контроль шума в промышленности [Текст] : пер. с англ. / под ред. Дж. Д. Вебба. – Л. : Судостроение. – 1981. – 312 с.
9. Бондаренко, Б. М. Методы проверки реле с помощью измерительного диагностического комплекса [Текст] / Б. М. Бондаренко // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х. : УкрДАЗТ. – 2009. – № 4. – С. 127–133;
10. Морозов, Г. Л. Віброшумова діагностика електромагнітного реле [Текст] / Г. Л. Морозов, А. П. Разгонов, Б. М. Бондаренко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – № 32. – Д. : ДНУЗТ. – С. 206–211.
11. Растрин, Л. Н. Метод коллективного распознавания [Текст] / Л. Н. Растрин, Р. Х. Эрнштейн. – М. : Энергоатомиздат, 1981.
12. Быков, Н. М. Методы и средства измерения и преобразования информации в системах машинного распознавания речи [Текст] : дис.... канд. техн. наук / Н. М. Быков. – Винница, ВПИ, 1985. – 243 с.
13. Bykov, N. M. Development of effective strategy of pattern recognition [Text] / N. M. Bykov, I. V. Kuzmin, A. I. Yakovenko // Proceedings of SPIE. – 2001. – Vol. 4225. – Pp. 76–83.
14. Методы автоматического распознавания речи [Текст] / под ред. У. Ли. – М. : Мир. – 1983. – Т. 1. – 200 с.
15. Ковтун, В. В. Вибір інформативних ознак в задачі ідентифікації диктора [Текст] / В. В. Ковтун // МКІМ-2002. Міжнарод. конф. з індуктивного моделювання. Львів, 20–25 травня 2002 : праці в 4-х т. – Львів, ДНДІ, 2002. – Т. 1, ч. 2. – С. 280–287.
16. Алексеев, А. С. Количественный анализ систем признаков и методов идентификации / А. С. Алексеев, Е. Е. Федоров // Штучний інтелект. Інститут проблем искусственного интеллекта. – Донецк. – № 3. – 2005. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://www.iai.dn.ua/public/JournalAI\\_2005\\_3/Razde17/02\\_Alekseev\\_Fedorov.pdf](http://www.iai.dn.ua/public/JournalAI_2005_3/Razde17/02_Alekseev_Fedorov.pdf)
17. Рабинер, Л. Р. Цифровая обработка речевых сигналов [Текст] / Л. Р. Рабинер, Р. В. Шафер. – М. : Радио и связь, 1981. – 495 с.
18. Марпл-мл., С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложение [Текст] / С. Л. Марпл-мл. : [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1990.
19. Теория и применение цифровой обработки сигналов [Текст] / пер. с англ. Б. Гоулд ; под ред. Ю. И. Александрова. – М. : Мир. – 1982. – 848 с.

Поступила в редколлегию 21.07.2011.  
Принята к печати 26.07.2011.

ЛАГУТА В. В., КІЗЯКОВ В. Я.

## ОЦІНКА СТАНУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ В СИСТЕМАХ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

У роботі розглядаються методи попереднього аналізу звукових сигналів для виділення стійких ознак класифікації станів реле, що застосовуються в системах залізничної автоматики. Запропоновано алгоритм опису звукового сигналу на основі цих ознак.

*Ключові слова:* періоди ремонту релейної апаратури; акустична діагностика електромагнітного реле; ознаки для розпізнавання; методи обробки акустичного сигналу

LAGUTA V. V., KHIZYAKOV V. Y.

## ESTIMATION OF A CONDITION OF ELECTROMAGNETIC RELAYS A METHOD OF ACOUSTIC DIAGNOSTICS IN SYSTEMS OF RAILWAY AUTOMATICS

The paper deals with methods of preliminary analysis of sound signals to extract stable features in classifying the relay used in railway automation systems. The algorithm of the description of a sound signal on the basis of these attributes is offered.

*Keywords:* periods of repair relay equipment, acoustic diagnostics electromagnetic relay, signs of recognition, acoustic signal processing techniques



## ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ СИСТЕМИ МЕТОДОМ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ

Розглянуто використання методів факторного аналізу для дослідження транспортно-складських систем промислових підприємств.

*Ключові слова:* факторний аналіз, транспортна система, вантажний пункт, метод головних компонент

### Постановка проблеми

Показники ефективності вантажопереробки на промислових підприємствах визначаються великою кількістю технічних, організаційних і технологічних ознак (параметрів) і мають безпосередній зв'язок з такими характеристиками:

- величиною і структурою;
- характером взаємодії станції примикання і транспортною системою підприємства;
- технологією вантажопереробки;
- спеціалізацією вантажних пунктів;
- організацією роботи внутрішньозаводського транспорту та ін.

Із цього виходить, що для повної техніко-економічної характеристики процесу функціонування транспортно-складської системи необхідно мати статистичну інформацію для великої кількості різних за фізичною природою ознак. Завдання ускладнюється тим, що деякі параметри не можна безпосередньо виміряти, але вони мають певний вплив на виробничу діяльність транспортно-складської системи. Крім того, окремі параметри не можна оцінити кількісно і отже, використати їх як оціночні.

Якщо процес вантажопереробки включає велику кількість ознак, змістовна характеристика зв'язків, виявлених методами регресійного аналізу, стає нетривіальним завданням.

Слід також відзначити, що основні вхідні параметри у більшості випадків корельовані між собою. При цьому мультиколінарність має локальний характер: між собою взаємозв'язані не всі параметри, а виділяються окремі групи корельованих параметрів. Для процесів з корельованими факторами побудована звичайними методами економічно-статистична залежність являє собою вдалу інтерполяційну формулу. Фізична сутність модельованого процесу з корельованими параметрами в такій моделі не розкриваються. Коефіцієнти цієї моделі не відбивають істинного впливу факторів.

Для дослідження таких процесів може бути успішно застосований один із методів багатовимірного статистичного аналізу – *метод головних компонент*.

### Аналіз останніх досліджень

Методи факторного аналізу використовуються для розв'язування задач, основою яких є не тільки класична проблема факторизації, а також у сполученні з іншими статистичними методами: дисперсійним аналізом, методами класифікації і теорії розпізнавання образів [1, 2], регресійним аналізом [2].

В даній роботі розглядаються можливості компонентного аналізу при дослідженні процесу вантажопереробки на металургійному комбінаті і ефективність застосування цього методу для розв'язування задач економіко-статистичного моделювання.

До таких задач відносяться [1-5]:

- пошук груп найбільш взаємозв'язаних факторів, що характеризуються змістовною спільністю і інженерно-економічною сутністю;
- виділення серед отриманих узагальнених факторів однорідних груп;
- отримання аналітичних виразів узагальнених факторів через первинні вхідні параметри, аналіз вхідної множини факторів через взаємозв'язок їх з головними компонентами;
- скорочення вихідної інформації при економіко-статистичному моделюванні;
- інтерпретування головних компонент, їх використання для побудови регресійних моделей показників ефективності транспортно-складської системи.

### Постановка завдання

Використання традиційних методів (теорії ймовірності і математичної статистики, кореляційно-регресійного аналізу й ін.) дає змогу більш-менш об'єктивно оцінити реальні виробничі процеси в транспортних системах, але вони обмежені за гнучкістю і певній мірі недостатні в тих випадках, коли необхідно враховувати багаточисельні випадкові фактори різної фізичної природи, що характерно для роботи всіх ланок транспортних систем.

Для виявлення можливості і ефективності використання методу головних компонент в економіко-статистичному аналізі процесу функціонування транспортно-складської системи була виконана у певній послідовності низка досліджень.

Одна із основних задач на першому етапі досліджень полягала у тому, щоб встановити можливість задовільного змістовного тлумачення головних компонент при дослідженні транспортно-складської системи, або довести, що вони являють собою тільки математичні конструкції, які не містять конкретного інженерно-економічного змісту.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Для розв'язування цієї задачі було зроблено математичне опрацювання статистичних даних про роботу транспортно-складської системи протягом 66 діб.

Враховуючи відсутність в транспортних системах досвіду по використанню методу головних компонент в економіко-статистичному дослідженні, не ставилося ніяких попередніх обмежень, щодо підбору досліджуваних параметрів. Експертним шляхом були виділені 14 параметрів, які, зазвичай, використовуються для моделювання якісних показників в транспортних процесах:

- загальна кількість вагонів, що надходять на комбінат за добу ( $z_1$ );
- частка вантажів, що надходять в критих вагонах ( $z_2$ ) і піввагонах ( $z_3$ );
- кількість вагонів, що надходять відповідно в першу ( $z_4$ ), другу ( $z_5$ ) і третю ( $z_6$ ) зміни;
- коефіцієнт добової нерівномірності кількості вантажів, що надходять на підприємство ( $z_7$ );
- інтервал надходження вантажів на станцію примикання в адресу комбінату ( $z_8$ ), год.;
- годинна інтенсивність подачі партій вагонів із залізничної станції на комбінат ( $z_9$ );
- рівень завантаженості транспортно-складської системи ( $z_{10}$ ), визначається співвідношенням

$$K_{zc} = \frac{z_1}{M_\phi}, \quad (1)$$

де  $M_\phi$  – загальна місткість вантажних фронтів, вагонів;

- рівень завантаженості вантажних пунктів ( $z_{11}$ ). Визначається кількістю вагонів, що надходять на один вантажний пункт

$$K_{zn} = \frac{z_1}{M_{вп}}, \quad (2)$$

де  $M_{вп}$  – кількість вантажних пунктів, на які подають вагони;

– характеристика просторового розміщення вантажних пунктів на території комбінату ( $z_{12}$ ). Визначається як відношення кількості вантажів до 1 км<sup>2</sup> території підприємства з вантажним районом для даного виду вантажу (т/км<sup>2</sup>)

$$\alpha_{np} = \frac{Q_c}{\pi \left( \sum_{i=1}^k r_i q_i \right)^2}, \quad (3)$$

де  $Q_c$  – загальна кількість вантажів, що надходять на підприємство протягом доби, т;

$r_i$  – відстань від центру заводського парку прибуття до центру  $i$ -го вантажного району, км;

$q_i$  – кількість вантажів, що надходять в  $i$ -й вантажний район, т;

– залишок фонду робочого часу ( $z_{13}$ ), що оцінюється за допомогою коефіцієнта

$$K_{зф} = \frac{t_d - t_c}{24}, \quad (4)$$

де  $t_d$  – момент закінчення доби, год.;

$t_c$  – момент прибуття вагонів в систему, год.;

– наднормативний простій вагонів в системі ( $z_{14}$ ), що оцінюється за допомогою коефіцієнта

$$K_{нп} = \frac{\sum t_\phi}{\sum t_n}, \quad (5)$$

де  $\sum t_\phi$  – сумарний фактичний час простою вагонів в системі, год.;

$\sum t_n$  – сумарний нормативний час простою вагонів в системі, год.

Для кількісного уявлення про досліджувані параметри в табл. 1 представлені їх статистичні характеристики.

Практична реалізація методу здійснена на ЕОМ у модулі «Факторний аналіз» інтегрованої системи статистичного аналізу STATISTICA [1].

Компонентний аналіз досліджуваного процесу вантажопереробки виконаний у такій послідовності.

1. *Обґрунтування кількості найбільш вагомих головних компонент.* Для прийнятої початково кількості головних компонент  $m = 14$  (за кількістю вихідних параметрів) була отримана діагональна матриця їх власних значень. На підставі цієї матриці були розраховані власні значення головних компонент, які характеризують внесок відповідної компоненти в загальну дисперсію (табл. 2).

Статистичні характеристики параметрів

Характеристики	Параметри													
	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_6$	$z_7$	$z_8$	$z_9$	$z_{10}$	$z_{11}$	$z_{12}$	$z_{13}$	$z_{14}$
Середнє вибіркове	14	0,31	0,69	4,22	5,58	4,39	1,03	4,47	0,2	0,4	4,26	17	0,48	1,86
Стандартне відхилення	6,77	0,21	0,21	3,35	3,76	3,19	0,5	2,44	0,07	0,21	2,39	10,8	0,16	0,89
Коефіцієнт варіації, %	48,4	67,7	30,4	79,4	81,6	72,7	48,5	54,6	35,0	52,5	56,1	63,5	33,3	47,8

Таблиця 2

Внески головних компонентів в загальну дисперсію

Вид внеску	Величина внеску компонент												
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$	$F_8$	$F_9$	$F_{10}$	$F_{11}$	$F_{12}$	$F_{13}$
Абсолютний $v_j$	5,41	2,26	1,36	1,07	1	0,72	0,65	0,52	0,45	0,36	0,13	0,04	0,02
Відносний $\frac{v_j}{m}$ , %	38,6	16,1	9,7	7,6	7,2	5,2	4,7	3,7	3,2	2,6	0,9	0,3	0,2
Абсолютний $v_j$ , %	38,6	57,4	64,4	72,0	79,2	84,4	89,1	92,8	96	98,6	99,5	99,8	100

Так як внесок головної компоненти  $F_{14}$  в загальну дисперсію виявився дуже малим (0,0006), то в табл. 2 вона не врахована.

Графічна інтерпретація характеру внеску головних компонент в загальну дисперсію показана на рис. 1.

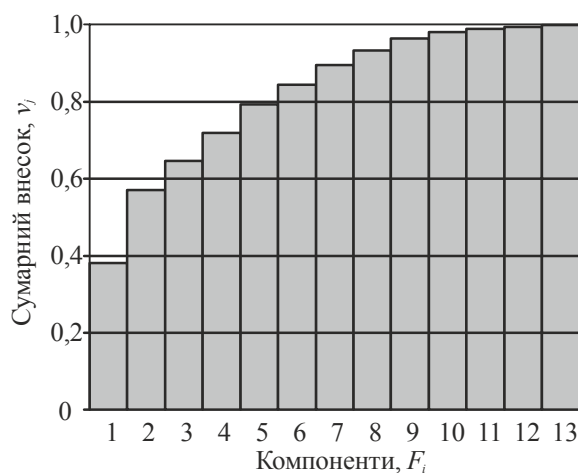


Рис. 1. Зміна сумарного внеску головних компонент в загальну дисперсію

Однією з головних задач дослідження при використанні методів факторного аналізу є виділення та інтерпретація головних чинників.

Однозначного критерію виділення факторів не існує, і тому тут неминучий суб'єктивізм інтерпретацій результатів. Деякі з них є альтернативними по відношенню до інших, а частина цих критеріїв можна використовувати разом, щоб один доповнював інший.

Для обґрунтування кількості головних компонент, за допомогою яких можна всебічно охарактеризувати виробничий процес вантажопереробки, рекомендуються [1, 3, 4, 5] два підходи.

Згідно з *першим* підходом, кількість головних компонент повинно бути таким, щоб забезпечити ступінь охоплення пояснювальної групової дисперсії в межах  $\rho_0 = 0,8 \div 0,95$ . Приймаємо  $\rho_0 = 0,95$  і з табл. 2 маємо 8 головних компонент.

При *другому* підході виходять з того, що внесок  $v_r$  чергової головної компоненти, яка розглядається, повинен задовольняти умові  $v_r \geq 1$ . В цьому випадку для змістовного опису процесу вантажопереробки достатньо використати 5 перших компонент.

В [1] передбачена візуалізація цього підходу у вигляді діаграми, яка для наших умов зображена на рис. 2.

У подальшому для здійснення наступних процедур компонентного аналізу виділяємо 8 перших головних компонент.

2. *Встановлення співвідношень між головними компонентами і вихідними параметрами.* Такі співвідношення являють собою математичні моделі процесу, що вивчається.

Для побудови моделей використовується матриця факторних навантажень, отримана в результаті здійснення компонентного аналізу і зведена до 8 виділених компонентів (табл. 3).

Частка розсіювання кожного фактора в лінійній моделі на головних компонентах, розраховується за формулою

$$\delta = \sqrt{\sum_{j=1}^r a_{ij}^2}, \quad (6)$$

де  $r$  – кількість виділених для аналізу головних компонент;

$a_{ij}$  – коефіцієнт, що характеризує вагу  $i$ -го параметра в  $j$ -й компоненті.

Складові з величиною факторного навантаження  $f < 0,3$  в моделі не включалися. Розглядаються два різновиди моделей.

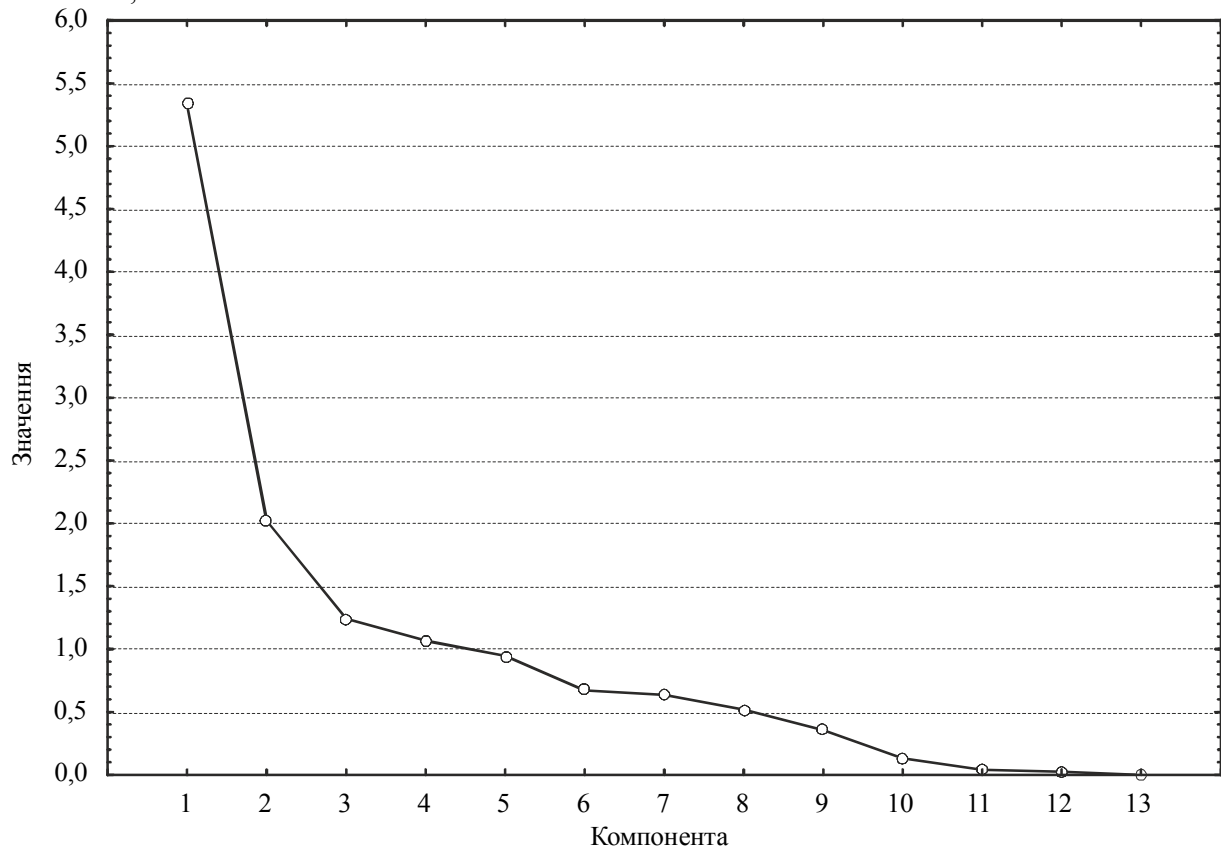


Рис. 2. Діаграма значень внеску компонент

Таблиця 3

Матриця факторних навантажень

Вихідні параметри	Значення вагових коефіцієнтів для власних векторів головних компонент								Частка розсіювання фактора
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	
$z_1$	-0,959*	0,109	-0,044	-0,057	-0,031	0,136	-0,014	-0,068	0,980
$z_2$	0,325*	0,893*	0,004	-0,052	0,213	0,166	0,037	0,110	0,996
$z_3$	-0,321*	-0,896*	0,002	0,047	-0,212	-0,164	-0,040	-0,109	0,997
$z_4$	-0,626*	-0,112	-0,043	0,269	0,608*	0,121	-0,277	-0,102	0,962
$z_5$	-0,614*	0,163	-0,408*	-0,382*	-0,449*	0,147	0,142	0,057	0,981
$z_6$	-0,693*	0,179	0,484*	0,043	-0,140	0,006	-0,118	-0,097	0,871
$z_7$	-0,955*	0,138	-0,056	-0,063	-0,024	0,117	-0,010	-0,090	0,980
$z_8$	0,497*	-0,192	0,259	-0,366*	-0,191	0,392*	-0,555*	0,101	0,997
$z_9$	-0,657*	0,142	-0,217	0,095	-0,070	-0,427*	-0,363*	0,316*	0,963
$z_{10}$	-0,893*	0,072	0,046	0,070	-0,028	0,231	0,053	-0,212	0,955
$z_{11}$	-0,676*	-0,270	-0,121	-0,127	0,246	0,132	0,131	0,470*	0,936
$z_{12}$	-0,160	-0,025	0,144	-0,817*	0,392*	-0,321*	0,019	-0,164	0,999
$z_{13}$	-0,254	-0,255	0,801*	0,013	0,022	0,062	0,267	0,242	0,952
$z_{14}$	-0,308*	0,597*	0,400*	0,081	-0,252	-0,293	-0,091	-0,009	0,881

Примітка: зірочкою позначені факторні навантаження, що включаються в моделі.

Моделі взаємозв'язку вихідних ознак (параметрів) з головними компонентами  $z_i = \varphi(F_j)$  побудовані у відповідності з формулою

$$z_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} F_j. \quad (7)$$

Моделі мають вигляд:

$$z_1 = -0,959F_1;$$

$$z_2 = 0,325F_1 + 0,893F_2;$$

$$z_3 = -0,321F_1 - 0,896F_2;$$

$$z_4 = -0,626F_1 + 0,608F_3;$$

$$z_5 = -0,641F_1 - 0,408F_3 - 0,382F_4 - 0,499F_5;$$

$$z_6 = -0,693F_1 + 0,484F_3;$$

$$z_7 = -0,955F_1;$$

$$z_8 = 0,497F_1 - 0,366F_4 + 0,392F_6 - 0,555F_7;$$

$$z_9 = -0,676F_1 - 0,427F_6 - 0,363F_7 + 0,316F_8;$$

$$z_{10} = -0,893F_1;$$

$$z_{11} = -0,676F_1 + 0,47F_6;$$

$$z_{12} = -0,817F_4 + 0,392F_5 - 0,321F_6;$$

$$z_{13} = 0,801F_3;$$

$$z_{14} = -0,308F_1 + 0,597F_2 + 0,4F_3.$$

Моделі взаємозв'язку головних компонент з вихідними параметрами  $F_j = \varphi(z_i)$ , побудовані за формулою

$$F_j = \frac{1}{v_j} \sum_{i=1}^n a_i z_i, \quad (8)$$

де  $v$  – власне значення компоненти (табл. 2).

Маємо

$$F_1 = \frac{1}{5,41} (-0,959z_1 + 0,325z_2 - 0,321z_3 - 0,626z_4 - 0,614z_5 - 0,693z_6 - 0,955z_7 + 0,497z_8 - 0,657z_9 - 0,893z_{10} - 0,676z_{11} - 0,308z_{14});$$

$$F_2 = \frac{1}{2,26} (0,893z_2 - 0,896z_3 + 0,597z_{14});$$

$$F_3 = \frac{1}{1,36} (-0,408z_5 + 0,484z_6 + 0,801z_{13} + 0,4z_{14});$$

$$F_4 = \frac{1}{1,07} (-0,382z_5 - 0,366z_8 - 0,817z_{12});$$

$$F_5 = 0,608z_4 - 0,449z_5 + 0,392z_{14};$$

$$F_6 = \frac{1}{0,72} (0,392z_8 - 0,427z_9 - 0,321z_{12});$$

$$F_7 = \frac{1}{0,65} (-0,555z_8 - 0,363z_9);$$

$$F_8 = \frac{1}{0,52} (0,316z_9 + 0,47z_{11}).$$

3. *Змістовне інтерпретування головних компонент.* Проаналізуємо виробничий процес вантажопереробки за двома першими ( $F_1$  і  $F_2$ ) компонентами, на які припадає 54,7% загальної дисперсії.

Результати аналізу представлені на рис. 3, де вагові коефіцієнти зв'язку параметрів з даними компонентами визначають відповідні точки параметрів на площині.

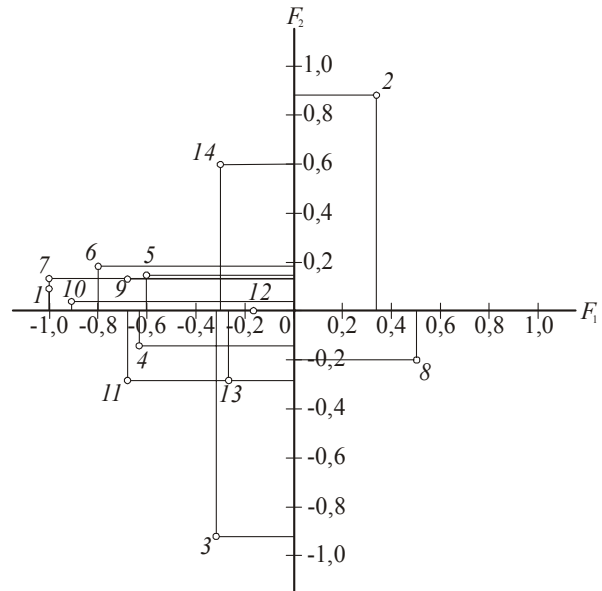


Рис. 3. Результати аналізу в координатах двох головних компонент

Із даних табл. 3 і рис. 3 виходить наступне:

– спостерігається великий розкид (0,025–0,925) прийнятих для дослідження параметрів за величиною навантажень;

– в першій головній компоненті 12 із 14 ознак, що характеризують специфіку вантажопотоків, технічний і організаційний рівень процесу вантажопереробки, мають від'ємні значення.

Таке становище ускладнює і практично не дає змоги провести належним чином надійне фізичне і економічне інтерпретування отриманих головних компонент. Для подолання труднощів при інтерпретуванні головних компонент була застосована процедура обертання факторів методом «варімакс». В результаті отримали нову структуру навантажень на фактори (табл. 4).

В отриманій структурі навантаження багатьох змінних на фактори становляться близькими до 0 або до 1, що полегшує інтерпретування головних компонент.

При інтерпретуванні враховувалися ознаки, в яких величина навантаження не менша 0,3. В табл. 4 такі ознаки помічені зірочкою.

Факторні навантаження після обертання факторів методом «варімакс»

Параметри	Головні компоненти							
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$	$F_8$
$z_1$	*0,685	0,101	0,078	0,057	*0,418	0,183	0,189	0,205
$z_2$	-0,006	*-0,981	-0,086	0	-0,067	-0,037	-0,004	-0,093
$z_3$	0,057	*0,981	0,091	0,003	0,065	0,037	-0,004	0,091
$z_4$	0,069	0,101	0,036	0,034	*0,949	0,147	0,130	0,178
$z_5$	*0,961	0,039	-0,1	0,053	-0,109	0,157	0,057	0,122
$z_6$	0,212	0,035	0,219	0,038	0,124	0,160	0,063	0,074
$z_7$	*0,696	0,083	0,077	0,074	*0,427	0,192	0,201	0,175
$z_8$	-0,163	0,01	0,021	0,031	0,147	-0,132	*-0,956	-0,089
$z_9$	0,278	0,075	-0,053	0,01	0,187	*0,892	0,16	0,109
$z_{10}$	*0,568	0,127	0,107	-0,024	*0,414	0,051	0,201	0,156
$z_{11}$	0,281	0,214	0,093	0,092	0,248	0,117	0,114	*0,87
$z_{12}$	0,066	0	0,047	*0,993	0,034	0,009	-0,027	0,063
$z_{13}$	-0,034	0,161	-0,96	0,052	0,044	-0,042	-0,020	0,071
$z_{14}$	0,121	-0,217	0,087	0	0,007	0,11	0,072	-0,033

**Примітка:** зірочкою помічені ознаки, прийняті для інтерпретування відповідної компоненти.

Перша компонента має значні навантаження на такі ознаки:

- загальну кількість вагонів, що надходять на комбінат за добу ( $z_1$ );
- кількість вагонів, що надходять в другу робочу зміну ( $z_5$ );
- нерівномірність вагонопотоку ( $z_7$ );
- рівень завантаженості системи ( $z_{10}$ ).

Сукупність цих ознак характеризує, з одного боку, обсяг вантажопереробки (ознаки  $z_1$ ,  $z_5$ ,  $z_7$ ), а з іншого боку – ступінь використання потужності системи (ознака  $z_{10}$ ). Тому першу головну компоненту доцільно інтерпретувати, як *організаційно-технічний рівень вантажопереробки в другу зміну*.

В другій компоненті відбивається вплив двох суттєвих ознак:

- частки вантажів, що надходять в спеціалізованих вагонах ( $z_2$ );
- частки вантажів, що надходять в напіввагонах ( $z_3$ );

Обидві ознаки мають однакову величину навантаження, але протилежні знаки. Це означає, що стабільність роботи системи визначається співвідношенням між ознаками  $z_2$  і  $z_3$ . Виходячи із цього, другу компоненту можна інтерпретувати, як *компоненту, що характеризує рівень режимної стабільності процесу вантажопереробки*.

Третя компонента включає одну ознаку ( $z_{13}$ ), яка характеризує залишок часу в поточній

добі, який може бути використаний для розвантаження чергового вагону. Інтерпретуємо цю компоненту, як *рівень ефективного фонду робочого часу*.

З четвертою компонентою найбільший позитивний зв'язок має ознака  $z_{13}$ , яка характеризує просторове розміщення вантажних пунктів на території комбінату. Вона може бути інтерпретованою, як *рівень концентрації вантажних пунктів*.

П'ята компонента за фізичним і економічним змістом аналогічна першій компоненті її можна охарактеризувати як компоненту, що відображає *організаційно-технічний рівень вантажопереробки в першу робочу зміну*.

Останнім трьома компонентами можна надати таку інтерпретацію:

Шоста компонента – характеризує загалом рівень узгодженості роботи залізничної станції і комбінату, тобто досконалість контактного графіка.

Сьома компонента – характеристика зовнішнього вагонопотоку на станцію примикання в адресу комбінату. Від'ємний зв'язок провідної ознаки  $z_8$  (інтервал надходження партії вагонів на станцію примикання в адресу комбінату) з головною компонентою  $F_7$  показує, що із збільшенням інтервалу між черговими надходженнями партії вагонів зменшується величина компоненти  $F_7$ .

Восьма компонента – характеризує ступінь використання пропускної спроможності вантажних пунктів.

Із ідентифікованих головних компонент можна утворити три однорідні в деякому розумінні групи.

Перша група ( $G_1$ ) включає головні компоненти  $F_1$ ,  $F_2$  і  $F_5$ , які являють собою узагальнені характеристики обсягів вантажообробки.

Друга група ( $G_2$ ) складається із головних компонент  $F_3$ ,  $F_4$  і  $F_8$ , що утворюють узагальнені характеристики організаційно-технологічного процесу вантажообробки на комбінаті.

В третю групу ( $G_3$ ) входять головні компоненти  $F_6$  і  $F_7$ , які є узагальненими характеристиками організації роботи залізничної станції при подачі партій вагонів на комбінат.

4. Регресійний аналіз на головних компонентах. В результаті проведеного факторного ана-

лізу з'ясовано, що вісім отриманих компонент достатньо добре пояснюють технологічну і організаційну сутність процесу вантажообробки на комбінаті. Виділені головні компоненти були використані як узагальнені фактори для апроксимації результативного показника процесу вантажообробки за допомогою лінійної регресійної моделі. Регресійний аналіз здійснювався в два етапи. Спочатку були обчислені значення головних компонент, а потім відшукувався їх зв'язок з результативною ознакою за допомогою лінійної регресійної моделі  $y = f(F_1, F_2, \dots, F_8)$  в стандартизованому масштабі. Результати регресійного аналізу наведені в табл. 5.

У відповідності з  $F$ -критерієм модель є значимою.

Таблиця 5

Регресійний аналіз на головних компонентах

Показники моделі	Головні показники							
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$	$F_8$
Коефіцієнт регресії $b_j$	-0,437	-0,039	-0,296	-0,142	0,028	0,207	-0,061	0,036
Доля дисперсії $d$ , %	41,63	17,40	10,47	8,24	7,72	5,54	5,00	4,00
Коефіцієнт множинної кореляції $R$	0,591							
Коефіцієнт детермінації $R^2$	0,349							
Стандартна помилка оцінювання регресії $S$	0,861							

За  $t$ -критерієм в регресійну модель включені компоненти  $F_1$ ,  $F_3$  і  $F_6$ , тобто маємо

$$\tilde{y} = -0,437F_1 - 0,296F_3 + 0,207F_6.$$

Коефіцієнт детермінації  $R^2$  показав, що частка варіації результативного показника, пояснювана за допомогою отриманої лінійної моделі, дорівнює 35 %. У цьому рівнянні регресії відбиваються основні змінення результативної ознаки, що досліджується. Коефіцієнти регресії характеризують ступінь впливу кожного узагальненого фактора на рівень добового сумарного простою вагонів в системі. На частку компонент, що визначають оціночний показник роботи системи, приходиться більше 57 % дисперсії, що пояснюється моделлю.

При цьому найбільший вплив чинить перша компонента, що характеризує рівень організації процесу вантажообробки в другу робочу зміну. На її частку приходиться не більше 41% сумарної дисперсії моделі. Цей результат є чисельним відбиттям того, що якраз підвищення рівня організації робіт в системі сприяє зни-

женню простою вагонів. Цей факт підтверджується від'ємним коефіцієнтом компоненти  $F_1$  в рівнянні регресії.

З від'ємним коефіцієнтом в рівняння регресії також входить показник ефективного робочого часу ( $F_3$ ). Дійсно, із зростанням запасу робочого часу, збільшується можливість вчасно обслужити черговий вагон, і, отже, зменшити величину його простою в системі.

Третя складова рівняння регресії (компонента  $F_6$ ) характеризує взаємоузгодженість роботи залізничної станції і транспортної системи комбінату. Недостатня узгодженість в діях працівників цих підприємств викликає збільшення величини результативної ознаки.

#### Висновки і перспективи подальших досліджень

1. За допомогою методу головних компонент вдалось отримати більш точну інтегральну оцінку результативного показника процесу функціонування транспортно-складської системи.

2. Метод головних компонент у сполученні з інженерно-економічними відомостями про фізичну природу реального процесу є гарним інструментом групування взаємозв'язаних факторів у відповідності з їх економічним змістом.

3. Використання методу головних компонент дає можливість перейти до моделювання досліджуваного процесу з використанням обмеженого набору нових змінних, що спрощує процедуру економіко-статистичного аналізу і робить її більш ефективною.

4. Застосування компонентного аналізу дає змогу побудувати аналітичні вирази узагальнених факторів через систему взаємопов'язаних первинних параметрів.

5. Серед отриманого набору узагальнених факторів можна виділити однорідні групи, що характеризують певні комплексні характеристики виробничого процесу.

6. З позицій моделювання досліджуваного процесу важливість внеску кожної головної компоненти не залежить від черговості їх формування.

Якщо з точки зору формування головних компонент їх суттєвість певним чином залежить від порядкового номера компоненти (більш віддалена від першої головної компоненти є менш суттєвою), то оцінка внеску кожної головної компоненти в опис дисперсії модельованого показника не співпадає з цією черговістю.

Дослідженнями виявлено, що найбільш віддалена головна компонента (менше значима з точки зору формування нових змінних) може бути більш суттєвою у порівнянні з попередніми компонентами з точки зору їх внеску в опис досліджуваного процесу. Цей внесок має дуже важливе теоретичне і практичне значення для удосконалення статистичного моделювання реальних техніко-економічних процесів.

7. Порядок черговості розміщення в первісній інформаційній матриці вихідних параметрів не впливає на порядковий номер головної компоненти.

8. Із всіх існуючих методів скорочення інформації самим надійним слід вважати метод, заснований на результатах регресійного аналізу, що використовується при моделюванні процесу, з урахуванням набору головних компонент. Результати відбору головних компонент з використанням цього методу однозначні і кількісно визначені.

9. Застосування методу головних компонент і виконання регресійного аналізу над головними компонентами дозволяє виявити і кількісно співвіднести між собою відносну силу впливу різних узагальнених факторів виробництва на рівень показників підприємства, що моделюються. Вирішення цієї задачі має важливе значення для удосконалення керування виробничою діяльністю підприємства і оцінки ефективності використання резервів виробництва.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Боровиков, В. П. STATISTICA – Статистический анализ и обработка данных в среде Windows [Текст] / В. П. Боровиков, И. П. Боровиков. – М. : Информ.-изд. дом «Филинь», 1998. – 608 с.
2. Зейгер, Е. М. Применение факторного анализа для исследования зависимостей между технико-экономическими показателями [Текст] / Е. М. Зейгер, А. А. Френзель // Ученые записки по статистике. – 1974. – № 26. – С. 79–95.
3. Дубров, А. М. Обработка статистических данных методом главных компонент [Текст] / А. М. Дубров. – М. : Статистика, 1978. – 135 с.
4. Петерсен, И. Ф. Применение метода главных компонент для описания технологических процессов с корреляционными входными параметрами [Текст] / И. Ф. Петерсен // Изв. АН ЭССР. Серия физ.-мат. и техн. наук. – 1965. – № 4. – С. 54–57.
5. Харман, Г. Современный факторный анализ [Текст] / Г. Харман : [пер. с англ.]. – М.: Статистика, 1972. – 486 с.

Надійшла до редколегії 05.04.2011.

Прийнята до друку 20.04.2011.

А. А. ЛАЩЕНЫХ, С. Н. ТУРПАК, С. В. ГРИЦАЙ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ

Рассмотрено использование методов факторного анализа для исследования транспортно-складских систем промышленных предприятий.

*Ключевые слова:* факторный анализ, транспортная система, погрузочный пункт, метод главных компонент



O. LASCHENYKH, S. TURPAK, S. GRITSAY

## **STUDY OF TRANSPORTATION-AND-STORAGE SYSTEM USING THE METHOD OF PRINCIPAL COMPONENTS**

The use of factor analysis techniques for the study of transportation-and-storage systems of industrial enterprises is considered.

*Keywords:* factor analysis, transportation system, loading point, method of principal components

Н. С. ПРЯДКО (ИТМ НАНУ и НКАУ, Днепропетровск), Т. М. БУЛАНАЯ,  
К. В. ШЕГЕДА (ДНУ им. О. Гончара, Днепропетровск)

## ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА СТРУЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Проведен анализ теоретических и экспериментальных закономерностей тонкого измельчения твердых сыпучих материалов. Установлена связь функции плотности амплитуд акустических сигналов процесса измельчения со степенью загрузки струй материалом.

*Ключевые слова:* струйное измельчение, акустические параметры, функция плотности, поверхность распределения

Согласно теории процессов разрушения и диспергирования полезная работа образования новой поверхности при разрушении обусловлена действием акустических волн, возникающих при разрывных автоколебаниях конденсированного вещества [1]. На этом основании разработана методика проведения мониторинга акустических сигналов процесса струйного измельчения сыпучих материалов [2]. Однако, процесс измельчения в противоточных струях мельницы является особым видом разрушения материала. Главное отличие – в способе воздействия на частицы. Околозвуковыми струями энергоносителя (газа) частицы захватываются и выносятся через эжектируемое устройство в помольную камеру навстречу друг другу [3]. При столкновении частицы накапливаются энергией от энергоносителя, подвергаются удару, и, наконец, диспергируют. При этом аппаратура фиксирует акустические сигналы. Диспергирование является завершающим актом разрушения. В его эффектах проявляются все детали механизма разрушения, включая образование и развитие трещин. Исследования показали высокую коррелируемость параметров акустических сигналов (АС) с эффектами измельчения: величиной удельной поверхности и массовой долей тонкодисперсных фракций в разрушенном продукте, технологическими параметрами процесса измельчения: давлением и температурой энергоносителя, числом оборотов классификатора, производительностью мельницы [4, 5].

Актуальной проблемой является выбор параметров и критериев акустического мониторинга тонкого измельчения для повышения эффективности этого процесса. Исследования показали, что эффективность и акустическая активность струйного измельчения изменяются в зависимости от степени заполнения струй материалом. Получены экспериментальные данные, характеризующие во времени производи-

тельность мельницы и параметры (амплитуда, частота, активность) акустического излучения зоны помола и зоны выхода готового продукта после классификатора при разных режимах работы мельницы (загрузка струй материалом, рабочий режим измельчения, разгрузка мельницы).

*Цель данной работы* – определение и исследование параметров и критериев акустического мониторинга, позволяющих определить степень загрузки мельницы материалом с целью повышения эффективности процесса измельчения.

На основе имеющихся аппаратных средств разработана методика регистрации и анализа акустических параметров, технологических и режимных характеристик процесса газоструйного измельчения. В число изучаемых технологических параметров внесено начальное давление сжатого воздуха (перед истечением из сопла), частота вращения ротора классификатора, степень загрузки струй материалом, характеризующаясь четырьмя режимами: загрузкой струй материалом, рабочим режимом измельчения, разгрузкой зоны измельчения и перегрузкой струй материалом [4]. Как было показано ранее [5], наиболее информативными параметрами акустического мониторинга являются амплитуда АС и ее распределение по величине, активность и частота АС. На рис. 1 показана кинетика амплитуд при разных стадиях измельчения, а, соответственно, при различной степени загрузки струй материалом.

При загрузке (см. рис. 1, б) и рабочем режиме (рис. 1, в) величина амплитуды в зоне измельчения отличается в два раза, тогда как амплитуда сигналов при разгрузке струй (рис. 1, г) или при почти (10 %) пустой камере (рис. 1, а) отличается от амплитуды сигналов в рабочем режиме на порядок. Таким образом, по

величине амплитуды АС можно судить о наполнении струй материалом.

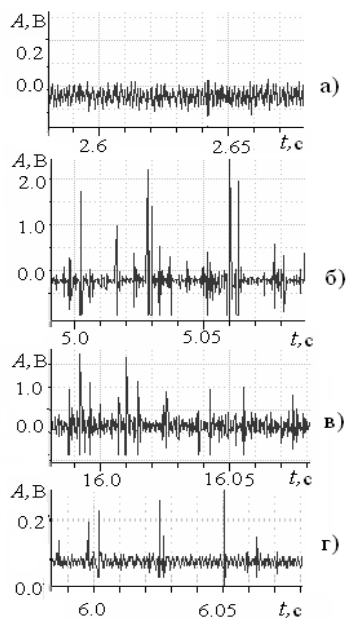


Рис. 1. Кинетика амплитуд при измерении АС в помольной камере

Проведенный анализ сигналов на выходе из классификатора показал аналогичную зависимость амплитуды сигналов от режима измельчения в помольной камере. В связи с тем, что за классификатором скорость энергоносителя гораздо ниже и поток выносит уже измельченный продукт, амплитуда АС значительно ниже. На рис. 2 показано различие амплитуд АС в зоне измельчения (а) и в потоке готового измельченного продукта (б), поступающего из классификатора. Это обусловлено разными происходящими процессами, различными скоростями потоков и разным дисперсным составом частиц в зонах регистрации АС.

Исследование АС в обеих зонах одновременно на различных стадиях измельчения показали зависимость акустических параметров от степени загрузки струй материалом. Под задачей визуализации пространственной модели амплитуд АС мельницы будем понимать следующее. По данным наблюдений вида  $\{t_i, A_i^m, A_i^k; i = \overline{1, N}\}$ , где  $N$  – количество записей сигналов в секунду ( $i = \overline{1, N}$ ); двойка  $\{t_i, A_i^m; i = \overline{1, N}\}$  – определяет амплитуду сигнала в мельнице;  $\{t_i, A_i^k; i = \overline{1, N}\}$  – определяет амплитуду сигнала после классификатора мельницы, построить приближение функции  $p(A^m, A^k)$ , реализацией которой является наблюдаемый мас-

сив амплитуд. Ниже приведена методика решения сформулированной задачи с помощью:

1. Сбор и наполнение базы данных акустических измерений;
2. Регуляризация амплитудных составляющих сигналов;
3. Подавление шума в акустическом сигнале при помощи вейвлет-анализа (Вейвлет Добеши второго порядка);
4. Решение задачи восстановления плотности распределения вероятностей (функции Гаусса  $p(A^m, A^k)$ );
5. Анализ восстановленных функций Гаусса для различных режимов измельчения.
6. Поддержка принятия решения о состоянии загрузки мельницы.

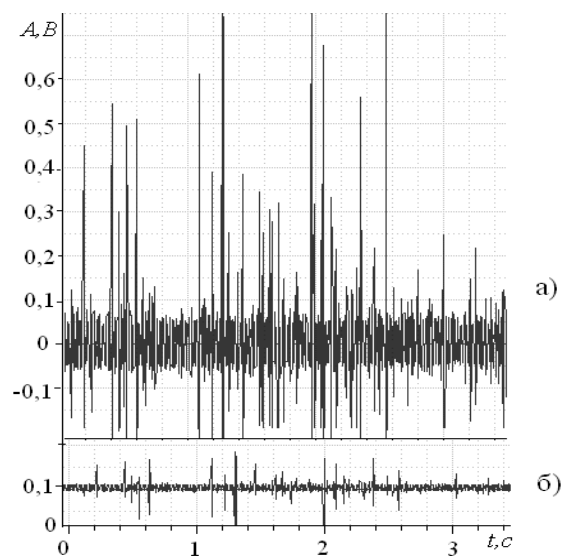


Рис. 2. Амплитуды АС: а – в зоне измельчения ( $A = 0,2 \dots 0,8$  В); б – на выходе из классификатора ( $A = 0,01 \dots 0,05$  В)

На рис. 3 и рис. 4 показано расположение функции плотности распределения вероятности для двух режимов загрузки мельницы.

Развитие компьютерных технологий, создание специализированных программ для графического представления данных MATLAB, дает возможность представления данных на новом, качественно более высоком уровне. Для восприятия данных в таком виде требуется меньше времени нежели при традиционном представлении их в цифровом и примитивно графическом ракурсе. Кроме того, такое представление данных открывает новое видение проблемы, ставит новые задачи. Приведенные примеры визуализации, в частности, позволяют выявить новый путь распознавания загрузки мельницы по АС.

Предлагаемое графическое дополнение к анализу данных АС в виде графиков поверхности распределения вероятности значений АС и его проекции на плоскость дает дополнительную информацию об особенностях поведения

АС, помогает в определении состояния загрузки мельницы. Наглядность графиков дает более целостное восприятие загрузки мельницы, разброса значений АС, превалирования тех или иных значений АС.

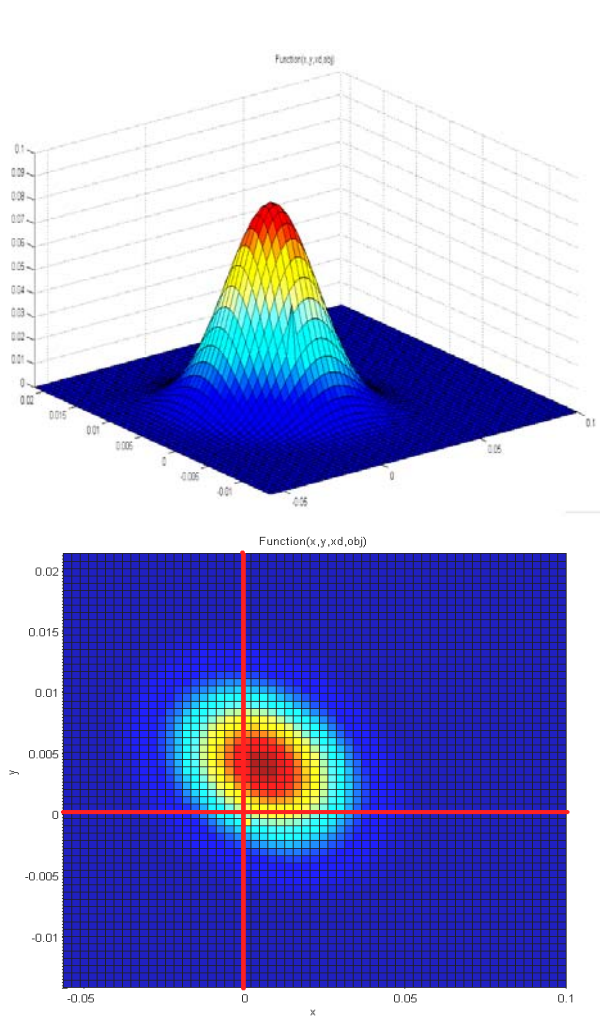


Рис. 3. Рабочий режим измельчения

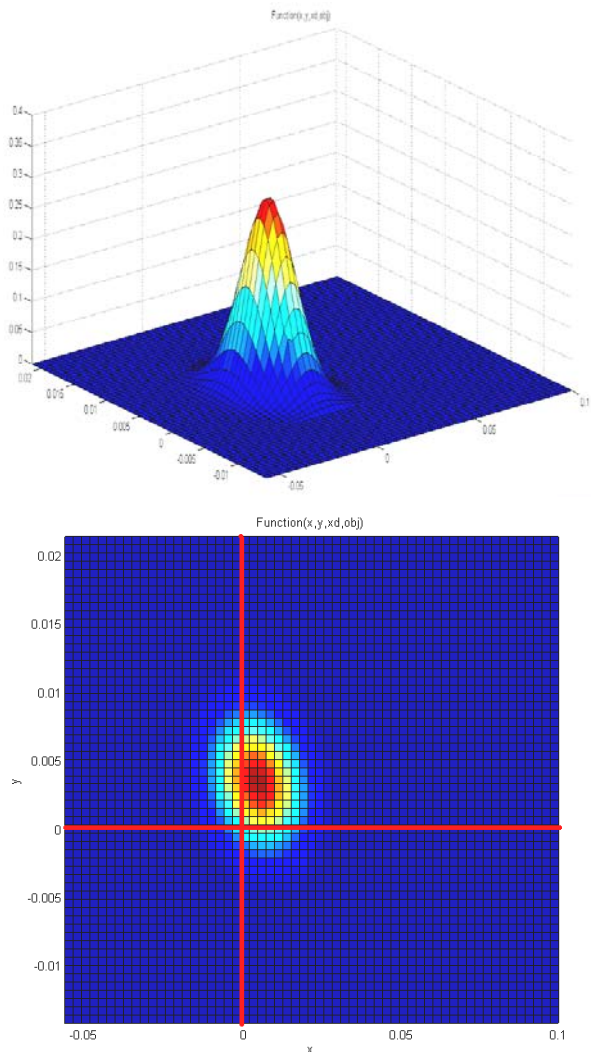


Рис. 4. Пустая мельница

### Выводы

В ходе исследований определены параметры и критерии акустического мониторинга, позволяющие определять степень загрузки мельницы материалом, что дает возможность регулировать работу мельницы и повышать эффективность процесса измельчения. Исследованы поверхности и области расположения функции плотности распределения вероятностей амплитуд АС пустой мельницы, заполненной мельницы в рабочем режиме и мельницы в режиме разгрузки струй. Установлена связь этих величин для акустических сигналов рабочего режима процесса измельчения со степенью загрузки струй материалом.

Таким образом, сопоставление закономерностей кинетики технологических параметров процесса струйного измельчения и параметров акустического мониторинга позволяет создать алгоритм управления этим процессом.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Выбор критической плотности энергии при тонком измельчении [Текст] / П. И. Пилов [и др.] // Обогащение руд. – 2007. – № 5. – С. 120–123.
2. О критериях акустического мониторинга струйного измельчения [Текст] / Л. Ж. Горобец [и др.] // Техническая механика. – 2009. – № 3. – С. 116–121.
3. Об износе разгонных трубок при газоструйном измельчении [Текст] / Н. С. Прядко [и др.] //

- Техническая механика. – 2009. – № 4. – С. 94–110.
4. Горобец, Л. Ж. Интенсификация процесса струйного измельчения на основе анализа акустических параметров [Текст] / Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 2 (54). – С. 15–19.
  5. Пилов, П. И. Акустические и технологические характеристики процесса измельчения в струйной мельнице [Текст] / П. И. Пилов, Н. С. Прядко // Известия вузов. Горный журнал. – 2009. – № 4. – С. 117–121.
  6. Анализ информативных акустических параметров при моделировании процесса струйного измельчения [Текст] / Н. С. Прядко [и др.] // Системные технологии: региональный межвуз. сб. науч. тр. – Д., 2011. – Вып. 2 (73). – С. 94–99.
- Поступила в редколлегию 02.09.2011.  
Принята к печати 14.09.2011.

Н. С. ПРЯДКО, Т. М. БУЛАНАЯ, К. В. ШЕГЕДА

## ГРАФІЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ДАНИХ АКУСТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПРОЦЕСУ СТРУМЕНЕВОГО ПОДРІБНЕННЯ

Проведено аналіз теоретичних і експериментальних закономірностей тонкого здрібнювання твердих си-  
пучих матеріалів. Встановлено зв'язок функції щільності амплітуд акустичних сигналів процесу подрібнен-  
ня зі ступенем завантаження струменів матеріалом.

*Ключові слова:* струминне подрібнення, акустичні параметри, функція щільності, поверхня розподілу

N. S. PRYADKO, T. M. BULANAYA, K. V. SHEGEDA

## GRAPHIC PRESENTATION OF INFORMATION OF ACOUSTIC MONITORING OF STREAM GRINDING PROCESS

The theoretical and experimental mechanisms of thin grinding the loose materials are analyzed. The relation of  
the density function of acoustic signal amplitudes of grinding process to the degree of loading the jets by material is  
established.

*Keywords:* jet grinding, acoustic parameters, density function, distribution surface

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ

В представленной статье выполнен анализ динамических потоков, когда единицы потока имеют индивидуальные свойства (неоднородности).

*Ключевые слова:* динамический поток, неоднородный поток

### Введение

Задача нахождения максимальных потоков в сетях является одной из фундаментальных в теории графов и комбинаторной оптимизации. Она изучается на протяжении многих лет, что обусловлено широким спектром ее использования во многих практических приложениях, связанных с анализом транспортных систем, систем материальных потоков, вычислительных и коммуникационных сетей, энергетических и электрических систем и т.д. [2, 4]. Как правило, в этих приложениях рассматриваются однопродуктовые потоки не учитывающее индивидуальные свойства (неоднородности) единиц потока и время передвижения по дугам сети. Вместе с тем на сегодняшний день учет индивидуальных свойств является очень актуальным для планирования. В связи с этим аспектом потоковую задачу можно интерпретировать как неоднородную динамическую потоковую задачу. Индивидуальными свойствами потоков могут быть: перемещение по известным маршрутам, ограничения на возможность совместного движения по дугам, задание определенной последовательности движения носителей, право собственности, то есть индивидуальные оценки качества и цели перемещения носителей.

### Двухкритериальный анализ задачи о потоке в сети

Рассмотрим модель задачи нахождения неоднородного динамического максимального потока, рассмотренную в [1]. Припишем каждой дуге  $(x, y)$  графа  $G = (X, A)$  целое положительное число  $t(x, y)$ , которое определяет количество некоторых временных интервалов, необходимых для прохождения единицы потока по дуге  $(x, y)$ . Величина  $t(x, y)$  называется временем прохождения по дуге  $(x, y)$ . Будем обозначать через  $c(x, y, T)$  максимальное число единиц потока, которое может входить в дугу  $(x, y)$  в момент времени  $T$ , где  $T = 0, 1, \dots$ .

Динамическим потоком в графе  $G$  из вершины  $s$  в вершину  $t$  называется любой поток из  $s$  в  $t$ , который удовлетворяет ограничениям на пропускные способности дуг в каждый рассматриваемый момент времени. Точнее, динамическим потоком из  $s$  в  $t$  называется любой поток между указанными вершинами, для которого в каждую дугу  $(x, y)$  в любой рассматриваемый момент времени  $T$  входит не более чем  $c(x, y, T)$  единиц потока. Отметим, что в динамическом потоке отдельные его единицы могут отправляться из источника в момент времени  $0, 1, 2, \dots$ . Также каждая единица потока должна удовлетворять некоторому индивидуальному свойству из набора свойств  $I_s$ .

Максимальным динамическим неоднородным потоком из вершины  $s$  в вершину  $t$  за период в  $p$  интервалов времени является такой динамический поток из, для которого в сток  $t$  за период времени  $p$  проходит максимально возможное количество единиц потока.

Рассмотрим пример, в котором задача нахождения динамического максимального потока становится актуальной. Пусть агент бюро путешествий должен переправить в течение  $P$  часов  $K$  пассажиров из города  $A$  в город  $B$ . Данная проблема может быть следующим образом сведена к задаче о динамическом максимальном потоке. В соответствующем графе городу  $A$  соответствует источник, а городу  $B$  – сток. Каждый аэропорт, принадлежащий возможному маршруту перелета из  $A$  в  $B$ , также представлен некоторой вершиной. В рассматриваемом графе соединим вершины  $x$  и  $y$  дугой только в том случае, если имеется беспосадочный рейс между соответствующими аэропортами. Время прохождения каждой дуги  $(x, y)$  соответствует времени полета между соответствующими аэропортами, округленному до часов. (В длительность полета должно быть включено время пересадки в соответствующем аэропорту с одного рейса на другой.) Пропускная способность

$c(x, y, T)$  дуги  $(x, y)$  в момент времени  $T$  равно числу мест на соответствующий рейс с временем отправления  $T$ . Если указанного рейса нет, то полагается  $c(x, y, T) = 0$ . Рассматриваемая практическая задача имеет решение, если в построенном выше графе существует динамический поток в  $K$  единиц из источника в сток за период в  $P$  интервалов времени и если мы можем этот поток построить.

Задача поиска максимального динамического потока является более сложной, чем задача поиска максимального потока. Это связано с тем, что при рассмотрении задачи о динамическом потоке необходимо проследивать перемещение каждой единицы потока с тем, чтобы ни в один момент времени ни для одной дуги не была превышена ее пропускная способность. В [2] показано, что такое дополнительное усложнение задачи о динамическом потоке (по сравнению с задачей о статическом потоке) можно обойти путем сведения первой задачи ко второй в «развернутом во времени» варианте исходного графа.

Обозначим через  $G_p$  развернутый во времени вариант исходного графа  $G = (X, A)$  для периода в  $p$  интервалов времени. Множество вершин графа  $G_p$  определяется как:

$$X_p = \{x_i : x \in X, i = 0, 1, 2, \dots, p\}. \quad (1)$$

Множество дуг графа  $G_p$  определяется как:

$$A_p = \left\{ (x_i, y_j) : (x, y) \in A, \right. \\ \left. i = 0, 1, \dots, p - t(x, y), j = i + t(x, y) \right\}. \quad (2)$$

Положим

$$c(x_i, y_j) = c(x, y, i). \quad (3)$$

Заметим, что множество вершин  $X_p$  графа  $G_p$  формируется из вершин множества  $X$ , каждая из которых продублирована  $p$  раз для каждого момента времени рассматриваемого периода. В графе  $G_p$  вершины  $x_i$  и  $y_j$  соединяются дугой  $(x_i, y_j)$ , если в исходном графе  $G$  поток может пройти из вершины  $x$  в вершину  $y$  за время  $(j - i)$ . Например, единица потока, выходящая из вершины  $x$  в момент времени 5 и затрачивающая при прохождении по дуге  $(x, y)$  время 8 единичных интервалов

времени, может быть представлена в графе  $G_p$  единицей потока, проходящей по дуге  $(x_5, y_{13})$ .

Любой динамический поток из  $s$  в  $t$  в графе  $G$  эквивалентен потоку из группы источников в группу стоков в графе  $G_p$ . Справедливо и обратное утверждение [1].

Поскольку каждый динамический поток эквивалентен статическому потоку в развернутом во времени варианте исходного графа, то максимальный динамический поток за период в  $p$  интервалов времени может быть определен с помощью соответствующего алгоритма поиска максимального (статического) потока в развернутом во времени варианте исходного графа (развернутом на период времени  $p$ ). Таким образом, нет необходимости в разработке нового алгоритма для решения задачи о динамическом потоке. Однако если  $p$  достаточно велико, то достаточно большим становится и граф  $G_p$ . Соответственно существенно возрастает объем вычислений, необходимых для поиска максимального потока в графе  $G_p$ .

Форд и Фалкерсон [2] разработали алгоритм поиска максимального динамического потока, который строит соответствующий поток значительно более эффективно, чем алгоритм поиска максимального потока после сведения задачи о динамическом потоке к обычной задаче о потоке. Алгоритм поиска максимального динамического потока может быть использован только для независимых от времени входных пропускных способностей, т. е. выполняться при условии, что  $c(x, y, T) = c(x, y)$  для всех  $T = 0, 1, \dots, p$  и всех дуг  $(x, y) \in A$ .

Заметим, что при обсуждении динамических потоков не рассматривалась возможность остановки или задержки в какой-либо вершине единицы потока в течение некоторого периода времени, прежде чем эта единица потока продолжит свое движение к стоку. Однако такая возможность является вполне реальной.

Для случая, когда допускается задержка потока, граф  $G$  следует скорректировать, добавив к нему дуги вида  $(x_i, x_{i+1})$ . При этом единицы потока, достигнув вершины  $x$ , могут быть отправлены из нее спустя некоторое время.

Поставим следующий вопрос: изменится ли величина максимального динамического потока за период в  $p$  интервалов времени при условии допустимости задержек потока? Очевидно, возможность задержки потока не может

привести к уменьшению этой величины. На самом деле, легко также показать, что величина максимального динамического потока за период в  $p$  единичных интервалах времени при наличии задержек не может и возрасти.

Т.к., в итоге, динамический поток эквивалентен статическому потоку в развернутом во времени варианте исходного графа то, используя рассмотренную в статье [3] методику, мы можем находить неоднородный динамический поток в транспортных сетях. Для этого модернизируем граф соответствующий статическому потоку, добавляя фиктивный источник  $s^*$  соединив его со всеми вершинами группы источников  $s_i$  для всех  $i = 0, 1, \dots, p$ , также добавим фиктивный сток  $t^*$  соединив его со всеми вершинами группы стоков  $t_i$  для всех  $i = 0, 1, \dots, p$ . Пропускные способности дуг  $(s^*, s_i)$  и  $(t_i, t^*)$  будут равны бесконечности для всех  $i = 0, 1, \dots, p$ . Таким образом, мы по-

лучили сеть с одним источником  $s^*$  и одним стоком  $t^*$ .

### Динамические потоки с ограничениями

Исследуем зависимость величины динамического максимального потока от ограничения, накладываемого индивидуальным свойством, на следующем примере. Рассмотрим задачу о динамическом максимальном потоке в сети (представленной в виде графа) с однородными носителями (рис. 1, 2), и с индивидуальными свойствами носителей потока (рис. 1, 3). Примем, что индивидуальным свойством является требование, согласно которому только 1 носитель должен перемещаться по траектории  $s \rightarrow x \rightarrow t$ . Такое индивидуальное свойство возникает в том случае, если среди носителей потока существуют такие, которые не могут совместно перемещаться по определенной траектории (например одни носители перевозят пассажиров, а другие опасный для жизни груз). Для нашего примера это траектория  $s \rightarrow x \rightarrow t$ .

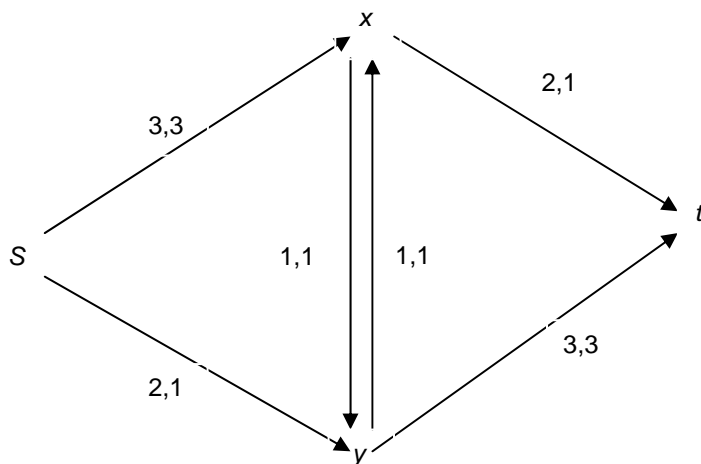


Рис. 1. Исходный граф (первое число, написанное около дуги, есть ее пропускная способность, а второе – время прохождения этой дуги)

Следует уточнить, что для «развернутых во времени» вариантах исходного графа (рис. 2, 3) вверху рисунков расположены значения единиц времени  $i = 0, 1, 2, 3, 4$ . Заметим, что множество вершин  $X_p$  графа  $G_p$  (рис. 2,  $p = 4$ ) формируется из вершин множества  $X$  графа  $G$  (рис. 1), каждая из которых продублирована  $p$  раз для каждого момента времени рассматриваемого периода. На рис. 2, 3 первое число, написанное возле дуги, есть ее пропускная способность, а второе – поток по этой дуге. Также в этих сетевых графах жирными линиями выделены дуги, которые включены в возможные маршруты перемещения единиц потока от ис-

точника  $s$  к стоку  $t$ . Для задачи рис. 1, 2 максимальный поток, рассчитанный согласно [4], равен 4, а для задачи рис. 1, 3 он равен 3. Это значит, что есть прямая зависимость величины динамического потока от индивидуальных свойств (неоднородностей) носителей потока.

### Выводы

Показано, что проблема оптимизации динамических потоков с учетом индивидуальных свойств носителей обобщает известные подходы планирования. В динамических потоковых задачах с учетом индивидуальных свойств носителей, на значение потока существенно



влияют не только виды и характеристики этих индивидуальных свойств, но и период времени,

за который рассматриваем поведение носителей потока.

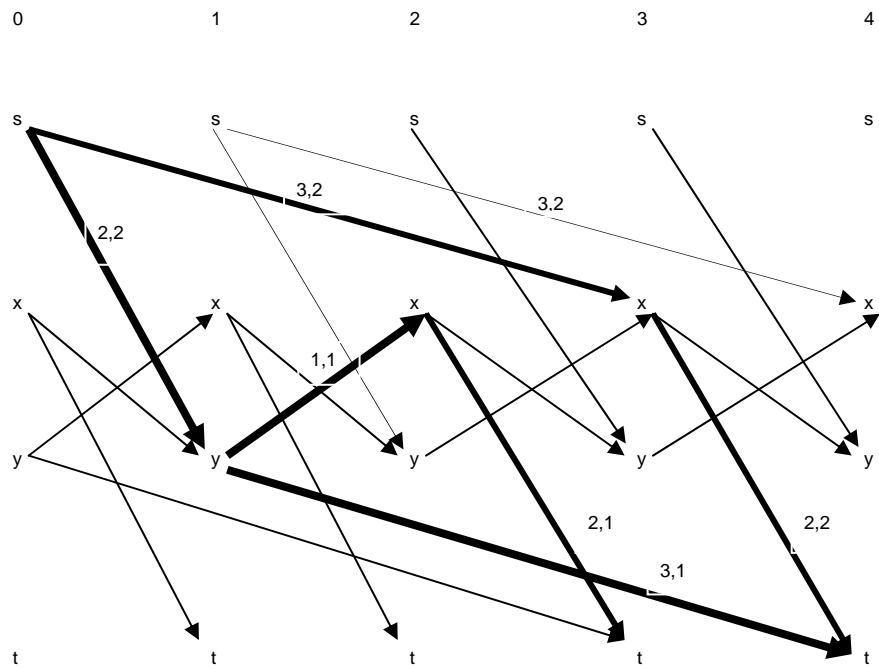


Рис. 2. «Развернутый во времени» вариант исходного графа ( $p = 4$ ) с найденным максимальным потоком без индивидуальных свойств носителей

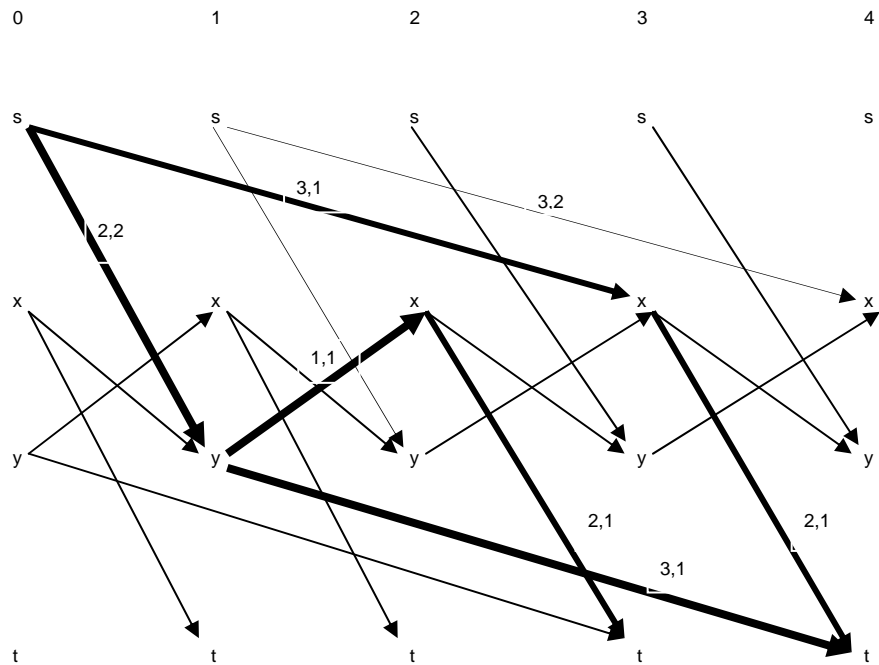


Рис. 3. «Развернутый во времени» вариант исходного графа ( $p = 4$ ) с найденным максимальным потоком с индивидуальными свойствами носителей

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мейника, Э. И. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах [Текст] / Э. И. Мейника. – М.: Мир, 1981. – 325 с.
2. Форд, Л. Р. Потоки в сетях [Текст] / Л. Р. Форд, Д. Р. Фалкерсон. – М.: Мир. 1966. – 276 с.
3. Скалозуб, В. В. Моделирование и анализ потоковых задач с неоднородными носителями [Текст] / В. В. Скалозуб, Л. А. Паник // Вісник

Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – № 19. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 27–31.

4. Филиппс, Д. И. Методы анализа сетей [Текст] / Д. И. Филиппс, А. Гарсиа-Диаз. – М.: Мир, 1984. – 496 с.

Поступила в редколлегию 22.03.2011.

Принята к печати 31.03.2011.

В. В. СКАЛОЗУБ, Л. О. ПАНИК

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ПЛАНУВАННЯ НЕОДНОРІДНИХ ДИНАМІЧНИХ ПОТОКІВ У ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ

У представленій статті виконаний аналіз динамічних потоків, коли одиниці потоку мають індивідуальні властивості (неоднорідності).

*Ключові слова:* динамічний потік, неоднорідний потік

V. V. SKALOZUB, L. A. PANIK

## AUTOMATION OF PLANNING THE HETEROGENEOUS DYNAMIC STREAMS IN TRANSPORT NETWORKS

The dynamic streams, when stream units have individual characteristics (heterogeneity), are analyzed in the article.

*Keywords:* dynamic stream, heterogeneous stream

В. И. УСПАЛЕНКО, Н. С. ЛЕСКОВСКАЯ (Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры)

## СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРИВЛЕЧЕНИЮ ТЕХНИКИ ИНВЕСТИЦИОННО- СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

Рассмотрено использование системы поддержки принятия решений по привлечению техники инвестиционно-строительного проекта. Данные исследования базируются на поиске оптимального плана использования техники путем минимизации стоимости и времени выполнения работ.

*Ключевые слова:* инвестиционно-строительный проект, система поддержки принятия решения, оптимизация

### Постановка проблемы

Информационная система управления инвестиционно-строительными проектами в современном мире рассматривается как основной инструмент достижения эффективных результатов в процессе привлечения техники для осуществления проектно-ориентированной деятельности. Высокая стоимость привлечения такого вида ресурса при реализации строительных проектов [1] позволяет разрабатывать исходное техническое задание на настройку системы управления техникой и осуществлять автоматизированное управление рассматриваемых процессов при помощи построения соответствующих математических моделей. Математическое моделирование процессов привлечения техники позволяет обеспечивать требуемое качество ресурсов, в необходимом количестве и в заданное время, а также снизить производственные издержки, обеспечив при этом эффективность реализации проекта. Компьютерная программа реализует моделирование процессов привлечения строительной техники и представляет собой аппаратно-программный комплекс [2], предназначенный для накопления, обработки, визуализации процессов протекающих в рамках проекта. Такая система должна обеспечивать поддержку принятия решений [3] и обеспечивать минимизацию издержек по использованию техники. С этой целью необходимо использовать систему поддержки принятия решения для управления такими процессами.

### Анализ последних исследований и публикаций

Исследованиями в области систем оптимального управления процессами использования ресурсов путем построения математиче-

ских моделей и автоматизированных систем проекта занимались как отечественные, так и зарубежные ученые [1, 2, 4], среди которых С. Д. Бушуев, Ю. Н. Тесля, Р. Б. Тянь, В. И. Воропаев, М. Л. Разу, В. Н. Бурков и др.

Последние исследования по построению системы поддержки принятия решения для управления процессом управления ресурсами инвестиционно-строительных проектов показывают, что большее внимание уделяется построению и использованию корпоративных программных средств [4]. Современный рынок таких систем представлен достаточно широким кругом профессиональных продуктов [5], которые обладают качественными характеристиками для реализации функций планирования и контроля за использованием ресурсов, среди которых Microsoft Project, Primavera Project Planner, Open Plan, Spider Project и многие другие. Однако, несмотря на обширное количество программных продуктов, важнейшим их недостатком является отсутствие оптимизационных алгоритмов распределения ресурсов при одновременном снижении стоимости и времени выполнения работ.

Необходимость решения данных задач приводит к созданию качественно новой, учитывающей все недостатки существующих систем, более функциональной и удобной в использовании автоматизированной системы управления ресурсами.

### Формулировка целей статьи

На основании выше изложенного сформулируем основную цель статьи, которая заключается в постановке задачи оптимизации плана привлечения техники, построении оптимизационной математической модели, разработке алгоритма и создании системы поддержки принятия решений (СППР) «М-Plan» для управления

процессом привлечения техники инвестиционно-строительного проекта.

### Основной материал исследования

Стоимость использования техники, задействован при реализации строительных проектов, составляет значительную часть затрат в общей стоимости использования всех видов ресурсов и не всегда процесс её привлечения является рациональным и эффективным в рамках проекта [6]. Созданная СППР по управлению ресурсами призвана управлять процессом привлечения техники для осуществления проекта.

Рассмотрим постановку задачи оптимизации плана привлечения техники. Пусть инвестиционно-строительный проект  $\Theta$  состоит из множества  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_I\}$  работ, где  $I$  – мощность множества  $W$ . Для выполнения работ проекта необходимо задействовать ресурсы техники и рабочей силы. Пусть  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_K\}$  – множество видов ресурсов техники и рабочей силы, мощностью  $K$ , а  $\bar{\mu} = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_K)$  – вектор, определяющий количество доступных единиц техники / рабочей силы каждого вида. Пусть  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_G\}$  – множество типов подзадач из которых состоят работы, а  $G$  – мощность множества  $C$ . Максимальная производительность каждого вида техники при выполнении различных подзадач множества  $C$  определена матрицей

$$U = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1K} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{G1} & u_{G2} & \dots & u_{GK} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Пусть  $v_{ig} \geq 0$ , где  $v_{ig}$  – объем работ подзадачи  $s_{ig}$  типа  $c_g$ ,  $g = 1, 2, \dots, G$  работы  $w_i, i = 1, 2, \dots, I$ . Пусть  $\tau_{ig}, i \in \{1, 2, \dots, I\}, g \in \{1, 2, \dots, G\}$  – количество времени необходимое для выполнения подзадачи  $s_{ig}$  с применением  $a_{ig}^k$  единиц ресурсов техники  $m_k, k = 1, 2, \dots, K$ . Следовательно  $\tau_{ig}$  определяется по формуле

$$\tau_{ig} = \frac{v_{ig}}{\sum_{k=1}^K (u_{gk} \cdot a_{ig}^k)}. \quad (2)$$

Тогда  $\tau_i$  – длительность выполнения работы  $w_i$  определяется следующим образом

$$\tau_i = \max_{g=1,2,\dots,G} \tau_{ig}. \quad (3)$$

Пусть  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{2I}\}$  – множество моментов времени, в которое начинаются и заканчиваются работы множества  $W$ , где для  $\forall t_l, t_{l+1} \in T, t_l < t_{l+1}$ . В рамках данной модели перераспределение ресурсов на выполнение подзадачи  $s_{ig}, i = 1, 2, \dots, I; g = 1, 2, \dots, G$ , происходит в моменты времени  $l = 1, 2, \dots, 2I$ .

Пусть  $a_{ig}^{kl}$  – количество ресурсов типа  $m_k$ , которое выделяется в момент времени  $t_l$  для решения подзадачи  $s_{ig}, i = 1, 2, \dots, I; g = 1, 2, \dots, G$ ,  $a_{ig}^{kl} \in \mathbb{N}$ . Обозначим через  $\bar{a}_{ig}^{kl}$  вектор, который определяет распределение техники типа  $m_k \in M$  в момент времени  $t_l \in T$ , тогда  $\bar{a}_{ig}^{kl} = (a_{11}^{kl}, a_{12}^{kl}, \dots, a_{1G}^{kl}, \dots, a_{2G}^{kl}, \dots, a_{IG}^{kl})$ . Следовательно,  $e_l$  – финансовые затраты на использование ресурсов множества  $M$  на протяжении интервала времени  $[t_l, t_{l+1})$ ,  $l \in \{1, 2, \dots, 2I-1\}$  определяется по формуле

$$e_l = (t_{l+1} - t_l) \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G a_{ig}^{kl} \cdot \rho^k, \quad k = 1, 2, \dots, K, l = 1, 2, \dots, 2I-1, \quad (4)$$

где  $\rho^k$  – стоимость одного часа использования единицы ресурса  $m_k$ . Обозначим через  $\bar{q} = (\bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_J)$  вектор, который определяет распределение техники и рабочей силы  $m_k, k = 1, 2, \dots, K$  в моменты времени  $t_l, l = 1, 2, \dots, 2I$  среди подзадач  $s_{ig}, i = 1, 2, \dots, I; g = 1, 2, \dots, G$ .

Пусть  $Q = \{\bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_J\}$  множество всех вариантов распределения техники и рабочей силы среди подзадач  $s_{ig}$  строительного проекта  $\Theta$ .  $J$  – мощность множества  $Q$ , вычисляется по следующей формуле

$$J = \left( \prod_{k=1}^K (\mu_k + 1) \right)^{2I-1}. \quad (5)$$

Тогда оптимизационную математическую модель можно представить следующим образом

$$\bar{q}^* = \arg \underset{\bar{q} \in \Psi \subseteq Q}{extr} F(\bar{q}), \quad (6)$$

где  $F(\bar{q})$  – векторный целевой функционал задачи,  $\Psi$  – множество допустимых решений, которые определяются системой ограничений:

$$\Psi : \begin{cases} \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G a_{ig}^{kl} \leq \mu_k, k=1, 2, \dots, K, \\ l=1, 2, \dots, 2I, \\ (t_{l+1} - t_l) \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G a_{ig}^{kl} \cdot \rho^k \leq D^{\max}, \\ k=1, 2, \dots, K, l=1, 2, \dots, 2I-1, \\ \sum_{l=1}^{2I-1} (t_{l+1} - t_l) \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G a_{ig}^{kl} \cdot \rho^k \leq R, \\ k=1, 2, \dots, K, l=1, 2, \dots, 2I-1, \\ t_{2I} < T^{\max}, \end{cases} \quad (7) \quad (8) \quad (9) \quad (10)$$

где (7) – ограничение по количеству допустимых ресурсов в момент времени  $t$ ; (8) – по затратам в определенный период времени  $t \in T$ ; (9) – по общей стоимости выполнения работ; (10) – по времени окончания строительных работ.

Рассмотрим особенности математической модели (6-10) задачи определения оптимального плана привлечения строительной техники:

1. Задача (6-10) является многомерной, многокритериальной оптимизационной задачей.

2. Частичные критерии качества задачи являются в общем случае нелинейными.

3. Множество  $Q$  содержит точки, которые в общем случае представляют точки запрета.

4. Область допустимых решений  $\Psi \subseteq Q$  задачи (6-10) является дискретным множеством и определяется системой из  $6K - 2K + 1$  линейных и нелинейных неравенств.

Таким образом, на основании особенностей 1-4, можно сделать следующие выводы:

1. Задача (6-10) является многокритериальной и NP-трудной задачей.

2. В общем случае многокритериальная форма функционала качества (6) определяет необходимость применения методов сведения многокритериальных задач к одной / набору однокритериальных задач.

3. Дискретный характер области допустимых решений определяет необходимость применения методов дискретной оптимизации для определения глобального экстремума задачи.

4. Поскольку количество локальных экстремумов для задач практической размерности достаточно большое, то может быть найдено только приближение к глобальному экстремуму.

На основании разработанной математической модели и методов дискретной оптимизации программный продукт, с использованием современных web-технологий, обладает всеми необходимыми возможностями для контроля, анализа и оптимизации данных по использованию техники. Программа имеет удобный интерфейс, предназначенный для специалистов. Выполнение функций системы осуществляется диалоговыми процедурами, с целью обработки и последовательного выполнения системных задач и предоставления дополнительной информации. Web-интерфейс предоставляет доступ к серверу системы, на котором содержится база данных рассматриваемых проектов и непосредственно СППР «М-Plan», в которой программно реализованы модель и методы оптимизации средствами языка Python с применением фреймворка Django, что обеспечивает работу программы в соответствии с моделью MVC (рис. 1).

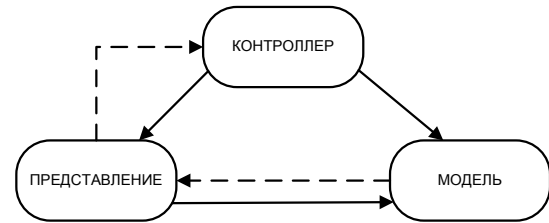


Рис. 1. Модель MVC

Модель MVC позволяет разделить данные, представление и обработку действий пользователя на три отдельных компонента:

- модель (Model) – предоставляет данные (обычно для View), а также реагирует на запросы (обычно от контроллера), изменяя своё состояние;

- представление (View) – отвечает за отображение информации (пользовательский интерфейс);

- контроллер (Controller) – интерпретирует данные, введённые пользователем, и информирует модель и представление о необходимости соответствующей реакции.

При этом, как представление, так и контроллер зависят от модели. Однако модель не зависит ни от представления, ни от контроллера. Это одно из ключевых достоинств подобного разделения. Оно позволяет строить модель независимо от визуального представления.

Система позволяет осуществлять оптимизацию плана привлечения техники инвестиционно-строительного проекта автоматически и работает по следующему алгоритму (рис. 2):

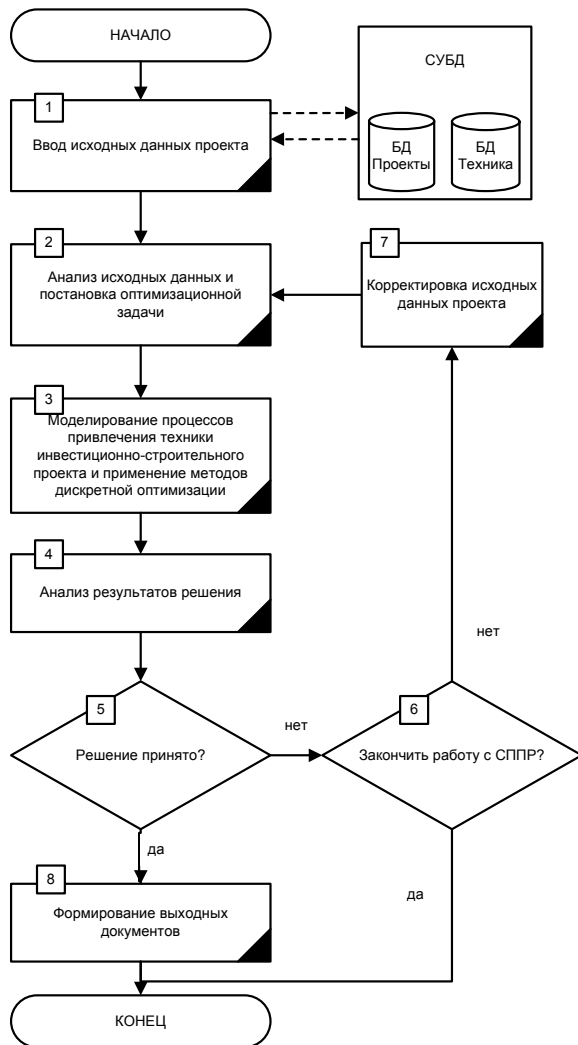


Рис. 2. Алгоритм работы системы поддержки принятия решений «М-Plan»

После ввода исходных данных проекта, запускается оценка времени и затрат на его реализацию, выполненный расчет выводит в удобном виде соответствующие результаты.

К основным особенностям данного продукта можно отнести:

- возможность составления календарного плана работ, с разбиением их на подзадачи, основываясь на производительности техники и объемах необходимых работ, с учетом соответствующих связей между ними;
- ресурсное планирование, расчет критического пути и резервов для оптимизации графика работ проекта, моделирование рисков;
- оптимизацию привлечения и использования техники путем минимизации затрат и времени выполнения работ проекта.

## Выводы

В работе рассмотрена задача оптимизации плана привлечения техники инвестиционно-строительного проекта. Разработана математическая оптимизационная модель данной задачи. Выполнен анализ особенностей математической модели, описана СППР «М-Plan», созданная на основе рассмотренной математической модели и методов дискретной оптимизации. Рассмотрены основные принципы работы системы «М-Plan», разработана система поддержки принятия решений, которая выполняет автоматизированное построение календарного плана, расчет критического пути, закрепление за работами проекта ресурсов техники, контроль уровня их загрузки и движения, возможность распределенного выполнения задач, расчет расписания, выравнивание ресурсов и генерацию отчетов по использованию ресурсов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бушуев, С. Д. Управление проектами: Основы профессиональных знаний и система оценки компетентности проектных менеджеров [Текст] / С. Д. Бушуев, Н. С. Бушуева (National Competence Baseline, NCB UA Version 3.0). – К. : ІРІДУМ, 2006. – 208 с.
2. Перевертун, І. М. Інформаційні технології комплексного організаційно-технологічного моделювання проектно-орієнтованих виробництв (на прикладі серійного будівництва) [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / І. М. Перевертун. – К., 2007. – 22 с.
3. Устенко, С. В. Інтелектуальні системи прийняття рішень в організаціях [Текст] / С. В. Устенко, О. П. Степаненко // Моделювання та інформаційні системи в економіці. – 2008. – № 78. – С. 28-35.
4. Структура организационных, методологических и технологических компонентов в современных системах управления проектами [Текст] / Ю. Н. Тесля [и др.] // Вісник ЧДТУ. – 2009. – № 2. – С. 50-54.
5. Тесля, Ю. М. Інформаційна технологія управління проектами на базі ERPP (Enterprise resources planning project) APE (Administrated projects of the enterprise) систем [Текст] / Ю. М. Тесля, А. О. Білощицький, Н. Ю. Тесля // Управління розвитком складних систем. – 2010. – № 2. – С. 16-20.
6. Товб, А. С. Управление проектами: стандарты, методы, опыт [Текст] / А. С. Товб, Г. Л. Ципес. – 2-е изд. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. – 240 с.

Поступила в редколлегию 07.04.2011.

Принята к печати 19.04.2011.

В. І. УСПАЛЕНКО, Н. С. ЛЕСКОВСЬКА

## **СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ЗАЛУЧЕННЯ ТЕХНІКИ ІНВЕСТИЦІЙНО-БУДІВЕЛЬНОГО ПРОЕКТУ**

Розглянуто використання системи підтримки прийняття рішень із залучення техніки інвестиційно-будівельного проекту. Дослідження базуються на пошуку оптимального плану використання техніки шляхом мінімізації вартості та часу виконання робіт.

*Ключові слова:* інвестиційно-будівельний проект, система підтримки прийняття рішення, оптимізація

V. I. USPALENKO, N. S. LESKOVSKAYA

## **DECISION SUPPORT SYSTEM TECHNOLOGY TO ATTRACT INVESTMENT AND CONSTRUCTION PROJECT**

Examines the use of automated process control system, bringing technology to the implementation of investment and construction project. These studies are based on finding the best plan for the use of machinery by the criterion of minimizing the cost and time of execution.

*Keywords:* investment and construction project, decision support system, optimization

Л. И. ВАКУЛЕНКО (Вагонное депо «Нижеднепровск-Узел»),  
В. Г. АНОФРИЕВ (ДИИТ)

## ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАТАНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

Рассмотрены вопросы относительно особенностей эксплуатации цельнокатаных железнодорожных колес с повышенным уровнем прочности и разным структурным состоянием.

*Ключевые слова:* железнодорожное колесо, сталь, прочность, структура, эксплуатация

В процессе эксплуатации железнодорожные колеса и бандажи по поверхности катания подвергаются достаточно большим суммарным пластическим деформациям [1], с высокой степенью неоднородности ее распределения [2]. Накопление дефектов кристаллического строения в углеродистых сталях сопровождается возрастанием твердости металла с одновременным снижением пластических характеристик [3]. С учетом существования предельно допустимой концентрации накопленных дефектов кристаллического строения [4], процесс пластического деформирования при приближении к указанной степени дефектности, сопровождается достаточно быстрым переходом металла в состояние с низким сопротивлением зарождению трещины.

На переход металла железнодорожных колес в хрупкое состояние, кроме степени наклепа от деформации, определенное значение имеют температура окружающей среды и режимы эксплуатации [5]. Известно, что одновременное снижение температуры деформации и повышение степени пластической деформации способствуют ускорению процессов зарождения очагов разрушения в металлических материалах с различным структурным состоянием [3]. Аналогичное за характером влияние наблюдается и при повышении скорости нагружения металла [4].

Кроме величины пластической деформации, определенное влияние на структуру и свойства металла железнодорожных колес наблюдается от степени его разогрева и условий охлаждения при эксплуатации колес. Так, при торможении подвижного состава, уже незначительные отклонения от условий одновременного срабатывания тормозных элементов, может приводить к очень быстрому нагреву металла колеса (в объемах вблизи с поверхностью катания) до достаточно высоких температур [3]. Указанное повышение температуры может достигать уровня начала развития процессов фазовых превращений, что при высоком градиенте тем-

ператур обязательно приведет к возникновению остаточных внутренних напряжений.

Длительный процесс разогрева металла при последующем торможении может сопровождаться локальным сдвигом одних объемов металла колеса относительно других, что при дальнейшей эксплуатации приведет к формированию очагов повреждения на поверхности катания колеса.

С другой стороны, даже в случае отсутствия условий проскальзывания колеса по рельсу, после прекращения торможения ускоренное охлаждение разогретого металла набегающим потоком воздуха и теплоотводом в более холодные внутренние объемы металла колеса, могут привести к смене механизма структурных превращений. Кроме диффузионного, превращение может развиваться по промежуточному или даже по сдвиговому механизмам. Учитывая ограничения по накоплению дефектов кристаллического строения, металл с указанными структурами должен достаточно быстро перейти в хрупкое состояние. На основании этого можно с уверенностью полагать, что процесс накопления дефектов кристаллического строения в металле железнодорожных колес и бандажей при эксплуатации, является вполне закономерным явлением, которое необходимо учитывать при разработке технологии их изготовления. На основании этого, перспективными представляются предложения, направленные на снижение темпа накопления дефектов при эксплуатации железнодорожных колес.

*Целью настоящей работы* является оценка влияния степени деформации по поверхности катания железнодорожных колес различной прочности на формирование повреждений при эксплуатации.

В условиях Украины, для изготовления железнодорожных колес, в основном используются стали с содержанием углерода от 0,55 до 0,65 %. По стехиометрии объемная доля структурно свободного феррита в указанных сталях



может достигать 25...30 %, остальное – перлитная составляющая (рис. 1).



Рис. 1. Структура стали с 0,6 % углерода после ускоренного охлаждения до температуры 650 °С. Увеличение 800

Учитывая аддитивный характер влияния структурных составляющих на прочностные свойства стали, диспергирование фаз сопровождается закономерным увеличением прочности металла [3]. С другой стороны, не менее значительное влияние наблюдается со стороны морфологии структурных составляющих и, в первую очередь карбидной фазы. По сравнению с цементитом глобулярной формы, который остается практически неизменным после значительных пластических деформаций, пластинчатый – наоборот, способен выдерживать значительные пластические деформации без разрушения [4]. Указанная способность цементита определяет сопротивление металла железнодорожного колеса формированию повреждений по поверхности катания. Так, с повышением дисперсности перлита возрастает энергия зарождения трещины [4], ресурс накопления дефектов кристаллического строения при холодном деформировании. На основании этого, для среднеуглеродистых сталей с перлитной структурой, которые используются для изготовления железнодорожных колес, основным структурным элементом является толщина ферритного промежутка перлитной колонии.

Одним из направлений повышения прочностных свойств, сопротивления зарождению трещин, износостойкости углеродистых сталей, кроме легирования, является использование термического упрочнения. Технология представляет собой ускоренное охлаждение элементов железнодорожного колеса, в зависимости от формы их сечения и условий нагружения при эксплуатации. Возрастание интенсивности теплоотвода при охлаждении обода железнодорожного колеса, сопровождается измельчением перлитных колоний,

уменьшением толщины ферритного промежутка перлита. Одновременно с этим, можно наблюдать уменьшение количества структурно свободного феррита. Перечисленные изменения структурных составляющих металла приводят к возрастанию прочностных характеристик железнодорожного колеса.

После достижения в определенных объемах железнодорожного колеса критической скорости охлаждения, могут начинать формироваться участки с признаками превращения по сдвиговому механизму (рис. 2). Формирование структур по промежуточному или сдвиговому механизму является направлением по дальнейшему повышению прочности металла после исчерпания возможности упрочнения за счет использования перлитных структур.



Рис. 2. Структура углеродистой стали с 0,6 % С после ускоренного охлаждения до 575 °С. Увеличение 800

Одним из наиболее перспективных направлений достижения высокопрочного состояния в сталях, по сравнению с улучшением (закалка с отдельного нагрева с последующим отпуском), является технология термомеханического упрочнения [6]. Указанная технология основана на наследовании структурами превращения при термическом упрочнении деформированного состояния аустенита. Необходимо отметить, что стали после термомеханической обработки обладают при достаточно высоком уровне прочностных свойств, повышенным запасом пластичности и трещиностойкости. Однако, как следует из анализа экспериментальных данных [6], широкого распространения получили изделия с указанными структурами, когда условия термомеханического упрочнения может быть реализовано технологически.

Анализ технологии изготовления катаных железнодорожных колес в современных условиях указывает на достаточные трудности в реализации условий термомеханического упрочнения.

Дело в том, что в процессе отдельного нагрева после окончания горячей формообразующей деформации, состояние наклепа аустенита в железнодорожном колесе практически не сохраняется. Кроме этого, с учетом больших сечений металла (например, обод колеса) достигнуть критической скорости охлаждения на глубинах более 10...15 % от общей толщины обода, представляется достаточно трудным процессом. Таким образом, по толщине обода железнодорожного колеса, в результате термического упрочнения (принудительное охлаждение водой обода) неизбежно будет формироваться достаточно неравномерная структура. Структура, в зависимости от условий теплоотвода от поверхности будет меняться в определенной последовательности, в зависимости от нагрева до различных температур и сформированных по сдвиговому, промежуточному или диффузионному механизмам. Учитывая, что железнодорожные колеса, равно как бандажи и рельсы, в процессе эксплуатации подвергаются достаточно сложным воздействиям высоких температур нагрева и пластических деформаций [1, 2, 7], выбор оптимального структурного состояния для высокопрочных колес является достаточно сложным решением. Обусловлено приведенное положение недостаточным сопротивлением структур сформированных по сдвиговому механизму, зарождению повреждений металла колеса в сложных условиях нагружения. Кроме этого, сформированная структурная неоднородность по толщине обода железнодорожного колеса, по мере его износа в результате эксплуатации или после восстановления профиля катания, может сопровождаться переводом металла колеса по комплексу свойств от упрочненного состояния в состояние близкое к горячекатаному. На основе этого, после операции восстановления поверхности катания, неизбежно возникнут отклонения в поведении металла в процессе наклепа при эксплуатации. Можно с уверенностью ожидать изменения и в развитии процессов формирования очагов разрушения и последующего их роста. Перечисленные факторы неизбежно приведут к снижению эксплуатационной безопасности колес по сравнению с комплексом свойств, полученным сразу после термического упрочнения. На основе этого представляется целесообразным более детально рассмотреть поведение металла колеса со структурами повышенного и высокопрочного состояний в сложных условиях взаимодействия с рельсом.

Учитывая существование качественной зависимости износа колеса от твердости металла,

повышение твердости должно способствовать снижению указанной характеристики. Однако, увеличение прочностных свойств только одной составляющей пары «колесо – рельс» неизбежно приведет к росту износа другой составляющей. Анализ обобщенных данных [2] указывает на существование определенного соотношения между твердостью колеса и рельса, что определяет условия их минимального износа. Для условий минимального износа, соотношение по твердости металла колеса к твердости рельса должно составлять при проскальзывании до 1 % примерно 1,2, а для проскальзывания до 10 %: 1,0...1,1. На основании этого вопросы повышения твердости и прочностных свойств колес должны решаться только в комплексе с аналогичными решениями для рельсов. Более того учитывая, что одинаковый уровень твердости и прочностных характеристик в сталях может быть достигнут при разных структурных состояниях, дополнительным условием может быть стремление к подобию внутреннего строения металла колес и рельсов. Обусловлено приведенное положение зависимостью реакции (деформационным упрочнением) металла колес, бандажей и рельсов в месте контакта от их структурного состояния [1, 2]. Особенную актуальность приобретает указанное положение для сложных реальных условий эксплуатации, таких как циклическая смена температур, напряжений в зоне контакта, агрессивного влияния окружающей среды. Подтверждается это опытом использования железнодорожных колес с повышенной и высокой прочностью.

Так, при замене железнодорожных колес с пределом прочности до 1000 МПа (типа КП-2) на высокопрочные с пределом прочности до 1100...1400 МПа (типа КП-Т), было обнаружено повышение износостойкости на 30...40 %. Однако, как показали ходовые испытания, на колесах КП-Т существенно возросло количество дефектов по поверхности катания, таких как ползуны, выщерблины и т.д. [8]. Если учесть, что высокопрочное состояние металла колеса КП-Т достигали за счет повышения содержания углерода до 0,63...0,67 %, марганца до 0,7...0,8 %, с одновременным микролегированием ванадием (0,09...0,1 %), при уровне твердости 325...340 НВ, величина трещиностойкости, особенно при пониженных температурах, была заметно пониженной. Одно из объяснений снижения сопротивления формированию дефектов по поверхности катания в указанных колесах может быть развитие пластического течения металла в приповерхностных с ободом

об'ємах [1, 2, 8]. Действительно, если учесть что в процессе торможения тонкий слой металла в зоне контакта способен разогреваться до температур начала фазовых превращений, можно ожидать различного его поведения при высокотемпературной деформации. Экспериментально установлено, что скорость снижения прочностных свойств высокопрочной стали, начиная от температур 500...525 °С превосходит аналогичную характеристику стали КП-2 [8]. На основе этого становится понятным, что одной из причин прироста количества повреждений по поверхности катания высокопрочных колес может быть повышенная пластичность разогретого металла. Кроме роста уровня остаточных внутренних напряжений, металл железнодорожного колеса будет дополнительно подвергаться воздействию от асимметрии цикла нагружения. Таким образом, совместное влияние указанных факторов должно привести к вполне закономерному ускорению зарождения трещин различной природы происхождения. Дополнительные свидетельства роста хрупкости металла подтверждаются данными по снижению сопротивления металла высокопрочных железнодорожных колес процессам зарождения трещин усталостного характера [5, 8].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрейко, І. О. Дослідження пошкоджуваності поверхні кочення залізничних коліс [Текст] /

- І. О. Андрейко, В. В. Кулик, В. І. Прокопеч // Машинознавство. – 2011. – № 2. – С. 30–33.
2. Дефекти залізничних коліс [Текст] / І. О. Вакуленко [та ін.]. – Дніпропетровськ: Маковецкий, 2009. – 112 с.
3. Вакуленко, І. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали [Текст] / І. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Д.: Маковецкий, 2008. – 196 с.
4. Бабич, В. К. Деформационное старение стали [Текст] / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
5. Низькотемпературна циклічна тріщиностійкість сталей залізничних коліс [Текст] / О. П. Остап [та ін.] // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2008. – № 4. – С. 52-57.
6. Бернштейн, М. Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов [Текст] / М. Л. Бернштейн. – М.: Металлургия, 1968. – Т. 1, 2. – 1171 с.
7. Андрейко, І. М. Структура та опір руйнуванню сталей в різних зонах залізничних коліс [Текст] / І. М. Андрейко, О. П. Остап, В. В. Кулик // Машинознавство. – 2008. – № 5. – С. 18–21.
8. Остап, О. П. Проблеми експлуатаційної надійності і довговічності високоміцних залізничних коліс [Текст] / О. П. Остап, І. М. Андрейко, В. В. Кулик // Тези доп. 71-ї Міжн. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д.: ДПТ, 2011. – С. 368-370.

Поступила в редколлегию 12.10.2011.

Принята к печати 20.10.2011.

Л. І. ВАКУЛЕНКО, В. Г. АНОФРІЄВ

## ПОШКОДЖУВАНІСТЬ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ КАТАНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ

Розглянуті питання стосовно особливостей експлуатації суцільно катаних залізничних коліс з підвищеним рівнем міцності та різним структурним станом.

*Ключові слова:* залізничне колесо, сталь, міцність, структура, експлуатація

L. I. VAKULENKO, V. G. ANOFRIEV

## THE DAMAGE AT EXPLOITATION OF HIGH STRENGTH ROLLING RAIL WHEELS

The observed question of the use of high strength rolling railway wheels with different state structures in rolling stock.

*Keywords:* railway wheels, steel, strength, structure, exploitation

## ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРИ ВИРІШЕННІ ІНЖЕНЕРНИХ ЗАВДАНЬ

У роботі розглядаються підходи по використанню положень теорії імовірності та статистики при вирішенні питань проектування технологічних процесів. На основі аналізу відомих методів запропоновано методику побудови залежностей з використанням законів розподілення функцій випадкових змінних.

*Ключові слова:* Теорія імовірності, статистика, технологія, функція, сталь

Теорії імовірності та статистики як прикладні дисципліни займають визначене положення в теоріях проектування. Обумовлене наведене положення тим місцем, яке займають теорії імовірності та статистики як дисципліни в математиці. Визначення, що використовуються при цьому, охоплюють діапазон від абсолютно абстрактних аксіом, строгого поняття відносної частини події до суб'єктивного її визначення.

Переважаюче поширення отримав нормальний закон розподілення, який використовується в моделях, що описують випадкову природу будь-якої величини.

Представляє визначений інтерес припущення, що математичне очікування є однією з характеристик, що дозволяють відобразити властивості випадкової величини. З іншого боку, математичне очікування може бути поставлене на один шабел з модою, медіаною або навіть з середнім значенням. Використання математичного очікування для вирішення поставлених питань пояснюється з наступного: середнє значення із вибірки може розглядатися як випадковий параметр, а закон його розподілення прагне до нормального.

В теорії імовірності та статистики достатньо часто спостерігається нагромадження одного невизначеного поняття на інше. В роботі зроблено спробу використання операції кодування при моделюванні невизначеної ситуації.

**Інженерне визначення імовірності.** Визначення імовірності, яке є найбільш прийнятним, в дійсності має суто суб'єктивний характер. Імовірність – це суб'єктивна міра, або кодифікація, яка пов'язана з оцінкою степені правдоподібності тої чи іншої події. Наведена міра обмежена границями від нуля (подія неправдоподібна) до одиниці (цілковита впевненість у тому, що подія обов'язково відбудеться). Таке визначення не виключає можливість використання поняття очікуваної відносної частоти події, як однієї з можливих інтерпретацій смислу імовірнісної оцінки.

Однією із важливих задач при розробленні методики підходу до застосування поняття імовірності є пошук методів найкращого узгодження прийнятого рішення із достовірними даними. Наявність достовірних даних ще не є достатнім для визначення випадкової природи тієї чи іншої величини; необхідним є ще й значний об'єм цих даних. Для конкретно опису характеру змін величини можна побудувати гістограму і підібрати криву, яка може бути прийнята за функцію розподілення, як показано на рис. 1. З іншого боку, на рис. 2 наведено зміни, до яких може привести зміна кількості інтервалів.

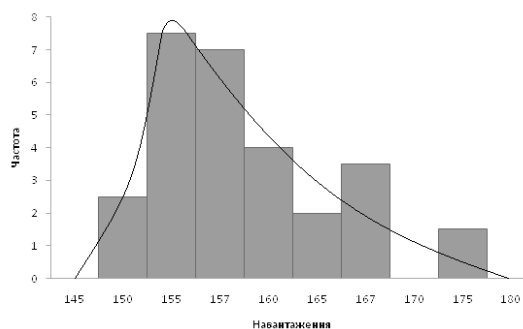


Рис. 1. Відображення випадкової змінної за допомогою гістограми

**Побудова імовірнісних моделей.** Основною проблемою, із якою зіштовхуються при застосуванні теорії імовірності, є визначення законів розподілення, які описують досліджувані величини. Представляє визначений інтерес застосування функції густини імовірності як засобу кодифікації невизначеності та оцінки імовірності подій, пов'язаних із даними випадковими величинами. При наявності значної вибірки досліджуваних величин вдається побудувати функцію густини імовірності. Однак чим більший об'єм вибірки, тим менша гарантія надійності прийнятого рішення. При статистичному підході враховуються лише такі підходи, які дозволяють визначати параметри тільки кількох стандартних теоретичних законів розподі-

лення – нормального, експоненціального, гамма і бета. Може бути застосована теорія розподілення Вейбулла (розподілення імовірностей неперервної випадкової величини  $X$ , функція розподілення якої задається формулою

$$F(x) = 1 - \exp[-(x/b)^c],$$

де  $0 \leq x < \infty, b > 0, c > 0$ ).

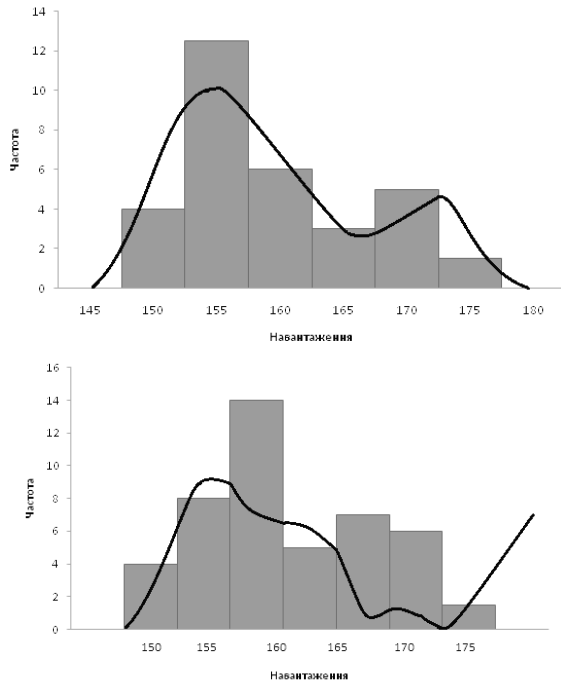


Рис. 2. Побудова показників з рис. 1 при різній кількості інтервалів

При статичному підході оцінка достатньо часто ускладнюється використанням декількох конкуруючих методів оцінки параметрів. Однак, який із них вибрати – задача дуже складна. Хоча відомі і критерії згоди, які дозволяють кількісно охарактеризувати степінь співпадіння при порівнювальному оцінюванні. Можна вважати достатньо розповсюдженим метод, який дозволяє підігнати існуючі дані до заздалегідь заданого закону розподілення і одночасно бути впевненим в коректності зробленого припущення. Такий підхід має назву метод середнього або рангових графіків [1]. З теорії порядкових статистик [2] слідує, що при розташуванні відліки у порядку зростання, значення кумулятивної функції розподілення, яке відповідає  $x_i$ , може бути знайдене за допомогою співвідношення:

$$F(x_i) = \frac{i}{n+1},$$

де  $n$  – об'єм виборки.

Приведення до залежності у вигляді лінії, за рахунок відповідного перетворення змінної,

отримується чітка пряма залежність кумулятивної функції від представлених даних (рис. 3). Для оцінки ступеня коректності вибраної функції розподілення можна використовувати критерій згоди або довірчі інтервали.

Існують методи побудови функцій густини імовірності згідно отриманих даних, на основі прийняття заздалегідь деякого теоретичного закону розподілення.

Один із методів, який наведений на рис. 1, зводиться до побудови гістограми з використанням згладженої та нормованої функції густини імовірності. Об'єм вибірки повинен бути достатньо великим. Така методика припускає обрахування перших 4...6 моментів і побудови розподілення максимальної ентропії; з використанням співвідношень [2]:

$$S = - \int_R f(x) \cdot \ln[f(x)] dx = \max$$

$$\int_R f(x) dx = 1,$$

$$\int_R x f(x) dx = \mu,$$

$$\int_R (x - \mu)^i f(x) dx = c_i,$$

де  $i = 2, \dots, m$ ;

$S$  – ентропія;

$f(x)$  – функція густини імовірності випадкової величини  $X$ ;

$\mu$  – математичне очікування;

$c_i$  –  $i$ -й центральний момент;

$m$  – кількість моментів, які використовуються.

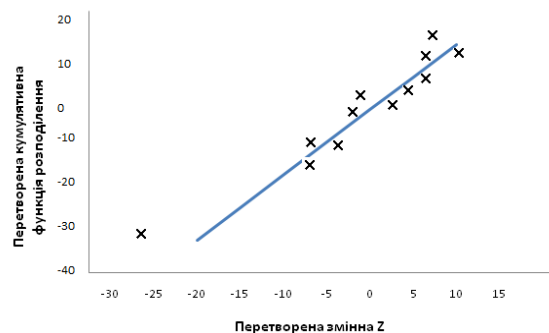


Рис. 3. Лінеаризований середньоранговий графік для розподілення Вейбулла

Наведені залежності фактично визначають параметри функцій:

$$f(x) = \exp(\lambda_0 + \lambda_1 x + \lambda_2 x^2 + \dots + \lambda_m x^m).$$

Це дозволяє отримати доволі спрощені за формою функції густини імовірності. Харак-

терний приклад, наведений на рис. 4, який відповідає кривій що побудована для вибирання із 26 елементів. Вигляд правої частини вказує на присутність викиду; сімейство кривих відповідає різним нижнім границям. З аналізу отриманих кривих можна визначити конкретну нижню межу елемента, а також прийняти рішення про необхідність врахування або нехтування викидами.

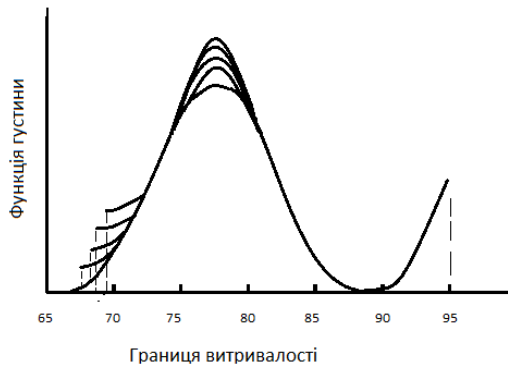


Рис. 4. Функція густини максимальної ентропії

**Еволюційний метод побудови функцій густини імовірності.** Гіпотеза про еволюційну стохастичну подібність полягає у тому, що умови моделювання і зовнішній вплив по суті є подібними. При цьому форма імовірності функції являється сталою і змінюється лише масштаб. Із цього виходить, що існує деяке апріорно відоме перетворення змінного параметру, яке і визначає зміну масштабу:

$$x_n - l_n = k_S (x_0 - l_0),$$

де  $x_n$  – змінна величина, яка характеризує новий елемент конструкції;

$x_0$  – змінна, яка характеризує старий елемент;

$k_S$  – параметр перетворення, або еволюційний коефіцієнт;

$l_n$  – нижня границя нового елемента;

$l_0$  – нижня границя для старого елемента.

Співвідношення між функціями густини імовірності має вигляд [3]:

$$f_n(x_n) = \frac{1}{k_S} f_0(x_0) = \frac{1}{k_S} f_0 \left[ l_0 + \frac{1}{k_S} (x_n - l_n) \right].$$

Якщо дані про новий елемент відсутні, але є хоча б невелика вибірка його даних, то їх можна використовувати для перебудови попередньої функції густини імовірності. Параметри  $k_S$  та  $l_n$ , можна визначити за допомогою графіку середнього рангу, застосовуючи метод найменших квадратів. Після упорядкування

елементів вибірки, для випадкової пари значень  $k_S$  та  $l_n$  може бути оцінена нова теоретична кумулятивна функція розподілення по елементу  $x_i$ :

$$F_n(x_i) = \int_n^{x_i} f_n(x) dx = F_0 \left[ l_0 + \frac{1}{k_S} (x_i - l_n) \right],$$

де  $i = 1, n$ .

Розходження між теоретичним значенням і визначеними з аналізу залежності середнього рангу і оцінюються співвідношенням [4]:

$$U = \sum_{i=1}^n \left[ F_n(x_i) - \frac{i}{n+1} \right]^2 = \min$$

або за допомогою стандартної методики оптимізації.

В якості практичного використання наведеного підходу, розглянемо данні конструкційної сталі 09Г2 (ГОСТ 19281-73). Одне із значень межі плинності приймається в якості «старої» випадкової змінної, а друге буде «новим». На основі «нового» розподілення складається теоретична вибірка у вигляді [2] (модель реальної вибірки). Далі, таку функцію густини розподілення (нову) порівнюють з «новим» законом розподілення (рис. 5) та визначають необхідні дані.

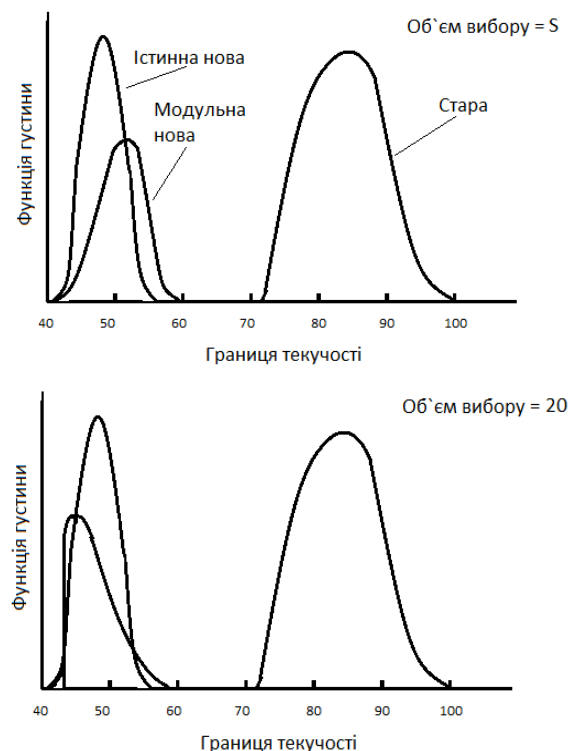


Рис. 5. Еволюційна функція густини: стара змінна (границя текучості для сталі 09Г2), нова змінна (границя текучості для конструкційної сталі з вмістом вуглецю 0,17 %)

На основі використання розглянутих методик по вибору функцій густини імовірності, стає можливим розробити алгоритм, який може бути застосований до будь-якого визначеного закону розподілення.

### **Висновок**

Розглянуті методичні підходи можуть бути корисними для побудови функцій густини імовірності при аналізі процесів з використанням стохастичної оптимізації.

### **БИБЛИОГРАФИЧНИЙ СПИСОК**

1. Хан, Г. Статистические модели в инженерных задачах [Текст] / Г. Хан, С. Шапиро. – М. : Мир, 1979. – 232 с.

2. Янг, Л. Лекции по вариационному исчислению и теории оптимального управления [Текст] / Л. Янг. – М. : Мир, 1974. – 488 с.
3. Сиддол, Э. Вероятностное проектирование с использованием кривых распределения, получаемых по заданным моментам максимизации функции энтропии [Текст] / Э. Сиддол, Д. Дайаб // Конструирование и технология машиностроения. - 1985. - № 3. – С. 64–71.
4. Айвазян, С. А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М. : Финансы и статистика, 1993. – 386 с.

Поступила в редколлегию 03.11.2011.

Принята к печати 09.11.2011.

А. Я. КУЛИЧЕНКО

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАНИЙ**

В работе рассматриваются подходы по использованию положений теории вероятности и статистики при решении вопросов проектирования технологических процессов. На основе анализа известных методов предложена методика построения зависимостей с использованием законов распределения функций случайных переменных.

*Ключевые слова:* теория вероятности, статистика, технология, функция, сталь, металл

A. KULICHENKO

## **THE PROJECTION AND OPTIMIZATION AT SOLVE ENGINEERING PROBLEMS**

The thesis studies of use position of the probability theory and statistics at solve of questions technology processes. The thesis represents the most prevailing methods and suggests methods of developing laws of function distribution of new random variables.

*Keywords:* probability theory, statistic, technology, function, steel, metal

В. Л. МАЛИНОВ (Приазовский государственный технический университет, Мариуполь)

## ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МЕТАСТАБИЛЬНОГО АУСТЕНИТНОГО ХРОМОМАНГАНЦЕВОГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

В работе показано, что за счет применения рациональных режимов отпуска, поверхностной пластической деформации, цементации с последующей нормализацией, может быть существенно повышена износостойкость при сухом трении металла со структурой метастабильного аустенита, полученного наплавкой проволокой ПП-Нп 14Х12Г12СТ.

*Ключевые слова:* режим отпуска, деформация, метастабильный аустенит, цементация, нормализация, структура

### Постановка проблемы

Ресурсосбережение является одной из главных задач, решаемых на предприятиях. Это обусловлено постоянно растущими ценами на железорудное сырье, другие материалы и, как следствие, на металл. Электродуговая наплавка является одним из наиболее широко применяемых в промышленности способов восстановления деталей, и инструментов. Современные наплавочные материалы зачастую не обеспечивают долговечности, а также в ряде случаев содержат в своем составе большое количество дорогих легирующих элементов (никеля, молибдена, вольфрама и др.). В результате ремонт оборудования требует больших затрат и их снижение является актуальной проблемой.

Перспективным направлением решения этой задачи является создание на Fe-Cr-Mn-C основе наплавочных материалов, а также повышение свойств наплавленного металла с применением термической, химико-термической и деформационно-термической обработок. При этом эффект достигается за счет получения в сплавах, наряду с другими составляющими метастабильного аустенита, превращающегося в мартенсит при нагружении в процессе эксплуатации.

### Анализ последних исследований и публикаций

На развитие мартенситных превращений расходуется значительная часть энергии внешнего воздействия и, соответственно, ее меньшая доля идет на разрушение. При этом важно управлять структурой и развитием мартенситных превращений, оптимизируя их применительно к конкретным условиям [1, 2]. Впервые идея создания метастабильных аустенитных сталей высказана в работах И. Н. Богачева и Р. И. Минца в середине 50-х годов прошлого века и реализована ими для создания кавитаци-

онностойких сталей [3, 4]. Первые наплавочные материалы этого типа были созданы под руководством М. И. Разикова. К ним относятся электроды УПИ 30Х10Г10 и порошковая проволока ПП-20Х10Г10Т [5]. Их широкому применению препятствовала трудная обрабатываемость резанием наплавленного металла. Это обусловило необходимость разработки наплавочного материала, обеспечивающего достаточную износостойкость и лучшую обрабатываемость резанием. Последнее может быть достигнуто за счет снижения в наплавленном металле содержания углерода, сильно упрочняющего аустенит и мартенсит деформации, образующийся при нагружении. В связи с уменьшением содержания углерода для повышения износостойкости целесообразно было легировать наплавленный металл кремнием и титаном – для получения мелкозернистой структуры и армирования аустенита карбидами. С учетом этого, для повышения долговечности быстроизнашивающихся деталей машин и механизмов, работающих в условиях сухого трения и контактного нагружения, разработана порошковая проволока ПП-Нп 14Х12Г12СТ [6], позволяющая получить в наплавленном металле структуру малоуглеродистого хромоманганцевого метастабильного аустенита, превращающегося при трении в мартенсит.

### Цель статьи

Показать новые возможности повышения износостойкости за счет наплавки деталей порошковой проволокой ПП-Нп 14Х12Г12СТ, в сочетании с последующими различными упрочняющими обработками.

### Изложение основного материала

Во многих случаях для наплавки деталей работающих в условиях сухого трения и кон-



тактного нагружения в настоящее время используют проволоки ПП-Нп 18Х1Г1М или Нп-30ХГСА, которые не позволяют получить высокую износостойкость наплавленного металла. Это обусловлено тем, что после низкотемпературного отжига проводимого с нагревом 550-600 °С для снятия напряжений после наплавки, в структуре наплавленного металла преобладает ферритная составляющая, имеющая низкое сопротивление разрушению.

Наплавку опытных образцов проводили в шесть слоев под флюсом АН-26 на пластину толщиной 30 мм из стали ВСтЗсп. Режим наплавки: сила тока  $I = 350-400$  А, напряжение  $U = 35-40$  В, скорость наплавки  $V = 40...45$  м/ч. Фазовый состав наплавленного металла определялся методом рентгеноструктурного анализа. Износостойкость определялась на опытных образцах размером 10х10х25 мм, вырезанных из наплавленного металла. Испытания износостойкости при сухом трении проводились по схеме колодка-ролик на установке М1-М. Ролик изготавливался из рельсовой стали М76 и термообработывался на твердость 320 НВ.

Изучалось влияние на износостойкость металла, наплавленного ПП-Нп 14Х12Г12СТ, температуры отпуска при температурах 250, 450 и 650 °С (выдержка 1 ч), холодной поверхностной пластической деформации и цементации. Эталонем сравнения служил металл, полученный наплавкой широко применяемой для восстановления крановых колес порошковой проволокой ПП-Нп 18Х1Г1М, после отжига при 600 °С, имеющий твердость 260 НВ.

Установлено, что наплавленный металл без последующей термообработки в 3,5 раза превосходит по износостойкости эталон (рис. 1).

Отпуск образцов, наплавленных ПП-Нп 14Х12Г12СТ, на 250 и 450 °С снизил их относительную износостойкость до  $\varepsilon = 3,1$  и 2,9, соответственно, а нагрев на 650 °С напротив, повысил до  $\varepsilon = 4,5$ . Определение методом рентгеноструктурного анализа количества мартенсита, образовавшегося на изнашиваемой поверхности, позволило объяснить наблюдаемую закономерность. Снижение износостойкости после отпуска при 250 и особенно 450 °С обусловлено стабилизацией аустенита по отношению к динамическому деформационному мартенситному превращению. Отпуск при 650 °С напротив, активизирует это превращение. Данный вывод подтверждают следующие данные.

В наплавленном металле, не подвергнутом термообработке, количество образовавшегося мартенсита деформации составляет 15 %. Отпуск

при 250 и 450 °С, соответственно, снижает его количество до 12 % и 9 %, а отпуск при 650 °С увеличивает количество мартенсита деформации до 25 %. Важно подчеркнуть, что после наплавки обычно проводят отпуск при 600...650 °С для снятия внутренних напряжений в деталях и наплавленном слое, и именно этот режим обеспечивает наибольшую износостойкость при наплавке ПП-Нп 14Х12Г12СТ (рис. 1). Данные лабораторных исследований, показавшие высокую износостойкость металла, наплавленного ПП-Нп 14Х12Г12СТ, подтверждены промышленными испытаниями на ОАО «ММК им. Ильича» крановых колес, долговечность которых в 5 раз превысила серийные, восстановленные проволокой ПП-Нп 18Х1Г1М.

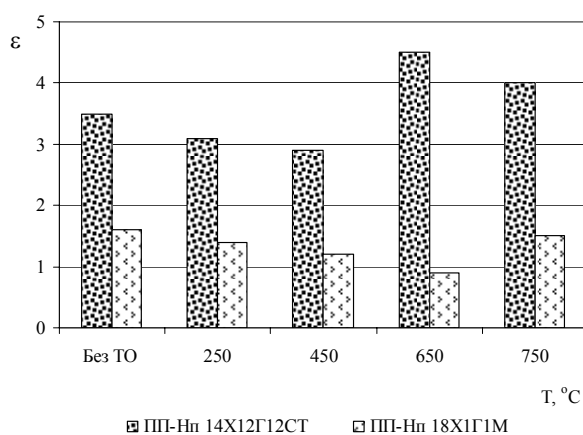


Рис. 1. Относительная износостойкость наплавленного металла после отпуска 1 ч при различных температурах

Твердость металла, наплавленного ПП-Нп 14Х12Г12СТ, не превышает 280 НВ. В ряде случаев она не достаточна, т. к. возможно изменение размеров деталей из-за смятия. Известен способ упрочнения деталей поверхностной пластической деформацией (ППД), которая осуществляется обкаткой роликом или обдувкой изделия стальной или чугунной дробью или др. [7]. Для получения различного количества мартенсита в поверхностном слое наплавленного металла осуществлялась ППД обкаткой роликом поверхности наплавленного металла на строгальном станке. Степень деформации варьировалась усилием прижатия ролика и/или количеством проходов. При этом изменялось количество мартенсита деформации, образующегося в поверхностном слое наплавленного металла, его твердость и износостойкость (табл. 1). Количество мартенсита деформации (магнитной фазы) контролировалось в процессе ППД с помощью ферритометра ФА-1М по величине тока отрыва.

**Твердость и износостойкость металла, наплавленного 14X12Г12СТ,  
при различных количествах магнитной фазы (мартенсита) после ППД**

Характеристики	Без ППД	Варианты ППД					
		1	2	3	4	5	6
Ток отрыва, мА	210...230	240...260	270...290	300...320	330...350	360...380	390...410
Количество магнитной фазы, %	14...16	19...21	24...26	29...31	34...36	39...41	44...46
Твердость НВ	260...280	290...310	320...340	350...370	380...400	410...430	440...460
Относительная износостойкость	3,5	4,0	4,7	5,3	5,1	4,9	4,2

Установлено, что наибольшая износостойкость ( $\varepsilon > 5$ ), достигается после ППД, когда в структуре поверхностного слоя образуется оптимальное количество мартенсита (29...36 %). При этом активизируется динамическое деформационное мартенситное превращение в процессе изнашивания (прирост мартенсита составляет 30...35 %). Твердость поверхностного слоя после проведения ППД повышается, что предупреждает изменение размеров деталей из-за смятия. Обычно при использовании ППД стремятся повысить твердость поверхности деталей до максимально возможного для материалов уровня. Однако применительно к наплавленному металлу со структурой метастабильного аустенита это недопустимо, поскольку приводит к образованию большого количества мартенсита уже после обработки и уменьшает его образование в процессе эксплуатации, что снижает износостойкость.

Эффективным способом повышения износостойкости, изученным в данной работе, является цементация. Следует отметить, что наплавка износостойкими высокоуглеродистыми

материалами требует подогрева деталей, однако и это не всегда предотвращает образование трещин. Эффективным технологическим приемом, является наплавка малоуглеродистыми вязкими аустенитными сплавами с последующей цементацией [8]. Это позволяет восстановить геометрические размеры изношенных деталей, гарантировано исключив образование трещин. Обработка резанием наплавленного металла в этом случае не представляет затруднений. После этого осуществляется цементация рабочего слоя и, при необходимости, термическая обработка.

Цементация опытных образцов металла, наплавленного ПП-Нп 14X12Г12СТ, проводилась при 950 °С (8 ч) с последующей нормализацией, предусматривающей нагрев до температур 850, 950 и 1050 °С (выдержка 20 мин). Влияние цементации и последующей нормализации на свойства наплавленного металла приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Влияние цементации и последующей нормализации с различных температур на свойства металла, наплавленного ПП-Нп 14X12Г12СТ**

Температура нагрева, °С	850	950	1050
Количество аустенита, %	38...40	50...52	95...97
Прирост мартенсита деформации, %	20...22	28...30	18...20
Твердость, НВ	450...470	350...370	280...320
Относительная износостойкость, $\varepsilon$	6,2	6,5	5,7

После нормализации в поверхностном слое образуется мартенситно-аустенитно-карбидная структура. Карбиды располагаются внутри зерен, а также в виде сетки по их границам. Переходный слой имеет аустенитную структуру с карбидной сеткой. Структура последующих слоев преимущественно аустенитная с небольшим количеством  $\varepsilon$ - и  $\alpha$ -фаз. Твердость поверхностного слоя снижается при увеличении температуры нормализации от 850 до 1050 °С из-за увеличения количества аустенита в струк-

туре. Наибольшую износостойкость ( $\varepsilon = 6,5$ ) при сухом трении имеют образцы металла, наплавленного предложенной порошковой проволокой, после цементации и нормализации с нагревом на 950 °С (табл. 2). Аналогичный результат получен и в случае, когда образцы наплавленного металла непосредственно после цементации охлаждались на воздухе. Полученные результаты показывают, что для достижения наиболее высокой износостойкости в условиях сухого трения не следует стремиться по-

лучить наиболее высокую твердость, как это обычно принято. Напротив, необходимо чтобы в структуре наряду с карбидами присутствовал метастабильный аустенит (~50 %), интенсивно превращающийся в мартенсит деформации в процессе нагругения.

### ВЫВОДЫ

1. Формирование в наплавленном металле метастабильного аустенита при контролируванном его превращении, открывает широкие возможности повышения долговечности деталей машин и инструментов.

2. Отпуск металла со структурами метастабильного аустенита, позволяет изменять износостойкость при сухом трении в широком диапазоне значений. Наибольшая износостойкость обеспечивается при температурах отпуска 600-650 °С, за счет оптимального соотношения процессов выделения карбидов и деформационного мартенситного превращения.

3. Поверхностная пластическая деформация способствует приросту износостойкости металла после наплавления ПП-Нп 14X12Г12СТ пропорционально количеству мартенсита. Максимальная твердость (350-400 НВ ) соответствует содержанию мартенсита на уровне 30-35 %.

4. Дополнительное изменение износостойкости металла после наплавления ПП-Нп 14X12Г12СТ, может быть достигнуто цементацией с последующей нормализацией от 950 °С, когда в структуре кроме карбидо - мартенсит-

ной смеси, присутствует ~50 % остаточного аустенита.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малинов, Л. С. Экономнолегированные сплавы с мартенситными превращениями и упрочняющие технологии [Текст] / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов. – Х. : ННЦ «ХФТИ», 2007. – 352 с.
2. Малинов, Л. С. Ресурсосберегающие экономнолегированные сплавы и упрочняющие технологии, обеспечивающие эффект самозакалки [Текст] / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов. – Мариуполь : Рената, 2009. – 568 с.
3. Богачев, И. Н. Повышение кавитационной стойкости деталей машин [Текст] / И. Н. Богачев, Р. И. Минц. - М.: Машиностроение, 1964. - 143 с.
4. Богачев, И. Н. Кавитационные разрушения и кавитационностойкие сплавы [Текст] / И. Н. Богачев, Р. И. Минц. - М. : Металлургия, 1972. – 179 с.
5. Разиков, М. И. Сварка и наплавка кавитационной стали марки 30X10Г10 [Текст] / М. И. Разиков, С. Л. Мельниченко, В. П. Ильин. – М. : НИИМАШ, 1964. – 35 с.
6. Патент UA № 84493, B23K 35/368. Порошковый дріт [Текст] / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов ; опубл. 27.10.2008, Бюл. № 20.
7. Матеріалознавство [Текст] / С. С. Дяченко [та ін.]. – Х. : Вид-во ХНАДУ, 2007. – 440 с.
8. Патент UA №63462, C21 D1/2. Спосіб зміцнення [Текст] / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов ; опубл. 15.01.2004, Бюл. № 1.

Поступила в редколлегию 03.11.2011.

Принята к печати 09.11.2011.

МАЛІНОВ В. Л.

## ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МЕТАСТАБІЛЬНОГО АУСТЕНІТНОГО ХРОМОМАНГАНЦЕВОГО НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ

У роботі показано, що за рахунок використання раціональних режимів відпуску, поверхневої пластичної деформації, цементації з наступною нормалізацією може бути суттєво підвищена зносостійкість при сухому терті металу зі структурою метастабільного аустеніту, отриманого наплавленням дротом ПП-Нп 14X12Г12СТ.

*Ключові слова:* режим відпуску, деформація, метастабільний аустеніт, цементація, нормалізація, структура

MALINOV. V.

## THE INCREASED OF WEAR-RESISTANT METAL WITH STRUCTURE METASTABLE CROME-MANGANESE AFTER MELTING

In work is shown, that at the expense of application of rational modes tempering, superficial plastic deformation, cementation with the subsequent normalization, can be essentially increased wear resistance at dry friction of metal with structure metastable austenite, which received deposition by a wire ПП-Нп 14X12Г12СТ.

*Keywords:* modes tempering, deformation, metastable austenite, cementation, normalization, structure

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМУ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖНИМИ ЗАЛІЗНИЧНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ

В статті подано дослідження стосовно побудови механізму управління вантажними перевезеннями, його нових функцій та організаційної структури управління.

*Ключові слова:* механізм управління, вантажні перевезення, вантажна компанія, управлінська компанія, реформування залізничної галузі

### Вступ

З метою визначення напрямків подальшого розвитку та функціонування транспортного сектору економіки України, розширення міжнародних транспортних зв'язків, ефективного використання транзитного потенціалу країни, проведення структурних реформ на транспорті, Кабінетом Міністрів України затверджено транспортну стратегію України на період до 2020 року. Одним із пріоритетних напрямків розвитку залізничного транспорту [2] є реформування системи управління вантажними перевезеннями.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останні 10 років ведеться робота за вказаним вище напрямком, але підхід до його вирішення постійно змінюється. Основними розробниками цієї проблеми були: фахівці Укрзалізниці Кірпа Г. М., Козак В. В., Федюшин Ю. М., Лашко А. Д., Сіраков В. І., Ейтутіс Г. Д., науковці: ДЕТУТу – Цветов Ю. М., Макаренко М. В., Сич Є. М., ДНУЗТ – Пшінько О. М., Бараш Ю. С., Гненний М. В., Гненний О. М., УкрДАЗТ – Дикань В. Л., Дейнека О. Г. та ін.

### Постановка задачі

*Метою даної роботи* є розробка теоретичних і методичних підходів до удосконалення механізму управління парками вантажних вагонів в умовах реформування залізничного транспорту.

### Результати

У рамках розпочатої в Україні структурної реформи залізничного транспорту відповідно

до Цільової програми реформування [1] та Програми економічних реформ України на 2010–2014 рр. [3] кожне господарство мусить побудувати новий або удосконалити старий механізм управління своєю діяльністю.

У науковій праці [4] було розроблено нове термінологічне поняття механізму управління залізничними перевезеннями: *це система заходів (програмних, правових, адміністративних, логістичних, технічних) та сукупність підприємств і структурних підрозділів, побудованих за певною ієрархією залежно від їх функцій та взаємодії для ефективного виконання своєї місії та цілей в умовах сучасного ринку.*

Вантажні перевезення мають певну специфіку, яка пов'язана: з організацією процесу перевезень; технологічним процесом навантаження та розвантаження; технічним обслуговуванням вагонів; поточним ремонтом вагонів; підготовкою вагонів до навантаження.

На нашу думку, доцільно, щоб керівні вантажні компанії (далі – управлінські компанії) об'єднали в собі управління усіма ланками технологічного процесу, які перераховані вище, що дозволить:

- оперативно впливати на оптимізацію обігу вантажного вагону;
- скоротити термін доставки вантажів до підприємств-одержувачів;
- зменшити витрати на перевезення вантажів;
- встановити більш обґрунтовані (знижені) тарифи на перевезення вантажів;
- впровадити нові удосконалені технологічні процеси перевезення вантажів;
- надати підприємствам-відправникам вантажів та компаніям-операторам більшу гаму

послуг та підвищену якість перевезень вантажів та утримання рухомого складу;

– захопити на ринку транспортних послуг більшу «нішу». Крім того, з різною періодичністю вантажні вагони повинні направлятися у вагонні депо для проведення деповського ремонту, а в депо та заводи для проведення капітальних та капітального ремонту з подовження терміну служби. Для цього управлінські компанії можуть включати в свою організаційну структуру на правах власності окремі пункти підготовки вагонів до перевезень, вагоноремонтні депо, інші структурні підрозділи вагонного господарства та деякі вагоноремонтні підприємства на різних умовах.

На основі цього визначення запропоновано удосконалений механізм управління вантажними залізничними перевезеннями (рис. 1), який складається з трьох зон:

1. Зона місії та цілей компанії.
2. Зона структури управління компанією.
3. Зона керованої системи управління компанією.

Усі ці зони разом створюють внутрішнє середовище організації (виділено темним кольором та пунктирною лінією). З різних боків стрілками показано вплив на вантажну компанію зовнішніх факторів:

- клієнти (показано окремо, оскільки вони мають найбільший вплив на діяльність компанії);
- постачальники технологій та матеріалів;
- профспілки;
- урядові постанови, накази міністерств, розпорядження місцевих органів влади та інші нормативні документи;

Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010–2015 рр. (виділено окремо, оскільки це основний програмний документ, за яким буде відбуватися реформування, але він потребує доопрацювання відповідно до Програми [3]).

Організаційна структура управлінської компанії є типовою бюрократичною структурою дивізійного типу, яка передбачає наявність центрального офісу, окремих центрів організації вантажних робіт (ЦОВР), що розташовані в регіонах України, та технічної бази для ремон-

ту власних і орендованих вагонів. Для обслуговування вантажних районів на окремих станціях організовуються базові дільниці.

До складу центрів організації вантажних робіт входять: товарні контори; склади; вантажні двори; навантажувальні та розвантажувальні пристрої.

До складу технічної бази для ремонту власних і орендованих вагонів, а також власної інфраструктури входять: пункти підготовки вагонів під навантаження; вагоноремонтні депо; вагоноремонтні заводи; майстерні та цехи для обслуговування та поточного ремонту власної інфраструктури.

Додатково, за договорами з ДАК «УЗ», управлінська компанія виконує поточний ремонт рухомого складу на пунктах технічного огляду вантажних вагонів та пунктах поточного ремонту вагонів з відчепленням від поїздів.

Таким чином, організаційна структура управлінської компанії одночасно об'єднує функції двох існуючих головних управлінь – Комерційного управління та Управління вагонного господарства. На основі сказаного вище можна запропонувати удосконалене термінологічне поняття механізму управління парками вантажних вагонів: *це система заходів (програмних, правових, адміністративних, логістичних, технічних) та сукупність експлуатаційних, ремонтних структурних підрозділів і центрів організації вантажної роботи, побудованих за певною ієрархією залежно від їх функцій та взаємодії для ефективного виконання процесу вантажних перевезень в умовах сучасного ринку.*

На рис. 2 запропоновано укрупнену організаційну структуру управлінської компанії.

На основі укрупненої організаційної структури та нового термінологічного поняття запропоновано удосконалений механізм управління вантажними перевезеннями, який відрізняється від існуючого пристосуванням його до умов сучасного ринку та організацією управлінських компаній, які повністю централізують управління усіма парками вантажних вагонів вітчизняних та закордонних компаній-операторів.

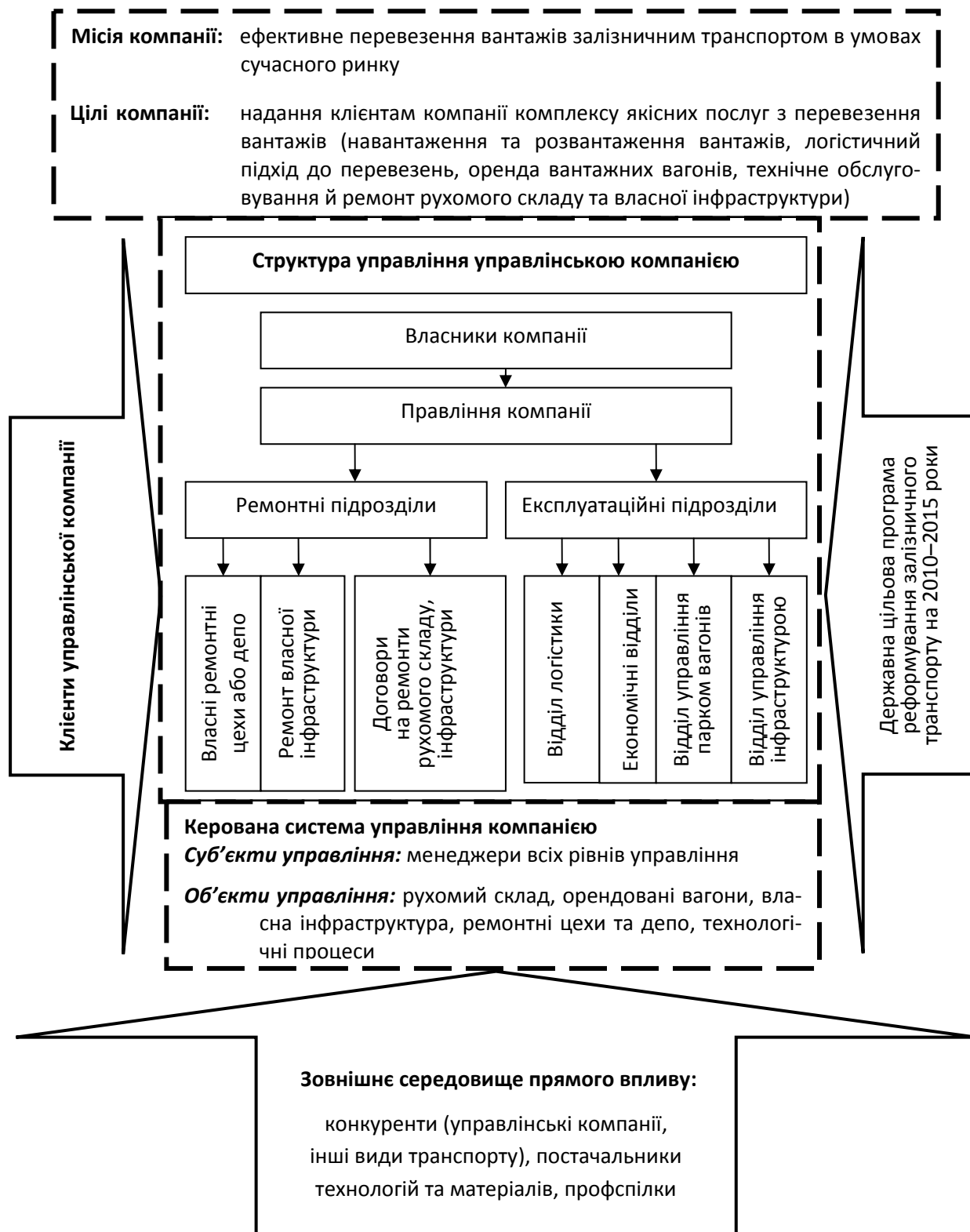


Рис. 1. Удосконалений механізм управління вантажними залізничними перевезеннями

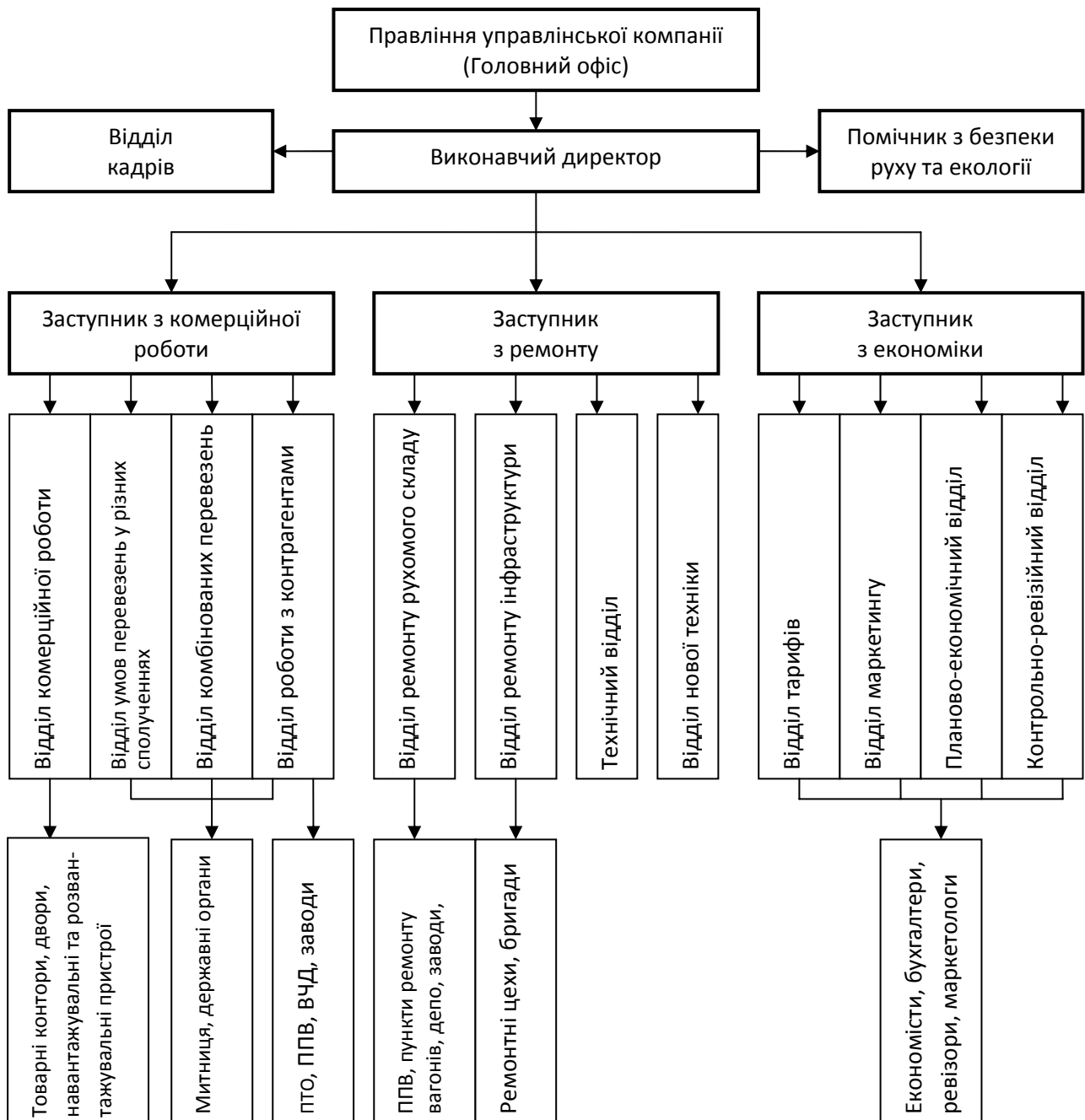


Рис. 2. Організаційна структура управлінської компанії

### Висновки

На основі проведених наукових досліджень можна зробити такі висновки:

1. Запропоноване удосконалене термінологічне поняття механізму управління парками вантажних вагонів як система заходів (програмних, правових, адміністративних, логістичних, технічних) та сукупність експлуатаційних, ремонтних структурних підрозділів і центрів організації вантажної роботи, побудованих за певною ієрархією залежно від їх функцій та взаємодії для ефективного виконання

процесу вантажних перевезень в умовах сучасного ринку.

2. Розроблено удосконалений механізм управління вантажними перевезеннями, який відрізняється від існуючого пристосуванням його до умов сучасного ринку та організацією управлінських компаній, які повністю централізують управління вантажними вагонами вітчизняних та закордонних компаній-операторів.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Програма економічних реформ України на 2010-2014 роки «Заможне суспільство, конкурентоспроможна економіка, ефективна держава» [Текст].
2. Транспортна стратегія України на період до 2020 року, яка затверджена Кабінетом Міністрів України розпорядженням від 20 жовтня 2010 року № 2174 [Текст].
3. Указ Президента України № 504/2011 «Про Національний план дій на 2011 рік щодо впровадження Програми економічних реформ на 2010-2014 роки» [Текст].
4. Карась, О. О. Формування сучасного механізму управління підприємствами в ринкових умовах (на прикладі пасажирського господарства залізничного транспорту) [Текст]: автореф. дис. ... канд. екон. наук / О. О. Карась. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. – 23 с.

Надійшла до редколегії 03.11.2011.

Прийнята до друку 15.11.2011.

Ю. С. БАРАШ, Л. В. МАРЦЕНІЮК

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВЫМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ

В статье предложены исследования, касающиеся построения механизма управления грузовыми перевозками, его новых функций и организационной структуры управления.

*Ключевые слова:* механизм управления, грузовые перевозки, грузовая компания, управленческая компания, реформирование железнодорожной отрасли

Yu. S. BARASH, L. V. MARTSENYUK

## IMPROVING THE MANAGEMENT MECHANISM OF RAILWAY FREIGHT TRANSPORTATION

In the article the studies related to the construction of management mechanism for freight transportation, its new functions and the organizational management structure are proposed.

*Keywords:* management mechanism, freight transportation, freight company, management company, reform of railway branch



## АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЩОДО РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ ДЛЯ РЕМОНТУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

В даній статті приведено огляд наукових праць щодо реструктуризації технічної бази з ремонту вантажних вагонів за часів СРСР та необхідність розробки концепції її реформування в Україні.

*Ключові слова:* вагонні депо, вантажні вагони, програма ремонту, потужність, реструктуризація, непрофільні активи

### Постановка задачі

Головна мета залізничного транспорту України – забезпечення потреб підприємств, організацій та окремих осіб в перевезенні вантажів з максимальною якістю та швидкістю. Для цього залізницям потрібні сучасний рухомий склад, надійна і якісна інфраструктура, успішний менеджмент, розумна тарифна політика та досконала ремонтна база.

В теперішні часи, технічна база України для ремонту вантажних вагонів фізично та морально застаріла, поточні ремонтні лінії не працюють, практично всі вагонні депо застосовують стаціонарний метод ремонту. Цьому сприяли значне скорочення вантажного рухомого складу (більше ніж у два рази) при незмінній кількості вагонних депо та недостатня спеціалізація ремонту вагонів. В результаті маємо суттєве погіршення стану та дієздатності вантажних вагонів, зростання витрат на депо夫斯基 ремонт та неефективну роботи вагонного господарства.

Це зумовило актуальність пошуків нових економічно обґрунтованих принципів реструктуризації технічної бази для ремонту вантажних вагонів з урахуванням:

- особливостей сучасного ринку перевезення вантажів залізничним транспортом;
- оптимізації розмірів технічної бази для ремонту вантажних вагонів;
- можливості виконання ремонтів вантажних вагонів іншої власності;
- спеціалізації ремонту вантажних вагонів, впровадження в них поточних ліній;
- подальшої кооперації ремонту вагонів в вагонних депо з можливістю підсилки об'єктів ремонту з ПТО та інших регіонів;
- підвищення програм ремонту існуючих вагонних депо до оптимальних їх потужностей;
- можливої реконструкції існуючих депо в місцях масового скупчення порожніх вантажних вагонів;

– дефіциту капітальних вкладень на технічне переоснащення та реконструкцію вагонних депо.

### Мета

Метою даної статті є аналіз наукових праць щодо реструктуризації технічної бази з ремонту вантажних вагонів в умовах акціонування галузі.

### Основний зміст роботи

Інфраструктура, менеджмент, тарифна політика та технічна ремонтна база, як складові разом утворюють механізм управління процесом перевезень. Для ефективної роботи цього механізму необхідна узгоджена та надійна робота усіх складових разом. В Україні вони не відповідають сучасним вимогам та європейським стандартам.

Рухомий склад (локомотиви і вагони) застарів фізично і морально, оскільки останні 20 років у зв'язку з дефіцитом коштів оновлюється лише на 5...12 %, що призвело до загального їх зносу до 90 %.

Інфраструктура, яка мала резерви пропускної спроможності, зараз суттєво застаріла, знаходиться у незадовільному стані має значну кількість обмежень швидкості руху, що зводить нанівець ці резерви.

Управління залізничною галуззю має також багато недоліків, до яких слід віднести повільне впровадження процесів реформування, часта зміна підходів до майбутньої моделі залізничного транспорту, застаріла організаційна структура управління та ін.

Тарифна політика стосовно перевезення вантажів стала змінюватися з урахуванням реформування залізничного транспорту за новою моделлю. Але вантажні тарифи ще залишаються завищеними, оскільки транспортна складова в перевезенні вантажів не відповідає об'єктивним реаліям, а доходи від вантажних

перевезень раніш перекривали збитковість пасажирського господарства.

Технічна база, яка на протязі 20 років практично не розвивалась, налічує близько 40 вагоноремонтних та декілька експлуатаційних депо. За часи радянського союзу це були досить потужні та технічно оснащені лінійні підприємства, програма ремонту яких сягала 5...7,3 тис. вагонів на рік. Ремонт вантажних вагонів, як правило виконувався на спеціалізованих поточних лініях. Якість ремонту залежала від технологічного процесу, устаткування та якості матеріалів і вузлів. При цьому працездатність вантажного вагону відновлювалася в необхідній мірі, що дозволяло виконувати своє основне призначення.

Після розподілу рухомого складу Міністерства шляхів сполучення Укрзалізниця більш не потребувала великої кількості платформ, критих та деяких спеціалізованих вагонів, оскільки в цей час обсяги та структура вантажів суттєво змінилися. Врешті-решт кількість вантажних вагонів скоротилася майже вдвічі, а оновлення рухомого складу виконувалося в основному за рахунок виконання капітального ремонту з подовженням терміну служби (КРП).

В цих умовах вагонні депо стали працювати не на повну потужність, а поганий стан рухомого складу та устаткування лінійних підприємств потребує зміни технології ремонту вагонів та часу на їх ремонт. Змінюється організаційна структура управління залізницями України, вагонні депо втрачають статус юридичної особи і перетворюються на відокремлені структурні підрозділи.

Відсутність бюджетного фінансування, нестача власних коштів залізниць призводить до негативних наслідків в організації ремонту вантажних вагонів:

- термін простою вагонів в депо збільшується в 1,5 рази;
- частина депо ліквідує спеціалізацію і виконує одночасно ремонт кількох видів вантажних вагонів стаціонарним методом;
- вкрай не вистачає необхідних матеріалів, вузлів, колісних пар та ін.
- кількість вагоноремонтних підприємств не скорочується, як це потребує логіка;

Всі заходи Головного управління вагонного господарства, що мали підтримати діяльність вагоноремонтних депо на необхідному рівні, були не ефективними, оскільки призвели до значного підвищення собівартості ремонту

Низька якість ремонту вантажних вагонів суттєво впливає на кількість порушень безпеки

руху вантажних поїздів. Найбільша кількість транспортних подій відбувається через несправність гальм та буксів.

Перед залізничною галуззю було поставлено завдання – проведення реструктуризації технічної бази з ремонту вантажних вагонів для зниження витрат на ремонти за рахунок:

1. Спеціалізації вагонних депо та концентрації окремих видів ремонту в них до проектних потужностей.

2. Оптимізації потужності вагоноремонтної бази з урахуванням проектних потужностей окремих депо, можливості їх реконструкції, наявності об'єктів ремонту в даному регіоні та переспеціалізації надлишкових депо.

3. Виділення частини вагоноремонтних депо, як непрофільних активів, з балансу АТ «Укрзалізниця» та приєднання їх до залежних компаній-операторів.

4. Побудови нової організаційної структури управління вагонним господарством в умовах акціонування галузі.

На думку Долана і Ліндсея, будь-яка економічна теорія «...складається з трьох тверджень: про цілі, про обмеження та варіанти вибору. Але розуміння структури економічної теорії було б неможливим без ключового припущення, яке допомагає зв'язати елементи в єдине ціле. Суть цього припущення полягає в тому, що люди обирають найкращий шлях для досягнення своїх цілей, виходячи з обмежень, з якими вони зустрічаються, тобто люди поведуть себе раціонально» [1, с. 15].

Виходячи з цієї теорії, пошук раціональної моделі розвитку АТ «Укрзалізниця» передбачає комплексне вирішення таких проблем:

1. Визначення стану ринкових відносин та перспектив їх розвитку.

2. Відповідність моделі управління галузі стану ринкових відносин та впливу чинників зовнішнього середовища.

3. Визначення тенденції розвитку сучасного ринку в даній галузі.

4. Визначення конкурентоспроможності АТ «Укрзалізниця» та тенденцій його розвитку.

5. Визначення антикризових заходів залежно від дії сил зовнішнього середовища [2, с. 28].

Пошук раціональної моделі реструктуризації технічної бази з ремонту вантажних вагонів передбачає таку послідовність:

1. Розрахунок прогнозованої кількості окремих типів вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця», вагонів іншої власності, та вагонів СНД, які будуть задіяні для перевезення вантажів.

2. Оновлення парків АТ «Укрзалізниця» за рахунок закупівлі вагонів нового покоління та обґрунтованої кількості капітального ремонту з подовженням терміну служби.

3. Розробки нових економічно обґрунтованих міжремонтних циклів.

4. Розробки нової організаційної структури управління вагонним господарством.

5. Реформування технічної бази для деповського ремонту вантажних вагонів.

До реструктуризації технічної ремонтної бази слід також підходити з позиції сегментування залізничної галузі за окремими видами ринкових структур. В цілому структура ринку залізничного транспорту, яка існувала до середини 2012 року, відноситься до природної монополії. Згідно прийнятої Урядом України в 2009 році Державна цільова програма реформування залізничного транспорту [3] технічна база з ремонту вантажних вагонів віднесена до конкурентного сегменту.

Якщо врахувати, що після реструктуризації технічна база з ремонту вантажних вагонів буде виділена в окреме підприємство, то дану задачу можна віднести до класу задач з визначення оптимальних розмірів підприємств.

Оптимальні розміри підприємств [4, с. 630] це «...науково-обґрунтовані та перевірені практикою розміри підприємств завдяки яким забезпечуються мінімальні витрати різноманітних ресурсів (матеріальних, трудових, фінансових, інформаційних) на виробництво і доставку до споживача сукупної маси товарів, у т.ч. окремого екземпляра, у результаті чого досягається найвища ефективність виробництва».

Для АТ «Укрзалізниця» це формулювання буде мати вигляд – оптимальні розміри технічної бази з деповського ремонту вантажних вагонів це – науково-обґрунтовані та перевірені практикою потужності, спеціалізація та методи ремонту у окремих структурних підрозділах (вагоноремонтних депо) з урахуванням забезпечення їх об'єктами ремонту, завдяки яким досягаються мінімальні витрати різноманітних ресурсів (матеріальних, трудових, фінансових, інформаційних) на виробництво у результаті чого досягається мінімальна собівартість ремонту.

Оптимізація, [4, с. 630] це «...приведення системи (економічної соціальної, економічної) в оптимальний (найдосягальший) стан. Вибір найраціональнішого рішення залежить від критерію оптимальності – вирішальної ознаки (показника), мети, згідно з яким має розвиватися певна система, забезпечуючи найвищу ефекти-

вність. Такий критерій поєднує кількісно-якісні параметри з переваженням кількісних і є орієнтиром для досягнення поставлених цілей».

Вирішення проблеми оптимізації деповського ремонту вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» являє собою багатоцільову задачу по:

- визначенню оптимальних потужностей окремих структурних підрозділів;

- спеціалізації депо на ремонт конкретних типів вагонів;

- визначенню методу ремонту вагонів;

- забезпеченню вагонних депо об'єктами ремонту з урахуванням їх підсилки з власних ПТО;

- оптимальному розподілу програми ремонту вантажних вагонів по конкретних депо;

- переспеціалізації надлишкових депо, передачі їх в оренду, а ефективному продажу.

У грудні 2009 року Кабінетом Міністрів України була затверджена Державна програма реформування залізничного транспорту [3], основна мета якої – удосконалити управління залізничним транспортом країни для суттєвого підвищення ефективності його роботи та інтеграції залізниць в єдиний європейський транспортний простір. З огляду на це для вагонного господарства дуже важливо сформувати сучасний дієздатний механізм управління її двома окремими напрямками: технічною базою з ремонту вантажних вагонів та рухомим складом

На наш погляд, можна запропонувати таке визначення механізму управління технічною ремонтною базою – це система заходів (програмних, правових, адміністративних, технічних) та сукупність структурних підрозділів для ремонту вантажних вагонів, побудованих за певною ієрархією залежно від їх функцій та взаємодії для ефективного використання своїх потужностей та реалізації загальних цілей в умовах сучасного ринку.

На основі сказаного вище можна заключити, що проблему раціональної реструктуризації технічної бази з ремонту вантажних вагонів в умовах акціонування галузі слід вирішувати з врахуванням:

1. Впливу сил зовнішнього та внутрішнього середовища, оскільки ремонтна база це складна система, що функціонує у взаємному зв'язку із зовнішнім середовищем, яке представлено споживачами (управлінські вантажні компанії, вітчизняні та компанії-оператори інших держав, АТ «Укрзалізниця», промислові підприємства), конкурентами (вантажні вагонні депо та заводи), законами й державними органами, професійними спілками та постачальни-

ками матеріальних, трудових та фінансових ресурсів.

2. Тяжіння вагоноремонтних депо до конкурентного сегменту.

3. Оптимальних потужностей ремонтних структурних підрозділів, які входять до складу вагоноремонтної бази Укрзалізниці.

4. Оптимізації виробничої діяльності окремих вагонних депо.

5. Механізму управління діяльністю вагоноремонтної бази.

Завданням даного дослідження є комплексне вивчення питання реструктуризації технічної бази для ремонту вантажних вагонів та спроба розробки її оптимальної моделі. Для правильного рішення цієї проблеми необхідно провести дослідження та запозичити позитивний досвід з принципів реформування окремих господарств залізничного транспорту

У роботі [5] автор пропонує нову методику оновлення вантажного рухомого складу, за якою потреба залізничного транспорту у вагонах на прогностичні роки розраховувалася з використанням таких показників: кількості вантажів, середньої дальності перевезень, продуктивності вагона, коефіцієнта співвідношення робочого парку до інвентарного. Крім того, бралися до уваги наявність існуючих вагонів та термін їх виключення з інвентарного парку. Значення цих показників порівнювалися протягом прогностичного періоду.

Парк вагонів, потрібних залізничному транспорту для нормальної роботи, може поповнюватися за рахунок:

- виконання капітально-відновлювального ремонту з подовженням терміну служби вантажних вагонів після їх повної амортизації;
- придбання нових вагонів старого покоління;
- придбання нових вагонів нового покоління.

Усі наведені чинники враховувалися для розрахунку закупівлі нових вагонів, який виконувався в такій послідовності:

1) спочатку визначалася максимальна кількість вагонів за типами, яким потенційно можливо зробити КРП;

2) визначалася кількість нових вагонів старого і нового поколінь, яку придбають, як очікується, операторські компанії та клієнти Укрзалізниці;

3) частка вагонів, якої не вистачає, розподілялася між новими вагонами старого та нового поколінь. При цьому вагони нового покоління планується закуповувати тільки починаючи

з моменту їх випуску вагонобудівними заводами України.

Автори дослідження [5] показали, що КРП можна виконувати не усім вантажним вагоном, а тільки тим, що за своїм технічним станом придатні для подальшої роботи. Цей відсоток коливається від 30 до 87 % для різних типів вагонів. До того ж вартість КРП складає приблизно 30...50 % вартості нового вагона. У той же час витрати на всі види ремонту вагонів після КРП значно більші, ніж для звичайного рухомого складу. Усе це вплинуло на визначення раціонального співвідношення між капітально-відновлювальним ремонтом та закупівлею нових вагонів.

У 2002–2005 рр. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту розробляв та виконував моніторинг державної програми розвитку вантажного рейкового рухомого складу [5], у якій було визначено перспективи вантажних перевезень на 2006–2015 роки, розраховано прогностичну кількість вантажного рухомого складу з урахуванням вагонів, що перебувають у власності інших клієнтів та майбутніх компаній-операторів, а також оновлення рухомого складу за рахунок КРП і закупівлі вагонів нового покоління.

Зарубіжний досвід свідчить про необхідність вибору оптимальної пропорції між закупівлею нових і модернізацією існуючих вагонів шляхом капітально-відновлювального ремонту.

Усе більшого поширення набуває уніфікація конструкції рухомого складу відповідно до технічних вимог МСЗ, що базується на поглибленому аналізі нагромадженого в різних країнах досвіду у сфері створення й ремонту рухомого складу.

Фірми-виробники, комплексно вирішуючи проблеми виготовлення нового рухомого складу, велику увагу приділяють розробці технологій і засобів для його технічного обслуговування й ремонту. Такі найбільші компанії, як Alstom, Adtranz, Talgo, Bombardier Transportation, Siemens Transportation Systems поставляючи залізничну техніку, постійно шукають шляхи отримання додаткових доходів у сфері післяпродажного сервісного технічного обслуговування й ремонту.

У такій країні, як Великобританія практично всі постачальники рухомого складу для залізничних компаній-операторів залучені до діяльності з технічного обслуговування й ремонту, причому не тільки своєї техніки, але часто й «чужого» виробництва.

Компанія Siemens Transportation Systems для залучення клієнтів пропонує їм співпрацю у сфері ремонтних послуг на контрактній основі, які визначаються економічними факторами [6].

Компанія Alstom має підприємства з технічного обслуговування й ремонту рухомого складу більш ніж у 20 країнах. Забезпечуючи залізничні рухомим складом, що має високий рівень надійності й безпеки, є недорогим у експлуатації, компанія діє за власною програмою, яка складається з чотирьох підпрограм: проектування нового рухомого складу з урахуванням досвіду експлуатації старого; розробка й реалізація прогресивної системи технічного обслуговування й ремонту; модернізація рухомого складу, що експлуатується; забезпечення запчастинами.

Ця компанія створила новий підхід до здійснення ремонтних послуг, який відрізняється від існуючого виявленням точкових відмов та несправностей рухомого складу з подальшою оцінкою розвитку проблем.

Враховуючи, що термін служби залізничного рухомого складу 30 років, фахівці компанії вважають, що має сенс заздалегідь витратити додатковий час при проектуванні й ретельніше відпрацювати всі аспекти конструкції і технології його виготовлення, а також післяпродажного сервісу й гарантувати надійну роботу та низькі сумарні витрати протягом всього життєвого циклу.

Національне товариство залізниць Франції (SNCF) здійснює ремонт рухомого складу, базуючись на таких принципах:

- надійність та безпечність рухомого складу, що експлуатується;
- готовність до експлуатації;
- гарантоване надання коштів на здійснення ремонтних робіт протягом строку експлуатації об'єкту ремонту [7].

Федеральні залізниці Швейцарії (SBB) для поліпшення ситуації в сфері ремонтного обслуговування рухомого складу застосовує систему Kaizen, що дозволяє підвищити ефективність виробництва на 25...30 % [8].

Зарубіжний досвід експлуатації вантажних вагонів показав, що після закінчення нормативного терміну служби їх списують в основному через вихід з ладу технічних вузлів, їх елементів, устаткування, а також унаслідок корозійних руйнувань металоконструкції кузова й ходових частин [9]. Ушкодження останніх, як правило, незначні. Результати здійснюваних в різних країнах обстежень працездатності металоконструкцій вагонів, які мали різний термін експлу-

атації, свідчать про те, що каркас вагонного кузова здатний служити не менш 50 років.

Внутрішнє устаткування повинне відповідати сучасному рівню вимог пасажирів. Як відзначають автори статті, проведення КВР передбачає попередню оцінку залишкового ресурсу вагона й подальше повне чи часткове відновлення ресурсу шляхом заміни чи ремонту тих чи інших елементів кузова й ходових частин.

У Німеччині відділення компанії Talgo одночасно виконує виробництво і ремонт рухомого складу. Це дозволяє сформувати ефективний технологічний цикл [10].

Дослідивши особливості технологічного процесу ремонту рухомого складу в провідних країнах світу, можна зробити висновок, що зарубіжний досвід практично не можливо застосувати в Україні. Внаслідок того, що Німеччина, Великобританія, Франція, Швейцарія та інші країни мають сучасний рухомий склад з високим рівнем ремонтоздатності, підхід до його ремонту значно відрізняється від підходів, які застосовуються в нашій країні.

Аналіз наукових праць [11, 12] дозволяє зробити такий висновок, що комплексний підхід до рішення задачі розвитку вагоноремонтної бази на мережі залізниць СРСР був відсутній, а теоретичні розробки в основному були присвячені питанням розміщення вагоноремонтних депо з урахуванням поодиноких факторів. Питаннями технічного переоснащення, реконструкції та будівництва депо займалися лише проектні інститути без належного обґрунтування прийнятих рішень. Мабуть це є основним чинником, який не дозволив у 1960–1990 роках розробити типові рішення, за якими слід проектувати вагонні депо.

Безперечно, в умовах відсутності науково обґрунтованих методик з цих питань економічний ефект від прийнятих рішень буде незначним. Безліч питань, які вирішуються в даній роботі, потребують детального дослідження існуючих напрямків розвитку вагоноремонтної бази залізниць колишнього СРСР та зокрема України.

До числа перших робіт, які присвячені питанням розміщення вагоноремонтних підприємств, слід віднести [13–15], але всі вони в основному мали описовий характер.

Серед цих робіт слід відзначити роботу А. К. Бема [13] у якій автор вважав за необхідне при рішенні питань визначення потужності ремонтних засобів враховувати обсяги перевезень, кількість локомотивів та вагонів, їх стан,

стан залізничної колії та її вплив на знос рухомого складу.

Пізніше С. Кульжинський [14] запропонував для розміщення ремонтних підприємств та засобів покласти принцип безкорисного пробігу несправного рухомого складу за умови направлення його до місця ремонту.

Починаючи з 1933 року, в період утворення вагоноремонтної бази СРСР, слід відмітити наукову працю І. В. Сеньковського [15], в якій вказується, що вагоноремонтні майстерні слід розміщувати на великих вантажних станціях, пунктах обміну вагонів між залізницями, а вагоноремонтні пункти – переважно на сортувальних станціях з великою вантажною роботою.

В другій половині XX століття змінилися технологія роботи та призначення деяких станцій, подовжилися ділянки роботи локомотивів, зникли пункти обміну вагонів між залізницями, більше уваги стали приділяти питанням спеціалізації ремонту вагонів та запровадженню поточкового методу ремонту. Усі ці чинники суттєво впливали на принципи розміщення вагонних депо на полігоні залізниці, зміну технології та концентрацію ремонту в них, які знайшли своє відображення в наукових працях радянських інженерів та вчених: М. З. Криворучка [16], В. Д. Бехтерева [17], В. М. Чернова [9], О. Ф. Софронової [12], В. І. Сенько [18], Ю. С. Бараша [19] та ін.

В підручнику М. З. Криворучка [16] вказується, що вагонні депо для ремонту вантажних вагонів слід розміщувати на великих сортувальних станціях, які переробляють не менш ніж 2000 вагонів на добу, в містах розташування пунктів масового навантаження або розвантаження (більш ніж 1000 вагонів на добу) та на вхідних і вихідних станціях залізниць при слідуванні порожніх вагонів до пунктів навантаження. Основні принципи, які були викладені в цьому підручнику, не застаріли і сьогодні, змінилися тільки обсяги перевезень. Потім М. З. Криворучком [16] була запропонована методика розрахунку річної потреби вагонного депо в ремонті, яка стала підґрунтям для подальших наукових досліджень.

В роботі В. Д. Бехтерева [17] відмічалось, що вагонне депо завжди розміщалися відповідно до дільничної форми організації паровозного господарства, коротких пліч обертів і були пов'язані зі зміною паровозів. Зміна форми організації локомотивного господарства, подовження ділянок руху поїздів без переробки призвели до корінної перебудови принципів розташування вагонних депо.

До 1967 року за існуючою методикою рекомендувалося розташування вагонних депо на станціях з великою сортувальною роботою, але при цьому можливість відчеплення порожніх вагонів від поїздів, не враховувалась. В решті решт вагонні депо, які були розташовані на цих станціях, не мали необхідної кількості об'єктів ремонту.

Слід сказати, що до 70-х років попередні дослідження носили суто індивідуальні погляди кожного з науковців і проводилися без достатнього наукового підґрунтя. В ці часи в СРСР виникають дві наукові школи професорів М. З. Криворучка та І. Ф. Скіби, в яких проблема розвитку вагонного господарства вирішується з наукової точки зору, але при цьому не враховується багатий досвід практиків.

Авторам робіт [17, 11, 9] вдалося усунути ці утруднення шляхом встановлення залежності між кількістю об'єктів ремонту та кількістю вагонів, які прослідували крізь станцію з переробкою. Це дозволило науково розміщувати потужності ремонтної бази на мережі залізниць.

В. М. Чернов [9], досліджуючи питання спеціалізації, концентрації і розміщення вагонних депо у великих залізничних вузлах, приходить до висновку, що в них слід будувати вагонні депо з річною програмою ремонту 8000-10000 вагонів. На наш погляд така концентрація не є оптимальною, оскільки призведе до значних витрат на підсилку об'єктів ремонту у вагонне депо. А для України, в якій за останні 20 років значно зменшилися обсяги виробництва та кількість вантажного рухомого, така програма ремонту не є реальною.

О. Софронова в кандидатській дисертації [12] вказує на те, що проблему розміщення вагонних депо слід вирішувати в масштабі усієї мережі залізниць СРСР, а не обмежуватися окремим полігоном або залізничним вузлом. Це твердження є правильним, оскільки проблема раціонального розміщення вагонних депо на теренах Радянського Союзу не є простою транспортною задачею. Вона пов'язана з реконструкцією існуючих та будівництвом нових вагонних депо та мінімізацією коштів на їх розвиток. Автори методики В. П. Бугаєв і В. І. Сенько [18] роблять наступних висновків: «...Розподіл потужності бази по залізничній мережі мусить проводитися з урахуванням наявності об'єктів ремонту та підсилки вагонів, що потребують ремонту, з інших залізниць і полігонів, розміщення, спеціалізації та можливого розвитку існуючої бази.»

Детальний аналіз проведених досліджень показав, що всі вони не враховували особливостей будівництва та експлуатації вагонних депо, які суттєво впливають на вартість об'єкта, можливості будівництва нових і реконструкцію існуючих вагонних депо.

Усі ці недоліки вдалося усунути автору [19], якій в дисертаційній роботі пропонує:

1. Проводити дослідження розвитку деповської ремонтної бази, що пов'язані з рішенням комплексу організаційно-технічних питань по вибору раціональних варіантів реконструкції існуючих та обґрунтованому розміщенню нових ремонтних підприємств, з урахуванням дефіциту капітальних вкладень.

2. Для вибору раціональних варіантів розвитку вагоноремонтної бази запропонований критерій – питомі приведені витрати на деповський ремонт вантажного вагону.

3. Методику технічного переоснащення, реконструкції існуючих вагонних депо різних параметрів, періодів побудови з урахуванням сучасних методів організації ремонтного виробництва, реалізація яких дозволить підвищити працездатність вантажних вагонів до необхідного рівня.

Автор [19] вирішував пряму задачу, сутність якої полягала у розширенні технічної бази для ремонту вантажних вагонів в умовах дефіциту капітальних вкладень.

Оскільки існуюча потужність ремонтної бази перевищує реальну потребу, в теперішні часи існує потреба у вирішенні зворотної задачі. за принципом раціоналізації кількості вагонних депо у відповідності до науково обґрунтованої програми ремонту та мінімізації капітальних вкладень на їх реформування [20].

З метою одержання прибутку від діяльності, пов'язаної з організацією залізничних вантажних перевезень усіма видами сполучення в листопаді 2011 року в Україні було утворено Український транспортно-логістичний центр (УТЛЦ) [21] Згідно наказу [22] вагоноремонтні депо виділяються як непрофільний актив і включаються до складу вагонних компаній, логістичну діяльність яких забезпечує УТЛЦ.

На думку Л. В. Марценюк [23] ефективна робота транспортно-логістичного центру можлива за умови створення не менше, ніж чотирьох управлінських компаній, згідно антимонопольного законодавства, організаційна структура яких включає одночасно комерційну та ремонтну діяльність. При чому, управлінські компанії та УТЛЦ будуть існувати одночасно. Автор вважає за доцільне, щоб новоутворені

управлінські компанії включали у свою організаційну структуру вагоноремонтні депо для забезпечення планових видів ремонту вантажних вагонів. Пропозицію науковця [23] можна розглядати, як альтернативний варіант реструктуризації технічної ремонтної бази.

## Висновки

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Зарубіжні підходи щодо організації технологічного процесу ремонту рухомого складу практично не можливо застосувати в Україні, оскільки на відміну від провідних країн ми не маємо сучасного рухомий складу з високим рівнем ремонтоздатності. Це зумовлює застосування зовсім різних підходів до ремонту вантажних вагонів.

2. Оскільки, вагоноремонтні депо виділяються як непрофільний актив і включаються до складу вагонних компаній, логістичну діяльність яких забезпечує УТЛЦ [22], постала необхідність у вирішенні долі всіх інших депо. Для цього необхідно перерахувати потужність технічної бази з ремонту вантажних вагонів з врахуванням появи рухомого складу нового покоління, спеціалізації депо на ремонт конкретних типів вагонів; впровадження поточного методу ремонту; переспеціалізації надлишкових депо, передачі їх в оренду, або продажу.

Отже, ця робота потребує подальших досліджень.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Карась, О. О. Формування сучасного механізму управління підприємствами в ринкових умовах (на прикладі пасажирського господарства залізничного транспорту) [Текст] : дис. ... канд. екон. наук : 08.00.04 / О. О. Карась ; Дніпропетровський нац. ун-т залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – 205 с.
2. Круш, П. В. Формування та розвиток моделі корпоративного управління в трансформаційній економіці [Текст]: [монографія] / П. В. Круш, О. П. Кавтиш, А. В. Гречко; під заг. ред. к.е.н., проф. П. В. Круша. – К. : Центр учбової літ-ри, 2007. – 264 с.
3. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції державної програми реформування залізничного транспорту України» № 651-р від 27 грудня 2006 р. [Текст].
4. Економічна енциклопедія [Текст]: у 3 т. / Редак.: С. В. Мочерний (відп. ред.) [та ін.]. – К.: Видавничий центр «Академія», 2002. – Т. 2. – 952 с.
5. Лобойко, Л. М. Підвищення ефективності використання пасажирських вагонів [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Л. М. Лобойко;

- Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – 195 с.
6. Депо компании Siemens в Великобритании [Текст] // Железные дороги мира. – 2008. – № 3. – С. 55–61.
  7. Политика SNCF в области подвижного состава и его технического обслуживания [Текст] // Железные дороги мира. – 2010. – № 4. – С. 38–45.
  8. Система Kaizen на железных дорогах Швейцарии [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. – № 3. – С. 64–65.
  9. Чернов, В. Н. Исследование вопросов размещения устройств грузовых вагонов на железных дорогах общего пользования [Текст] : дис. ... канд. техн. наук. – М., 1967. – 167 с.
  10. Развитие ремонтной инфраструктуры железных дорог Германии [Текст] // Железные дороги мира. – 2006. – № 2. – С. 24–26.
  11. Разработка методики расчета рациональной специализации и размещения грузовых вагонов депо по сети дорог : отчет по НИР. – Гомель: БелИИЖТ, 1972. – 164 с.
  12. Софронова А. А. Исследование вопросов оптимизации развития, размещения и специализации вагоноремонтных депо (на примере дорог Сибири и Казахстана) [Текст] : дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 1968. – 275 с.
  13. Бем, А. К. Организация и администрация службы тяги и ремонта подвижного состава на железных дорогах [Текст] / А. К. Бем. – СПб., 1877. – 314 с.
  14. Кульжинский, С. Н. О наивыгоднейшем расположении мастерских для ремонта подвижного состава [Текст] / С. Н. Кульжинский. – СПб.: Типогр. М. Д. Ломковского, 1910. – 12 с.
  15. Сеньковский, М. В. Железнодорожные станции [Текст]. – 4-е изд., знач. перераб. и доп. / М. В. Сеньковский. – М.: Трансжелдориздат, 1938. – 239 с.
  16. Криворучко, Н. З. Вагонное хозяйство [Текст] / Н. З. Криворучко. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 320 с.
  17. Бехтерев, В. Д. Основы организации вагонного хозяйства [Текст] / В. Д. Бехтерев. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 99 с.
  18. Бугаев, В. П. Методика распределения базы депо для ремонта грузовых вагонов по сети железных дорог [Текст] / В. П. Бугаев, В. И. Сенько. – В кн.: Совершенствование конструкции и ремонта вагонов. – Гомель, 1973. – С. 35–50. – (Тр. Белорус. ин-та инж. ж.-д. трансп.; Вып. 96).
  19. Бараш, Ю. С. Рациональные пути развития технической базы для депо для ремонта грузовых вагонов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Ю. С. Бараш. – Гомель: БИИЖТ, 1981. – 182 с.
  20. Методика розподілу програми ремонту вантажних вагонів по окремих депо в умовах реформування залізничної галузі [Текст] / Ю. С. Бараш, В. В. Скалозуб, Ю. В. Булгакова // Зб. наук. пр. КНАУ «Проблеми підвищення ефективності інфраструктури». – К.: Вид-во КНАУ, 2011.
  21. Статут Державного підприємства «Український транспортно-логістичний центр» [Текст]. – К., 2011.
  22. Наказ Міністерства Інфраструктури України «Про затвердження планів заходів Укрзалізниці з реформування галузі» від 20.01.12 № 016-ц [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua>
  23. Марценюк, Л. В. Удосконалення структури управління вантажними вагонами компаній-операторів в умовах реформування залізничного транспорту України [Текст] : автореф. дис. ... канд. екон. наук / Л. В. Марценюк. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. – 24 с.

Надійшла до редколегії 02.11.2011.  
Прийнята до друку 16.11.2011.

Ю. В. БУЛГАКОВА

## АНАЛИЗ НАУЧНЫХ РАБОТ ПО РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДЛЯ РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В данной статье приведен обзор научных работ по реструктуризации технической базы для ремонта грузовых вагонов во времена СССР и необходимость разработки концепции ее реформирования в Украине.

*Ключевые слова:* вагонные депо, грузовые вагоны, программа ремонта, мощность, реструктуризация, непрофильные активы

J. V. BULGAKOVA

## ANALYSIS OF THE SCIENTIFIC WORKS ON RESTRUCTURING OF TECHNICAL BASE FOR REPAIR OF FREIGHT CARRIAGES

This article provides an overview of the scientific work to the reformation of the technical basis for repairing the freight carriages during the Soviet period and the need to develop the concept of reforming it in Ukraine.

*Keywords:* wagon depots, freight carriage, repair program, power, restructuring, non-core assets



Г. Л. ВЕНЕДИКТОВ, В. М. КОЧЕТКОВ (ООО «РЖД Сервис Северо-Запад», Санкт-Петербург, Российская Федерация)

## ПОВЫШЕНИЕ ДОХОДНОСТИ ПЕРЕВОЗОК ПОСРЕДСТВОМ ОПТИМИЗАЦИИ КВОТ МЕСТ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Предлагается алгоритм расчета оптимального количества продаваемых билетов на поезд для станции отправления и промежуточных станций, обеспечивающий максимальное значение совокупного дохода. Учитывается статистика имеющегося спроса для различных станций. Решение задачи сводится к реализации симплекс-метода для двойственной задачи линейного программирования со специализированной целевой функцией.

*Ключевые слова:* квотирование продажи мест на транспорте, симплекс-метод, двойственная задача линейного программирования

### Введение

Вопросам повышения доходности пассажирских перевозок в последние годы уделяется значительное внимание. Проблема увеличения доходности разделена в [1] на две части – 1) оптимальное ценовое регулирование и 2) управление, основанное на количественном регулировании мест, предлагаемых к продаже. Там же приводится ряд алгоритмов, построенных как на принципах ценовой оптимизации, так и на основе квотирования мест, продаваемых по различающимся ценам. В [2, 3] представлены способы ценовой оптимизации, основанные на экономико-математическом моделировании с использованием моделей, обладающих лучшими характеристиками, чем аналогичные модели в работе [1].

### Постановка задачи

Вопросы оптимального квотирования мест для промежуточных станций в форме, пригодной для использования на железнодорожном транспорте, в указанных работах не рассматривались. В этой связи уместно отметить, что в обзорной статье [4] прямо указывается на необходимость создания и внедрения методов оптимизации квот мест для промежуточных станций как одного из важных инструментов увеличения доходности. Разработке расчетных методов для решения указанной задачи и посвящена настоящая заметка.

### Результаты

#### 1. Математическая постановка задачи об оптимизации квот мест

Пусть между станциями отправления и конечного прибытия расположены промежуточные

станции, оснащенные кассовыми терминалами для продажи билетов. Каждой станции можно сопоставить номер  $i$  в порядке следования поезда по маршруту, причем для станции отправления примем  $i = 0$ , а для станции прибытия  $i = N$ . Промежуточным станциям отвечают номера от 1 до  $N - 1$ .

Пусть далее для рассматриваемого поезда и класса суммарное число мест в вагонах равно  $W$ . Билеты на эти места могут продаваться как на станции отправления, так и на промежуточных станциях. Количество пассажиров, желающих проехать от станции  $i$  к станции  $j$ , равно  $S_{ij}$ , при этом соответствующая стоимость билета равна  $p_{ij}$ . Задача состоит в том, чтобы найти такое количество билетов  $M_{ij}$ , предлагаемых пассажирам для перемещения со станции  $i$  на станцию  $j$  (при естественном условии  $j > i$ ), чтобы совокупный доход был максимальным.

Число искомых величин  $M_{ij}$  при  $j > i$  равно  $N(N+1)/2$ . При этом доход, полученный от продажи билетов, определяется формулой

$$D = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N p_{ij} M_{ij}. \quad (1)$$

Сформулированным выше условиям отвечают следующие ограничения. Ограниченность спроса на билеты:

$$M_{ij} \leq S_{ij}, \quad 0 \leq i \leq N-1, i+1 \leq j \leq N. \quad (2)$$

Условия, задающие ограниченность мест в поезде, сводятся к требованию, чтобы на любом перегоне между двумя соседними станциями число пассажиров не превышало величину  $W$ . Соответствующие условия имеют вид

$$\sum_{i=0}^k \sum_{j=k+1}^N M_{ij} \leq W, \quad k = 0, \dots, N-1. \quad (3)$$

Общее число перечисленных ограничивающих условий, таким образом, равно  $N + [N(N+1)/2]$ .

К условиям (2)–(3) иногда могут добавляться дополнительные требования, означающие, например, что для каких-то промежуточных станций размер квот вне зависимости от спроса не должен быть меньше определенной величины (фиксированные квоты для депутатов, военных и т.п.):

$$\sum_{j=i+1}^N M_{ij} \geq V_i, \quad i = 0, \dots, N-1. \quad (4)$$

Максимальное число условий составляет, таким образом, величину  $2N + [N(N+1)/2]$ . При этом отсутствие лимита квот для каких-то станций означает, что соответствующее значение  $V_i$  равно нулю.

Соотношениям (1)–(4) отвечает задача линейного программирования с целевой функцией  $D$ , для которой отыскивается максимальное значение. Как известно, подобные задачи могут решаться с использованием хорошо разработанной процедуры симплекс-метода [5, 6].

Имеется, однако, трудность, связанная с тем, что величины  $S_{ij}$ , задающие спрос, как правило, подвержены непредсказуемым изменениям во времени, то есть являются случайными величинами. Оставляя на время этот вопрос (в разделе 2 излагается способ преодоления указанной трудности), обратимся к особенностям реализации симплекс-метода для решения поставленной задачи.

Как известно, искомые величины находятся методом последовательного преобразования симплекс-таблиц, представляющих собой прямоугольные матрицы. Искомым величинам  $M_{ij}$  при этом отвечают столбцы матриц и, следовательно, упомянутые величины по своей природе должны быть одноиндексными. В нашем же случае величины  $M_{ij}$  описываются парой индексов, в связи с чем возникает задача представления их в одноиндексной форме. Опуская промежуточные выкладки, приведем решение указанной проблемы.

Величинам  $M$  с индексами  $i$  и  $j$  можно сопоставить тождественные им величины  $X_k$  с одним индексом, равным значению

$$k = iN - \frac{i(i-1)}{2} + (j-i). \quad (5)$$

Такое сопоставление двух индексов одному взаимно однозначно. После этого поставленная задача линейного программирования решается

стандартным симплекс-методом для переменных  $X_k$ .

По найденным в итоге значениям  $X_k$  индексы соответствующих величин  $M_{ij}$  находятся с помощью следующей процедуры. Строим последовательность  $N+1$  чисел  $\xi_s = sN - s(s-1)/2$ ,  $s = 0, \dots, N$ . Первый индекс  $i$  находим из условия  $\xi_i < k \leq \xi_{i+1}$ , после чего второй индекс  $j$  рассчитываем по формуле  $j = i + (k - \xi_i)$ . Указанная процедура позволяет использовать симплекс-метод в его стандартной форме и находить, таким образом, наилучшее, в отношении доходности, распределение квот для промежуточных станций. Далее приводятся примеры расчета по описанной схеме.

## 2. Переход к задаче стохастического программирования

Как отмечалось, величины  $S_{ij}$  в формуле (2), определяющие спрос на билеты, целесообразно рассматривать как случайные. Применяя экономико-математическое моделирование, можно по истории продаж оценить статистику спроса и в итоге найти для случайных величин  $S_{ij}$  оценки для среднего значения и дисперсии.

Основная трудность при оптимизации квот для отдельных станций с учетом случайного характера спроса состоит в том, что указанные величины  $S_{ij}$  включены не в целевую функцию (1), а в ограничительное условие (2). В связи с этим целесообразно перейти от задачи (1)–(4) к отвечающей ей двойственной задаче линейного программирования [5,6]. Для двойственной задачи, отвечающей исходной задаче (1)–(4), целевая функция, содержащая искомые величины  $Y_k$  ( $k = 1, \dots, 2N + [N(N+1)/2]$ ), имеет вид

$$D_1 = \left\{ \sum_k \left[ 1, \frac{N(N+1)}{2} \right] Y_k S_k \right\} + W \times \\ \times \left\{ \sum_k \left[ \frac{N(N+1)}{2} + 1, \frac{N(N+1)}{2} + N \right] Y_k \right\} + \\ + \left\{ \sum_k \left[ \frac{N(N+1)}{2} + N + 1, \frac{N(N+1)}{2} + 2N \right] Y_k V_k \right\}, \quad (6)$$

где индекс  $k$  для величин  $S_k$  и  $V_k$  пересчитывается через индексы  $i$  и  $j$  по формуле (5).

В формуле (6) из-за некоторой громоздкости в записи верхних и нижних индексов суммирования эти индексы указываются в строке, при этом используется обозначение

$$\sum_{k=k_1}^{k_2} a_k \equiv \left\{ \sum_k [k_1, k_2] a_k \right\}.$$

Как известно, в соответствии с принципом двойственности, для нахождения искомых величин  $Y_k$  отыскивается минимальное значение целевой функции (6).

Ограничивающие условия для двойственной задачи линейного программирования строятся по стандартной схеме [5,6] и не содержат ограничений, включающих случайные величины  $S_{ij}$ . Указанное обстоятельство позволяет для поиска оптимальных квот  $M_{ij}$  перейти к задаче стохастического программирования [7] и искать минимум не самой целевой функции (6), а ее математического ожидания. В связи с этим следует произвести следующие замены: если величины  $S_k$  в (6) имеют дискретное распределение  $P(S_k = m) = f_k(m)$ , то вместо  $S_k$  в формуле (6) следует подставлять величины  $\sum_{m=0}^{\infty} m f_k(m)$ ,

если же рассматривается непрерывная плотность распределения  $f_k(z)$ , то вместо  $S_k$  подставляются величины  $\int_0^{\infty} z f_k(z) dz$ .

После нахождения минимального значения целевой функции двойственной задачи с целевой функцией (6) искомые величины  $X_k = M_{ij}$  исходной задачи находятся стандартным методом – как часть строки финальной симплекс-таблицы для величин  $Y_k$  [5,6]. После этого для отыскания оптимальных квот остается лишь от индекса  $k$  для величин  $X_k$  перейти описанным выше методом к индексам  $i$  и  $j$  для величин  $M_{ij}$ .

Поскольку размер квот определяется целым числом, то в тех случаях, когда решение задачи содержит числа, не являющиеся целыми, целесообразно применять процедуру Гомори [5]. Однако, в связи с тем, что рассчитываемые числа  $M_{ij}$  обычно оказываются весьма большими, можно, как правило, действовать более простым методом – округлять полученные значения  $M_{ij}$  до ближайшего целого.

### 3. Оценка величин $S_k$ , задающих пассажирский спрос

Практика расчетов показывает, что результат нахождения оптимальных квот в наибольшей мере определяется объемами потенциальных пассажирских контингентов  $S_k$ , входящих в целевую функцию (6). В связи с этим в настоящем разделе описывается процедура нахождения среднего значения и стандарта распределения для упомянутых величин  $S_k$ .

В дальнейшем оказывается удобным рассчитывать не сам объем контингента  $S_k$ , а его отношение к числу предоставленных мест в

поезде. Эту случайную величину  $Z$  далее будем называть относительным объемом контингента. Пусть задана ее плотность распределения  $f(y, p)$ , где  $y$  – аргумент, а цена билета  $p$  является параметром распределения.

Через введенную величину  $Z$  можно оценить показатель использования вместимости (далее для краткости – населенность): это та часть относительного объема контингента, для которой в поезде имеются места. При оценке населенности величина  $Z$  не превышает единицу и зависимость среднего значения населенности от цены  $p$  дается соотношением

$$\begin{aligned} \tilde{N}(p) &= \int_{-\infty}^{\infty} \text{MIN}(y, 1) f(y, p) dy \equiv \\ &\equiv \int_{-\infty}^1 y f(y, p) dy + \int_1^{\infty} f(y, p) dy. \end{aligned} \quad (7)$$

Если распределение  $f(y, p)$  нормальное с дисперсией  $\sigma^2(p)$  и средним  $\bar{S}(p)$ , то вычисления по формуле (7) дают

$$\begin{aligned} \tilde{N}(p) &= 1 + [\bar{S}(p) - 1] \cdot \Phi \left( \frac{1 - \bar{S}(p)}{\sigma(p)} \right) - \\ &- \frac{\sigma(p)}{\sqrt{2\pi}} \exp \left( -\frac{[1 - \bar{S}(p)]^2}{2\sigma^2(p)} \right), \end{aligned} \quad (8)$$

где символом  $\Phi$  обозначена функция нормального распределения с нулевым средним и единичной дисперсией. Введенная таким образом величина (8) отвечает средней населенности как функции цены билета  $p$ .

С другой стороны, к оценке величины  $\tilde{N}(p)$  можно подойти, используя модельную зависимость спроса от цены. Спрос выражается через населенность  $\hat{N}(p)$ , для которой может использоваться модельная зависимость следующего вида [3]:

$$\hat{N}(p) = 1 \text{ при } p \leq p_{zp}, \quad \hat{N}(p) = 1 - \left( \frac{p - p_{zp}}{p_{np} - p_{zp}} \right)^{\alpha} \text{ при } p_{zp} < p \leq p_{np} \quad (9)$$

Входящие в выражение (9) граничная и предельная цены  $p_{zp}$  и  $p_{np}$  [3], а также показатель степени  $\alpha$  считаются известными на основе анализа истории продаж и/или проведенных опросов пассажиров, выявивших диапазон их ценовых предпочтений.

В последующем удобно использовать не сами цены  $p$ , а их отношение к граничной цене

$p_{cp}$ . В дальнейшем всюду, за исключением расчета целевой функции, достаточно оперировать относительными ценами  $x = p/p_{cp}$ . Мы сохраним введенные обозначения для населенности и объема контингента, считая что для них произведен пересчет в относительные цены.

В записи через относительную цену выражение (9) запишется в форме

$$\hat{N}(x) = 1 \text{ при } x \leq 1, \quad \hat{N}(x) = 1 - \left( \frac{x-1}{\xi-1} \right)^\alpha \text{ при } 1 < x \leq \xi, \quad (10)$$

где  $\xi = p_{np}/p_{cp}$ .

В формуле (8) после перехода к относительным ценам функция  $\tilde{N}(x)$  будет зависеть от величин  $\bar{S}(x)$  и  $\sigma^2(x)$ . Для не слишком широкого интервала относительных цен  $x$ , отвечающего реализуемым на практике значениям спроса, зависимость  $\bar{S}(x)$  можно представить в форме линейного соотношения

$$\bar{S}(x) = b - m \cdot x$$

с неизвестными коэффициентами  $m$  и  $b$ . Для величины  $\sigma(x)$  в том же ценовом интервале можно принять формулу<sup>1</sup>

$$\sigma(x) = \sigma_0 \cdot \sqrt{\bar{S}(x)} \quad (12)$$

с неизвестным коэффициентом  $\sigma_0$ .

Сопоставляя в некотором ценовом диапазоне величину  $\tilde{N}(x)$  с модельной зависимостью (10), можно по методу наименьших квадратов найти неизвестные коэффициенты  $m$ ,  $b$  и  $\sigma_0$  в выражениях (11) и (12). С этой целью в нужном ценовом диапазоне следует взять  $K$  различных значений относительной цены  $x_i$  ( $1 \leq i \leq K$ ) и в соответствии с методом наименьших квадратов минимизировать форму

$$F = \sum_{i=1}^K \left\{ 1 + [\bar{S}(x_i) - 1] \cdot \Phi \left( \frac{1 - \bar{S}(x_i)}{\sigma(x_i)} \right) - \frac{\sigma(x_i)}{\sqrt{2\pi}} \exp \left( -\frac{[1 - \bar{S}(x_i)]^2}{2\sigma^2(x_i)} \right) - \hat{N}(x_i) \right\}^2, \quad (13)$$

<sup>1</sup> Пропорциональная связь между дисперсией и средним характерна для канонических дискретных распределений типа биномиального или распределения Пуассона. Впрочем, в рассматриваемом случае при не слишком широких ценовых интервалах вид этой связи оказывается несущественным из-за произвольности коэффициента  $\sigma_0$ .

где значения  $\hat{N}(x_i)$  рассчитываются по формуле (10), а величины  $\bar{S}(x_i)$  и  $\sigma(x_i)$  – в соответствии с соотношениями (11) и (12). На практике можно ограничиться значением  $K = 10$ .

Минимизацию формы (13) можно производить по алгоритму последовательных градиентных спусков [8]. После нахождения указанным способом искомых коэффициентов  $m$  и  $b$  величины  $S_k$ , задающие потенциальные объемы контингентов, могут рассчитываться по формуле

$$S_k = W(b - mx), \quad (14)$$

где  $W$  – количество мест нужного класса в рассматриваемом поезде, а  $x$  – относительная цена билета. При этом величина  $S_k$  может быть как меньше  $W$  (удовлетворенный спрос), так и превышать это значение (неудовлетворенный спрос).

#### 4. Тестовые примеры расчета оптимальных квот для промежуточных станций

(11) При большом количестве промежуточных станций и различных значениях параметров, задающих ограничительные условия исходной задачи (1)–(4), реализуются разнообразные стратегии принятия оптимальных решений в отношении искомых квот. Однако наиболее важные особенности при этом обнаруживаются уже для  $N = 3$  (две промежуточные станции).

Для проведения тестовых расчетов использовалась следующая модель. Число мест в выбранном классе поезда принималось равным  $W = 200$ . При  $N = 3$  расстояния между всеми соседними станциями принимались одинаковым и в связи с этим величины  $p_{ij}$ ,  $S_{ij}$  и  $V_i$  рассчитывались по формулам

$$p_{ij} = j - i, \quad S_{ij} = k_C(j - i)W / N, \quad V_i = k_B(N - i)W / N, \quad i = 0, 1, 2, \quad i < j \leq N. \quad (15)$$

В формулах (15) спрос и число бронируемых мест задаются соответственно коэффициентами  $k_C$  и  $k_B$ , которым в расчетах придавались различные значения.

Для получения оценки, показывающей значимость оптимизации квот мест для промежуточных станций, использовалась следующая процедура. Сначала путем решения соответствующей задачи линейного программирования симплекс-методом находились оптимальные величины квот  $M_{ij}$  и отвечающий им максимальный доход  $D_{\max}$ . Затем рассчитанные квоты  $M_{ij}$  заменялись на измененные квоты  $\tilde{M}_{ij}$ , от-

личающиеся от исходных поочередно в сторону уменьшения и увеличения на некоторую долю  $\varepsilon$ . Для измененных квот  $\tilde{M}_{ij}$  рассчитывалась величина дохода  $\tilde{D}$  по формуле (1) и находилась величина относительного дохода  $d_{\text{отн}} = \tilde{D} / D_{\text{max}}$ .

На рис. 1 представлена рассчитанная описанным способом величина относительного дохода  $d_{\text{отн}}$  как функция относительного отклонения от оптимальности  $\varepsilon$ . Кривым 1, 2 и 3 отвечают значения коэффициента спроса  $k_C$ , равные соответственно 0,3, 0,6 и 0,9. Величина  $k_B$  принималась равной 0,1.

Как видно из рис. 1, оптимизация квот мест значительно влияет на величину дохода и при высоком спросе и неудачном распределении квот доход может уменьшаться на десятки процентов.

Влияние спроса на доход при оптимальных квотах мест иллюстрируется графиком на рис. 2, рассчитанным для  $\varepsilon = 0,1$ . Из этого графика видно, что при коэффициенте спроса, превышающем 0,6, доход перестает увеличиваться. Объяснением этого факта является наличие в этом случае избыточного спроса: при спросе, превышающем некоторую границу, из-за ограниченности мест в поезде не все потенциальные пассажиры могут приобрести билет – это и задает потолок максимального дохода.

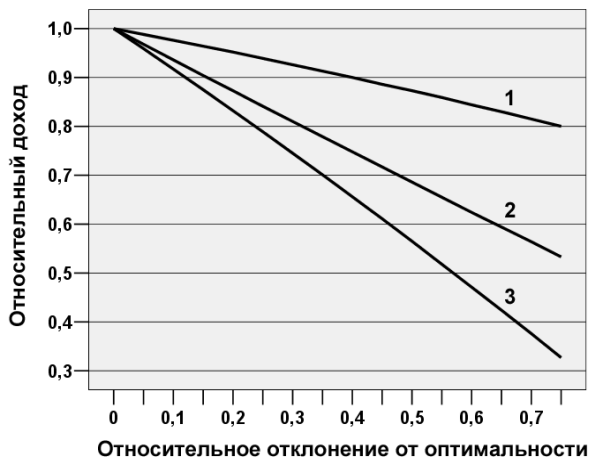


Рис. 1. Влияние относительного отклонения от оптимальности  $\varepsilon$  на величину относительного дохода  $d_{\text{отн}}$

Как показывают расчеты, предложенная методика нахождения оптимальных квот мест для промежуточных станций позволяет добиться заметного увеличения доходности пассажирского сообщения. Так, например, применительно к направлению, включающему 8 промежуточных станций и обеспечивающему при высо-

ком пассажирском спросе средний годовой доход для одного поезда порядка 250 млн руб., использование оптимального квотирования может обеспечить увеличение доходности на 17...28 млн руб.

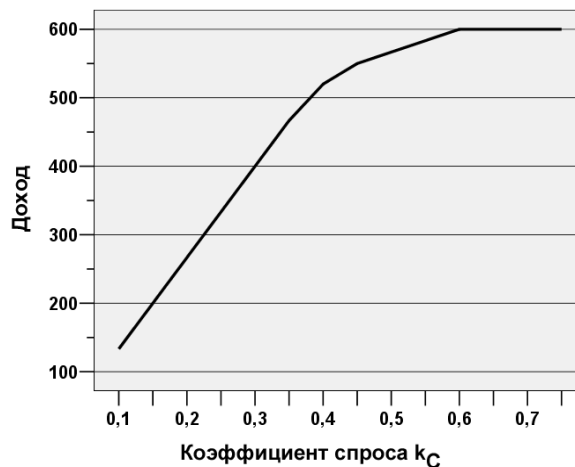


Рис. 2. Влияние спроса на доход при оптимальных квотах мест

## Выводы

Проведенные расчеты показали также, что описанная методика с программной стороны легко реализуется на основе хорошо разработанных к настоящему времени алгоритмов и может найти в связи с этим широкое практическое применение при эксплуатации пассажирского железнодорожного транспорта.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Talluri, K. T. The Theory and Practice of Revenue Management [Text] / K. T. Talluri, G. J. Van Ryzin. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004. – 713 p.
2. Венедиктов, Г. Л. Оптимизация доходов от перевозок пассажиров скоростными поездами постоянного формирования [Текст] / Г. Л. Венедиктов // Экономика железных дорог. – 2005. – № 8. – С. 25–29.
3. Методы реализации системы управления доходностью применительно к пассажирскому железнодорожному сообщению [Текст] / О. Ф. Мирошниченко [и др.] // Вестник ВНИИЖТа. – 2010. – № 6. – С. 10–15.
4. Комаров, Л. К. Динамическое ценообразование и управление доходностью пассажирских перевозок [Текст] / Л. К. Комаров // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 1. – С. 27–30.
5. Лунгу, К. Н. Линейное программирование: руководство к решению задач [Текст] / К. Н. Лунгу. – М.: Физматлит, 2005. – 128 с.
6. Кузнецов, А. В. Высшая математика: математическое программирование [Текст] / А. В. Кузнецов

- цов, В. А. Сакович, Н. И. Холод. – Мн: Вышэйшая шк., 1994. – 286 с.
7. Ермольев, Ю. М. Методы стохастического программирования [Текст] / Ю. М. Ермольев. – М: Наука, ГИФМЛ, 1976. – 244 с.
8. Бахвалов, Н. С. Численные методы [Текст] / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – М.-СПб.: Физматлит, 2001. – 630 с.

Поступила в редколлегию 25.08.2011.  
Принята к печати 07.09.2011.

Г. Л. ВЕНЕДИКТОВ, В. М. КОЧЕТКОВ

## **ПІДВИЩЕННЯ ПРИБУТКОВОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ КВОТИ МІСЦЬ ДЛЯ ПРОМІЖНИХ СТАНЦІЙ**

Пропонується алгоритм розрахунку оптимальної кількості продаваних квитків на поїзд для станції відправлення і проміжних станцій, що забезпечує максимальний сукупний дохід. Враховується статистика наявного попиту для різних станцій. Рішення задачі зводиться до реалізації симплекс-методу для двоїстої задачі лінійного програмування із спеціалізованою цільовою функцією.

*Ключові слова:* квотування продажу місць на транспорті, симплекс-метод, двоїста задача лінійного програмування

G. L. VENEDIKTOV, V. M. KOCHETKOV

## **GAIN OF TRANSPORTATION REVENUE BY OPTIMIZATION OF QUOTA ALLOCATION FOR IN-BETWEEN STATIONS**

An algorithm for calculation of optimal train ticket selling share for a departure station and in-between stations is proposed to obtain the ceiling total income. Available demand statistics for relevant stations are taken into account. The solution of the problem is reduced to applying of simplex-method to dual linear programming procedure with special objective function.

*Keywords:* quota allocation for train ticket selling, simplex algorithm, dual linear-programming problem

## ОЦІНКА ЗБИТКІВ, ЗАВДАНИХ ПОШКОДЖЕННЯМ ВАГОНІВ

У статті пропонуються методичні підходи з визначення суми збитків від пошкодження вантажних вагонів, яка підлягає відшкодуванню вантажовідправниками, вантажоодержувачами, власниками під'їзних колій, портами, іншими підприємствами та організаціями, винними у пошкодженні вантажних вагонів.

*Ключові слова:* відшкодування збитків, пошкодження вагонів, упущена вигода

## Вступ

Сучасний стан функціонування вагонного господарства Укрзалізниці характеризується високим ступенем фізичного та морального зносу, постійним зростанням витрат на ремонти та експлуатацію вантажних вагонів.

Вантажні вагони інвентарного парку, що експлуатуються в теперішній час, в основному побудовані за технічними вимогами 60-х років і, по суті, є рухомим складом старого покоління, для якого характерним є недостатній рівень надійності, значні витрати на обслуговування та ремонти.

Крім того, технічний стан вантажних вагонів багато в чому залежить від умов їх використання вантажовідправниками, вантажоодержувачами, власниками під'їзних колій, портами, іншими підприємствами та організаціями. При цьому в разі пошкодження вантажних вагонів інвентарного парку потрібно визначати суму збитків, яка підлягає відшкодуванню Укрзалізниці.

Для підвищення ефективності використання інвентарного парку вантажних вагонів, удосконалення системи взаєморозрахунків Укрзалізниці з клієнтами необхідно розробити методичні підходи з визначення розміру відшкодування збитків, завданих пошкодженням вагонів.

## Постановка завдання

**Метою даної роботи** є розробка методичних підходів із визначення суми збитків від пошкодження вантажних вагонів, яка підлягає відшкодуванню вантажовідправниками, вантажоодержувачами, власниками під'їзних колій, портами, іншими підприємствами та організаціями, винними у пошкодженні вантажних вагонів.

Для досягнення вказаної мети необхідно розробити порядок визначення реальних збитків, які повинні включати:

– витрати на транспортування пошкодженого вагона від місця пошкодження до місця його ремонту;

– вартість ремонту пошкодженого вагона;  
– витрати на перевантаження вантажу з пошкодженого вагона, якщо його неможливо відремонтувати у навантаженому стані;  
– упущену вигоду, яка складається з плати за користування вагоном за нормативний час перебування його у ремонті.

## Результати

Вартість ремонту та усі витрати, пов'язані з ремонтом пошкодженого вагона, зазначаються у акті про пошкодження вагона форми ВУ-25 (ВУ-25М), який надається винній стороні для відшкодування збитків за пошкодження вагона [4].

Сума збитків за пошкодження вагона складається з реальних збитків, які включають [1, 2, 3]:

– витрати на транспортування пошкодженого вагона від місця пошкодження до місця його ремонту;  
– вартість ремонту пошкодженого вагона;  
– витрати на перевантаження вантажу з пошкодженого вагона, якщо його неможливо відремонтувати у навантаженому стані;  
– упущену вигоду, яка складається з плати за користування вагоном за нормативний час перебування його у ремонті.

У разі втрати або пошкодження вагона до стану, що не підлягає ремонту, винна сторона зобов'язана надати відповідний вагон (відшкодування шкоди у натурі). У разі відсутності у винної сторони відповідного вагона вона зобов'язана відшкодувати його вартість (відшкодування збитків у повному обсязі). Вартість пошкодженого вагона визначається відповідно до Порядку визначення розміру збитків від розкрадання, нестачі, знищення (псування) матеріальних цінностей, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 22.01.1996 № 116 (із змінами) [2].

Витрати на транспортування пошкодженого вагона від місця пошкодження до місця його ремонту складаються з провізної плати, визна-

ченої відповідно до Збірника тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги (Тарифне керівництво № 1) [5], та податку на додану вартість (далі – ПДВ), визначеного відповідно до діючого законодавства.

При транспортуванні пошкодженого вагона на власних осях у складі поїздів провізна плата визначається за тарифною схемою № 14 /10/. Сума витрат на транспортування визначається за формулою (1):

$$B_{\text{т}} = \Pi \cdot f \cdot K_{\text{тар}} \cdot (1 + C_{\text{ПДВ}}/100), \quad (1)$$

де  $B_{\text{т}}$  – витрати на транспортування пошкодженого вагона, що підлягають відшкодуванню, грн;

$\Pi$  – провізна плата за тарифною схемою № 14 залежно від відстані пересилки, грн/вісь;

$f$  – кількість осей пошкодженого вагона, що транспортується, од.;

$K_{\text{тар}}$  – тарифний коефіцієнт, встановлений на дату початку транспортування до тарифів Збірника тарифів;

$C_{\text{ПДВ}}$  – ставка ПДВ, %.

При транспортуванні пошкодженого вагона на власних осях з окремим локомотивом провізна плата визначається за тарифною схемою № 28 /10/. При транспортуванні декількох вагонів провізна плата за локомотив нараховується один раз. Сума витрат на транспортування визначається за формулою (2):

$$B_{\text{т}} = (\Pi_{\text{лок}} + \Pi_{\text{рс}} \cdot f) \cdot K_{\text{тар}} \cdot (1 + C_{\text{ПДВ}}/100), \quad (2)$$

де  $\Pi_{\text{лок}}$  – провізна плата за локомотив відповідно до тарифної схеми № 28 у залежності від відстані пересилки, грн;

$\Pi_{\text{рс}}$  – провізна плата за рейковий рухомий склад за тарифною схемою № 28 у залежності від відстані пересилки, грн/вісь;

$f$  – кількість осей пошкодженого вагона (сумарна кількість осей декількох вагонів, якщо вони транспортуються з одним локомотивом), од.

Якщо ступінь пошкодження не дозволяє транспортувати вагон на власних осях, витрати на транспортування вагона складаються з вартості його завантаження на інший вагон, провізної плати та вартості його вивантаження з іншого вагона. Вартість завантаження та вивантаження визначаються за окремими калькуляціями, які додаються до акту про пошкодження вагона форми ВУ-25 (ВУ-25М).

Вартість завантажувально-розвантажувальних робіт складається з витрат на ці роботи та прибутку за установленою нормою. У складі витрат враховуються основні витрати за економічними елементами (матеріальні, оплата праці, єдиний соціальний внесок, амортизаційні відрахування, інші витрати) та пропорційні до основних витрат частки загальновиробничих та адміністративних витрат.

При перевезенні пошкодженого вагона на іншому вагоні у складі поїздів провізна плата визначається залежно від рухомого складу, що використовується для перевезення, та умов перевезення відповідно до тарифних схем № 1 або № 18 /10/. При перевезенні пошкодженого вагона на іншому вагоні з окремим локомотивом провізна плата визначається у залежності від рухомого складу, що використовується для перевезення, та умов перевезення відповідно до тарифних схем № 23 – 27 /10/.

При перевезенні пошкодженого вагона на іншому вагоні витрати на транспортування визначаються за формулою (3):

$$B_{\text{т}} = (\Pi \cdot K_{\text{тар}} + B_{\text{зав}} + B_{\text{розв}}) \cdot (1 + C_{\text{ПДВ}}/100), \quad (3)$$

де  $\Pi$  – провізна плата за перевезення за відповідною тарифною схемою у залежності від маси пошкодженого вагона та відстані перевезення, грн;

$B_{\text{зав}}$  – витрати на завантаження пошкодженого вагона на інший вагон без ПДВ, грн;

$B_{\text{розв}}$  – витрати на розвантаження пошкодженого вагона з іншого вагона без ПДВ, грн.

При використанні для перевезення пошкодженого (пошкоджених) вагонів декількох інших вагонів провізна плата ( $\Pi$ ) встановлюється як сума провізних плат для кожного з вагонів, що використовуються для перевезення.

Для визначення вартості ремонту на пошкоджений вагон, що поступає у технічне обслуговування з відчепленням (деповський, капітальний ремонт), складається дефектна відомість, яка є підставою для визначення витрат праці, запасних частин, матеріалів, енергетичних та інших ресурсів, необхідних для виконання робіт із відновлення його справного стану.

Вартість ремонту пошкодженого вагона складається з основних, загальновиробничих, адміністративних витрат, прибутку та податку на додану вартість.

До складу основних витрат включаються:

– витрати з оплати праці робітників, зайнятих ремонтом пошкодженого вагона;



– єдиний соціальний внесок, визначений від фонду оплати праці робітників, зайнятих ремонтом пошкодженого вагона;

– матеріальні витрати, у тому числі витрати на матеріали і запасні частини, витрати палива та електроенергії на технологічні потреби;

– амортизація основних засобів, задіяних у ремонті пошкодженого вагона;

– інші витрати, які безпосередньо пов'язані з ремонтом пошкодженого вагона, у тому числі витрати за послуги інших організацій за ремонт окремих вузлів і деталей, їх пересилку у ремонт та з ремонту.

Загальновиробничі та адміністративні витрати визначаються як частка відповідних витрат вагонного депо (вагоноремонтного підприємства), що виконує ремонт пошкодженого вагона, пропорційно до суми основних витрат.

До вартості ремонту включається прибуток за установленою нормою.

Розмір податку на додану вартість визначається згідно діючого законодавства.

Витрати на оплату праці у складі основних витрат визначаються за витратами праці робітників, задіяних у ремонті пошкодженого вагона, та діючими на час виконання ремонтних робіт нормативами оплати праці в частинах основної та додаткової заробітної плати згідно системи оплати праці, діючої у вагонному депо (вагоноремонтному підприємстві), що виконує ремонт пошкодженого вагона. Витрати праці встановлюються на підставі визначених за дефектною відомістю обсягів ремонтних робіт та діючих галузевих норм витрат праці при виконанні потрібного для відновлення справного стану вагона виду ремонту (технічне обслуговування з відчепленням, депоівський, капітальний).

Витрати на запасні частини визначаються за їх кількістю, що встановлюється згідно дефектної відомості, та цінами, що склались на час виконання ремонту. Вартість нових запасних частин, що використовуються при ремонті пошкодженого вагона, яка включається до вартості ремонту вагона з метою її відшкодування винною стороною, підлягає корегуванню на величину зносу вагона. Вартість запасних частин, що були у використанні, які використовуються при ремонті, корегуванню не підлягає. Якщо запасна частина, що була у використанні, оцінена за ціною нової, її вартість підлягає коригуванню у порядку, передбаченому для нових запасних частин. З урахуванням корегування витрати на запасні частини визначаються за формулою (4):

$$B_{\text{зап}} = K_{\text{пр}} \cdot \sum_{i=1}^n (Z_{\text{н.і}} \cdot Ц_{\text{н.і}}) + \sum_{j=1}^m (Z_{\text{бу.ж}} \cdot Ц_{\text{бу.ж}}), \quad (4)$$

де  $B_{\text{зап}}$  – витрати на запасні частини, грн;

$K_{\text{пр}}$  – коефіцієнт придатності пошкодженого вагона до пошкодження;

$Z_{\text{н.і}}$  – витрата нових запасних частин  $i$ -го найменування, од.;

$Ц_{\text{н.і}}$  – поточна ціна нових запасних частин  $i$ -го найменування без ПДВ, грн/од.;

$n$  – кількість найменувань нових запасних частин, що використовуються на заміну пошкоджених;

$Z_{\text{бу.ж}}$  – витрата запасних частин  $j$ -го найменування, які були у використанні, од.;

$Ц_{\text{бу.ж}}$  – поточна вартісна оцінка одиниці запасних частин, що були у використанні,  $j$ -го найменування, грн/од.

$m$  – кількість найменувань запасних частин, які були у використанні, що встановлюються на заміну пошкоджених.

Коефіцієнт придатності ( $K_{\text{пр}}$ ) визначається за формулою (5), але встановлюється не нижче, ніж 0,1:

$$K_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{зал}}}{T_{\text{ф}} + T_{\text{зал}}}, \quad (5)$$

де  $T_{\text{зал}}$  – тривалість періоду часу від дати пошкодження вагона до дати закінчення призначеного терміну експлуатації, діб;

$T_{\text{ф}}$  – тривалість періоду часу від дати пошкодження вагона до дати пошкодження, діб.

Видатки на матеріали, паливо та електроенергію на технологічні потреби визначаються за їх витратами та цінами, що склались на час виконання ремонту. Витрати матеріалів, палива та електроенергії встановлюються на підставі визначених за дефектною відомістю обсягів ремонтних робіт та діючих галузевих норм витрат відповідних ресурсів для виконання цих робіт.

Витрати на перевантаження вантажу з пошкодженого вагона включаються до складу реальних збитків, якщо його неможливо відремонтувати у навантаженому стані.

Ці витрати визначаються за калькуляцією вартості робіт, яка надається разом з розрахунком збитків.

Вартість перевантаження вантажу з пошкодженого вагона складається з основних, загальновиробничих, адміністративних витрат, прибутку та податку на додану вартість.

До складу основних витрат включаються:

- витрати з оплати праці робітників, зайнятих перевантаженням вантажу;
- єдиний соціальний внесок, визначений від фонду оплати праці робітників, зайнятих перевантаженням вантажу;
- матеріальні витрати, у тому числі витрати на матеріали, паливо та електроенергію на технологічні потреби;
- амортизація основних засобів, задіяних у перевантаженні вантажу;
- інші витрати, які безпосередньо пов'язані з перевантаженням вантажу.

Загальновиробничі та адміністративні витрати визначаються як частка відповідних витрат структурного підрозділу (підприємства), що виконує перевантаження вантажу, пропорційно до суми основних витрат.

До вартості перевантаження вантажу включається прибуток за встановленою нормою.

Розмір податку на додану вартість визначається згідно діючого законодавства.

Крім того, для визначення збитків потрібно враховувати упущену вигоду від виключення пошкодженого вагона з експлуатації [1, 6].

Упущена вигода при пошкодженні вагона до стану, який дозволяє його відновлення за рахунок ремонту, визначається у розмірі плати за користування вагоном за нормативний час перебування вагона у депо, капітальному ремонті або технічному обслуговуванні з відчепленням (залежно від виду ремонту, що необхідний для відновлення справного стану вагона), який встановлено відповідно до додатку 9 до п. 22 Правил користування вагонами і контейнерами [3].

У разі втрати або пошкодження вагона до стану, що не підлягає ремонту, упущена вигода визначається у розмірі плати за користування вагоном за час від дати пошкодження (встановлення факту втрати вагона) до дати відшкодування реальних збитків або відшкодування шкоди у натурі.

Плата за користування вагоном для визначення розміру упущеної вигоди у розрахунку на рік може визначатися як добуток вартості пошкодженого (втраченого) вагона та ставки капіталізації, що враховує норму доходу на вкладений у відповідний актив капітал та норму повернення вкладеного капіталу. Плата за користування вагоном у розрахунку на вагонодобу визначається за формулою (6):

$$П_{в-д} = \frac{1}{365} \cdot B_{\text{бал}} \cdot \left( 0,1 + \frac{365}{T_{\text{зал}}} \right), \quad (6)$$

де  $П_{в-д}$  – плата за користування вагоном для визначення розміру упущеної вигоди, грн/вагонодобу;

$B_{\text{бал}}$  – балансова (залишкова) вартість пошкодженого (втраченого) вагона на дату пошкодження (втрати), грн;

$T_{\text{зал}}$  – тривалість періоду часу від дати пошкодження вагона (дати встановлення факту його втрати) до дати закінчення призначеного терміну експлуатації, днів;

0,1 – норма доходу на вкладений капітал за рік, частка;

$\frac{365}{T_{\text{зал}}}$  – норма повернення вкладеного капіталу, частка.

Плата за користування вагоном у розрахунку на вагоно-годину визначається шляхом ділення плати за користування вагоном за вагонодобу на 24 години.

## Висновки

Розроблені методичні підходи з визначення розміру відшкодування збитків, завданих пошкодженням вагонів вантажовідправниками, вантажоодержувачами, власниками під'їзних колій, портами, іншими підприємствами та організаціями, винними у пошкодженні вантажних вагонів., дозволять обґрунтовано розраховувати реальні збитки Укрзалізниці з урахуванням:

- витрат на транспортування пошкодженого вагона від місця пошкодження до місця його ремонту;

- вартості ремонту пошкодженого вагона

- витрат на перевантаження вантажу з пошкодженого вагона, якщо його неможливо відремонтувати у навантаженому стані;

- упущеної вигоди, яка складається з плати за користування вагоном за нормативний час перебування його у ремонті.

Впровадження методичних підходів із визначення розміру відшкодування збитків, завданих пошкодженням вагонів, будуть сприяти підвищенню ефективності використання інвентарного парку вантажних вагонів, удосконаленню системи взаєморозрахунків Укрзалізниці з клієнтами.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Цивільний Кодекс України від 16.01.2003 № 435-IV (із змінами) [Текст].
2. Порядок визначення розміру збитків від розкрадання, нестачі, знищення (псування) матеріальних цінностей [Текст] : Затв.: Постанова Кабі-

- нету Міністрів України від 22.01.1996 № 116 (із змінами).
3. Правила користування вагонами і контейнерами [Текст] : Затв.: Наказ Мін-ва транспорту України від 25.02.1999 № 113; зареєстр.: Мін-во юстиції України 15.03.1999 за № 165/3458 (із змінами).
  4. Правила складання актів [Текст] : Затв.: Наказ Міністерства транспорту України від 28.05.2002 № 334; зареєстр.: Мін-во юстиції України 08.07.2002 за № 567/6855.
  5. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги (Тарифне керівництво № 1) [Текст] : Затв.: Наказ Мін-ва транспорту та зв'язку України від 26.03.2009 № 317; зареєстр.: Мін-во юстиції України 15.04.2009 за № 340/16356.
  6. Внукова, С. Н. Совершенствование ответственности в расчетах за международные грузовые перевозки [Текст] / С. Н. Внукова, Н. В. Гненный, Т. В. Тесленко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип.. 31. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 289–295.
- Надійшла до редколегії 15.11.2011.  
Прийнята до друку 22.11.2011.

Н. В. ГНЕННЫЙ, О. Н. ГНЕННЫЙ

## ОЦЕНКА УБЫТКОВ ОТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ВАГОНОВ

В статье предлагаются методические подходы определения суммы убытков от повреждения грузовых вагонов, которая подлежит возмещению грузоотправителями, грузополучателями, владельцами подъездных путей, портами, другими предприятиями и организациями, виновными в повреждении грузовых вагонов.

*Ключевые слова:* возмещение убытков, повреждения вагонов, упущенная выгода

M. V. GNENNIY, O. M. GNENNIY

## ESTIMATION OF LOSSES FROM DAMAGE OF CARS

In the article the technique for determination of the sum of the losses from damage of freight cars, which is subject to compensation, by owners of access roads, ports, other enterprises and organizations guilty of damage of freight cars is offered

*Keywords:* indemnification, damage of cars, profit missed

## НАУКОВІ ПРИНЦИПИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КУРСУВАННЯ ОКРЕМОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ПОЇЗДА

Визначення економічної ефективності курсування окремого пасажирського поїзда залежить від правильного розрахунку суми витрат на перевезення пасажирів конкретним поїздом. В роботі подано матеріал щодо визначення витрат на рух окремого пасажирського поїзду які включають пасажирську, локомотивну, моторвагонну та інфраструктурну складові. Це дозволяє правильно встановити прибутковість чи збитковість даного поїзда і тим самим підвищити рентабельність перевезень пасажирів у дальньому сполученні.

*Ключові слова:* залізничний транспорт, пасажирські перевезення, обсяги перевезень, доходи, витрати, рентабельність, ефективність окремого поїзда

Однією з основних цілей Укрзалізниці є підвищити ефективність пасажирських перевезень. В Україні пасажирські перевезення у дальньому сполученні в основному збиткові, виключення складають лише міжнародні перевезення та окремі поїзди внутрішнього сполучення. Підвищувати тарифи на пасажирські перевезення у внутрішньому сполученні можна тільки з дозволу Уряду, оскільки ці перевезення є соціально значущі. Тому кожна країна намагається виконувати більший обсяг пасажирських перевезень у міжнародному сполученні.

В Україні вирішення цієї проблеми дуже ускладнено, оскільки новий рухомий склад для перевезення пасажирів у дальньому сполученні закупляється лише за власні кошти Укрзалізниці і в дуже малих об'ємах. Уряд країни не виділяє інвестиції для придбання нових пасажирських вагонів, як це передбачено Законом України «Про залізничний транспорт» [1], (крім поїздів для ЕВРО-2012).

Для вирішення проблеми часткової ліквідації збитковості пасажирських перевезень у дальньому сполученні Укрзалізниця прийняла рішення скоротити кількість нічних збиткових поїздів, які мають низьку населеність, зменшити кількість проміжних зупинок для підвищення швидкості руху та замінити деякий рухомий склад поїздами корейського та чеського виробництва, які будуть рухатися зі швидкостями до 160 км на годину.

Приймати такі важливі рішення можна тільки при чіткому визначенні рентабельності конкретного пасажирського поїзда. Але зараз розрахунок ефективності курсування окремого пасажирського поїзда надає не зовсім об'єктивну інформацію, оскільки відсутня наукова методика для розрахунку рентабельності поїздів як у внутрішньому так і в міжнародному сполученні. Тому розподіл поїздів на прибут-

кові та збиткові, який зараз проводить Укрзалізниця, є не зовсім обґрунтованим.

Основна мета даної роботи - точне визначення та розподіл поїздів на збиткові та прибуткові, що забезпечить збереження за Укрзалізницею конкурентоспроможного транспортного ринку пасажирських перевезень у внутрішньому та міжнародному сполученні в умовах дефіциту рухомого складу.

На сьогоднішній день в Україні відсутня науково обґрунтована методика визначення ефективності окремого пасажирського поїзда. Є лише методичний підхід до визначення рентабельності окремого пасажирського поїзда. Показник рентабельності за своєю суттю передбачає відношення прибутку до того рентабельності чого шукається. В даному випадку доречно розглядати рентабельність саме виробництва, тобто відношення прибутку від наданих послуг до їх собівартості.

За цим підходом рентабельність  $P_{\text{поїзда}}^i$  конкретного поїзда у відсотках визначається як прибуток (збиток) віднесений до витрат на курсування пасажирського поїзда на протязі року:

$$P_{\text{поїзда}}^i = \frac{(D_{\text{поїзда}}^i - B_{\text{поїзда}}^i) \cdot 100}{B_{\text{поїзда}}^i}, \quad (1)$$

де  $P_{\text{поїзда}}^i$  – рентабельність окремого  $i$ -го пасажирського поїзда, відсотки;

$D_{\text{поїзда}}^i$  – дохід  $i$ -го пасажирського поїзда від перевезення пасажирів та багажу на протязі звітного року;

$B_{\text{поїзда}}^i$  – витрати  $i$ -го пасажирського поїзда при перевезенні пасажирів на протязі звітного року.

Якщо дохід окремого пасажирського поїзда на протязі року можна визначити за допомогою

спеціальної програми, то витрати за той же період зараз визначають за допомогою кількох узагальнюючих показників, які не в повній мірі відображають дійсні витрати конкретного поїзда, оскільки не враховують:

Середню швидкість руху поїзда, яка суттєво впливає на витрати палива або електроенергії на тягу поїзда;

Витрати на знос інфраструктури, які залежать від швидкості руху поїзда та його ваги;

Періодичність руху поїзда протягом року, яка впливає на додаткові витрати з екіпірування та розекіпірування поїздів, простоїв вагонів у зимовий період;

Індивідуальні особливості окремих поїздів (амортизацію та витрати на ремонти кожного вагону та ін.).

Багато статей витрат, які враховують певні різниці між поїздами.

На основі вищесказаного випливає, що рентабельність пасажирських поїздів, розрахована за існуючим методичним підходом не відображає реальної картини ефективності курсування пасажирських поїздів.

Для уникнення цього небажаного явища запропоновано новий науково обґрунтований підхід до визначення реальних витрат і ефективності курсування конкретного пасажирського поїзда.

Витрати на окремий пасажирський поїзд розраховані на основі розділу 6 форми 10-зал «Калькуляція собівартості вантажних та паса-

жирських перевезень за 2010 рік» (далі Калькуляція) [2] та Номенклатури витрат з основних видів економічної діяльності залізничного транспорту України з урахуванням перспективи реформування залізничної галузі (далі Номенклатура) [3].

З Калькуляції виділені усі без виключення витрати з пасажирських перевезень у внутрішньому та міжнародному сполученні, які потім розділені на окремі складові:

Пасажирська складова;

Інфраструктурна складова;

Локомотивна складова;

Моторвагонна складова.

В кожній складовій виділені певні групи витрат, які можна розраховувати по певному принципу. Наприклад, витрати від продажу квитків на поїзди у внутрішньому сполученні, що відносяться на окремий пасажирський поїзд, визначаються залежно від кількості квитків проданих на протязі року на конкретний пасажирський поїзд та загальної кількості квитків проданих на усі пасажирські поїзди даного сполучення.

В той же час витрати на окремий пасажирський поїзд, які залежать від середньої кількості вагонів в поїзді, періоду курсування та пробігу на протязі року, розраховуються за іншим принципом.

При розрахунку окремих складових виділялися різна кількість показників (рис01).

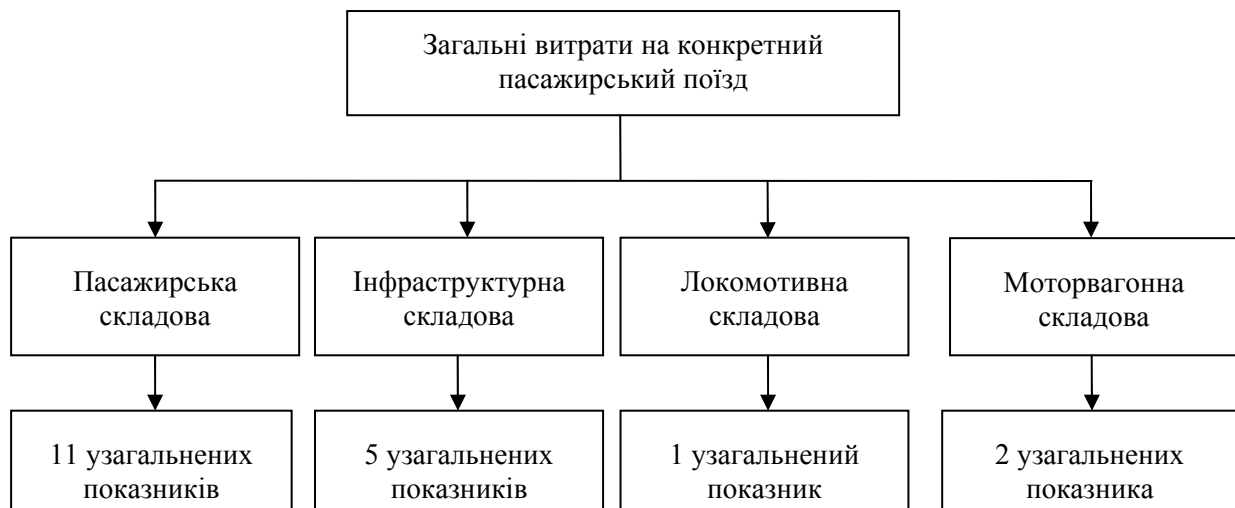


Рис. 1. Структура загальних витрат на конкретний пасажирський поїзд

Новий порядок (методика) визначення рентабельності окремого пасажирського поїзду дальнього сполучення, дозволить:

Правильно розраховувати витрати на окремий пасажирський поїзд з розподілом на пасажирську, інфраструктурну, локомотивну, та

моторвагонну складові з урахуванням усіх витрат, які несе Укрзалізниця. Ця проблема може бути вирішена при розрахунках, виконаних вручну, але це потребує значних витрат часу. Для оперативного визначення рентабельності

або збитковості окремого пасажирського поїзда необхідно цей процес автоматизувати.

Правильно визначати доходи від пасажирських перевезень окремим поїздом залежно від продажу на нього квитків та перевезення багажу за існуючим програмним забезпеченням.

Розрахунок реальних витрат на окремий пасажирський поїзд та економічна ефективність перевезень пасажирів в ньому являє собою дуже складну задачу, якщо її вирішувати вручну. Тому в подальшому слід розробити алгоритм та програму розрахунку для того, щоб вирішувати цю задачу на ПЕОМ з урахуванням вже існуючої програми для розрахунку доходів.

Точне визначення витрат за окремими складовими та узагальнюючими показниками на конкретний пасажирський поїзд дальнього сполучення в подальшому дозволить визначати ефективність курсування будь-якого поїзда та приймати оптимальні управлінські рішення

стосовно його виключення з існуючого розкладу руху.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Про залізничний транспорт [Текст] : закон України від 04.07.1996 р. № 273/96-ВР із змінами та доповненнями, внесеними Законами України № 2753-VI від 2 грудня 2010 р. // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 18. – ст. 128.
2. Галузева статистична звітність за формою № 10-зал [Текст] : Затв.: Наказ Укрзалізниці від 26.11.2008 № 519-Ц.
3. Номенклатури витрат з основних видів економічної діяльності залізничного транспорту України [Текст] : Затв.: Наказ Укрзалізниці від 21.08.2007 № 417-Ц із змінами та доповненнями.

Надійшла до редколегії 03.11.2011.

Прийнята до друку 15.11.2011.

Х. В. ДРЕБОТ, Ю. С. БАРАШ

## НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КУРСИРОВАНИЯ ОТДЕЛЬНОГО ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА

Определение экономической эффективности курсирования отдельного пассажирского поезда зависит от правильного расчета суммы расходов на перевозку пассажиров конкретным поездом. В работе подан материал относительно определения расходов на движение отдельного пассажирского поезда которые включают пассажирскую, локомотивную, мотор-вагонную и инфраструктурную составляющие. Это позволяет правильно установить прибыльность или убыточность поезда и тем самым повысить рентабельность перевозок пассажиров в дальнем соединении.

*Ключевые слова:* железнодорожный транспорт, пассажирские перевозки, объемы перевозок, доходы, расходы, рентабельность, эффективность отдельного поезда

Kh. V. DREBOT, Yu. S. BARASH

## SCIENTIFIC PRINCIPLES OF DETERMINATION OF EFFICIENCY OF RUNNING A SEPARATE PASSENGER TRAIN

Determination of economic efficiency of the management of separate passenger train depends on the correct calculation of sum of charges on carrying passengers by a concrete train. Material is given in relation to determination of charges on running a separate passenger train including the passenger, locomotive, motor-car and infrastructural components. It allows correctly setting profitability or unprofitableness of train and the same to promote profitability of passenger trains in distant traffic.

*Keywords:* railway transport, passenger transportation, transportation volumes, profits, charges, profitability, efficiency of separate train

Г. В. ЖУКОВА (Міністерство інфраструктури України, Київ)

## ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ НЕЕЛАСТИЧНОГО ПОПИТУ

В статті подано дослідження організаційно-економічного механізму розвитку підприємств промислового залізничного транспорту в умовах нееластичного попиту.

*Ключові слова:* організаційно-економічний механізм розвитку, підприємство промислового залізничного транспорту, нееластичний попит

Залізничний транспорт України є важливою складовою транспортно-дорожнього комплексу та відіграє провідну роль у життєдіяльності багатогалузевої економіки, забезпечуючи значні обсяги перевезень вантажів і пасажирів.

Система залізничного транспорту складається з магістрального та промислового. Обидві частини залізничного транспорту, виконуючі по спільній технології єдине завдання із задоволення потреб суспільного виробництва в перевезеннях. Залізничний транспорт загального користування та залізничний транспорт незагального користування займають свої ніші на ринку транспортних послуг, та по суті є єдиним механізмом, що забезпечує потребу вантажовласників в перевезеннях стальними магістралями.

Основною діяльністю підприємств промислового залізничного транспорту є надання послуг з перевезення вантажів та виконання початково-кінцевих операцій (навантажувально-розвантажувальні роботи).

Відповідно до своєї специфіки, підприємства промислового залізничного транспорту обслуговують промислові райони різних регіонів.

Будь-яке підприємство, що виробляє ту чи іншу продукцію зіштовхується з проблемою попиту на дану продукцію.

В сучасній економічній теорії термін «попит» визначено як залежність між ціною і кількістю товару, які покупці можуть і бажають придбати за суворо визначену ціну у визначений проміжок часу. Величина попиту буде визначатися рівнем ціни на дану продукцію (послугу).

Разом з тим, потрібно зазначити, що враховуючи етапи процесу перевезень вантажів, при умові, що початково-кінцеві операції здійснюються на підприємствах промислового залізничного транспорту, послуги надані цими підприємствами не є самостійною продукцією.

Процес перевезень залізничним транспортом загального та незагального користування умовно можна представити наступним чином:



Рис. 1. Схема процесу перевезень вантажів залізничним транспортом загального та незагального користування

Тобто, очевидним є, що перевезення вантажів та інші послуги, що пов'язані з процесом перевезень, що надаються підприємствами промислового залізничного транспорту, виконують, так би мовити, «підготовчі» операції до перевезення магістральним залізничним транспортом, а отже не є самостійним продуктом, так як діяльність підприємств промислового залізничного транспорту потребує обов'язкової присутності примикання до залізничних колій загального користування та відповідно підприємств виробничої сфери (клієнтів).

Отже, підприємства промислового залізничного транспорту є своєрідною ланкою у логістичному ланцюгу, що забезпечує взаємодію вантажовласників із залізничним транспортом. Разом з тим, існують певні обмеження в діяльності підприємств промислового залізничного транспорту, як зі сторони промислових підприємств (територіальне розміщення в певному регіоні країни (депресивному чи прогресивному), що в свою чергу впливає на кількість підприємств, що можуть представляти вантажі до перевезення; претензійна робота щодо встановлення тарифів та нарахування плати за послуги, що надаються ППЗТ; недостатність вихідної інформації, про обсяги робіт, що плануються) так і зі сторони залізниць (технічні відмінності (відсутня єдина технічна політика), що ускладнює процес перевезень; невелика швидкість доставки вантажів; проблемне надання вантажовласникам вантажних вагонів; недостатність інформації про підхід вантажів, прогнозного часу їх прибуття, що призводить до накопичування та простою вагонів).

Перед підприємствами промислового залізничного транспорту постає наступне питання: як за умов, що послуги, які ними надаються, не є самостійною продукцією а також, що існують досить суттєві обмеження в їх основній діяльності як зі сторони промислових підприємств так і зі сторони залізниць, стимулювати (збільшити) попит на їх продукцію (послуги). Тобто, іншими словами, як змінити величину попиту. Відповідно до визначень економічної теорії, міра чутливості однієї змінної (в нашому випадку попиту) до зміни іншої (ціни), що показує на скільки відсотків зміниться перший показник при зміні другого на 1 % називається еластичністю.

Тобто, потрібно визначити, чи є попит на послуги, що надаються підприємствами промислового залізничного транспорту еластичним.

Для цього розглянемо фактори, що впливають на еластичність попиту.

Фактор «наявність замінників». Підприємства промислового залізничного транспорту хоча і не підпадають під дію Закону України «Про природні монополії», все ж носять ознаки монопольної організації, так як дуже часто тільки за їх участю можливо здійснити початково-кінцеві вантажні операції, а також здійснити перевезення до колій (складів) вантажовласника та/або, навпаки, здійснити подачу вагонів до станції примикання залізничного транспорту загального користування. Отже, по фактору «наявність замінників» попит на послуги підприємств промислового залізничного транспорту нееластичний.

По фактору «ступінь необхідності даного товару (послуги) для споживачів» потрібно зазначити, що підприємства промислового залізничного транспорту співпрацюють з 6 залізницями та мають примикання по 64 станціям, надають послуги більш ніж 2000 підприємствам, організаціям та установам різних форм власності, що розміщені по всій території України. Незважаючи на поступове підвищення тарифів на послуги, що надаються цими підприємствами, обсяги послуг залишаються сталими у певних межах за умови стабільної економічної діяльності регіону, в якому розміщені філії ПрАТ «Київ – Дніпровське МППЗТ» та загальної ситуації в економіці країни.

Таким чином, за умовами фактору «ступінь необхідності даного товару (послуги) для споживачів» робимо висновок, попит нееластичний.

Для фактору «фактору часу» висунуто умови щодо довгостроковості або короткостроковості періоду надання послуг. Хоча підприємства промислового залізничного транспорту здійснюють свою діяльність протягом тривалого періоду часу (з початку 60-х років минулого століття), потрібно зазначити, що альтернативні варіанти знайти досить складно.

Враховуючи вищевикладене, та зважаючи на умови діяльності підприємства як в частині суттєвих обмежень зі сторони промислових підприємств так і зі сторони залізниць, а також результати аналізу факторів, що впливають на еластичність попиту, можна зробити висновок, що попит на послуги підприємств промислового залізничного транспорту нееластичний.



Тому, постає нова задача – потрібно знайти шляхи економічного розвитку підприємств промислового залізничного транспорту за умови нееластичного попиту.

На даний час ПрАТ «Київ-Дніпровське МППЗТ» працює рентабельно і в основному забезпечує потреби споживачів у перевезеннях. Однак стан виробничо-технічної бази і технологічний рівень перевезень за багатьма параметрами не відповідають зростаючим вимогам суспільства та стандартам якості надання транспортних послуг.

Для вирішення даних та ряду інших проблем необхідно реалізувати низку кардинальних заходів, пов'язаних з модернізацією та оновленням основних фондів, впровадженням ресурсозберігаючих і інформаційних технологій, удосконаленням системи ремонту та утримання рухомого складу, колій, засобів енергозбереження, застосуванням гнучкої тарифної політики тощо.

Ці проблеми стримують подальший розвиток підприємства.

Сучасна теорія трактує наступне визначення «розвитку». Розвиток – необоротна, спрямована, закономірна зміна матеріальних та ідеальних об'єктів. Тільки одночасна наявність всіх трьох зазначених властивостей виділяє процеси розвитку серед інших змін: оборотність змін характеризує процеси функціонування (циклічне відтворення постійної системи функцій); відсутність закономірності характерно для випадкових процесів катастрофічного типу; при відсутності спрямованості зміни не можуть накопичуватися, і тому процес втрачає характерної для розвитку єдиної, внутрішньої взаємозалежної лінії.

У результаті розвитку виникає новий якісний стан об'єкта, що виступає як зміна його складу або структури (тобто виникнення, трансформація або зникнення його елементів або зв'язків).

### Висновок

Враховуючи вищевикладене, за умови нееластичного попиту, тобто коли ні зниження тарифів, ні покращення якості даних послуг не матиме суттєвого впливу на збільшення попиту, бачиться два шляхи подальшого економічного розвитку підприємств промислового залізничного транспорту:

- по-перше – зменшення витрат;
- по-друге – збільшення доходів за рахунок надання додаткових послуг.

Здійснити зменшення витрат можливо тільки за деякими статтями витрат, при цьому заходи щодо їх зменшення можуть бути як організаційними так і носити інноваційний характер.

Щодо можливості збільшення доходів за рахунок надання додаткових послуг. Спираючись на досвід та діяльність закордонних організацій подібних до вітчизняних підприємств промислового залізничного транспорту потрібно відмітити досить широку сферу надання послуг. Звісно, що умови та специфіка діяльності українських підприємств промислового залізничного транспорту та закордонних аналогічних (за сферою основного виду діяльності) підприємств досить різняться, перш за все через організаційно-правову форму та/або належності або неналежності визначеному законодавством до транспорту загального користування. Проте, варто зазначити, що територіальне розміщення підприємств промислового залізничного транспорту України, їх специфіка та умови господарювання роблять можливим здійснення додаткових послуг для сторонніх підприємств та організацій.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України «Про природні монополії» [Текст].
2. Закон України «Про залізничний транспорт» [Текст].
3. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги [Текст]. – К.: Мінтрансв'язку, 2009. – 198 с.
4. Методичні рекомендації щодо формування тарифів на перевезення вантажів та інші послуги, що надаються ВАТ «Київ – Дніпровське МППЗТ» [Текст]. – К.: Мінтрансв'язку, 2007.
5. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Еластичность\\_\(экономика\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Еластичность_(экономика))
6. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Розвиток>
7. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Спрос>

Надійшла до редколегії 01.11.2011.

Прийнята до друку 09.11.2011.

Г. В. ЖУКОВА

## **ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ НЕЭЛАСТИЧНОГО СПРОСА**

В статье представлены исследования организационно-экономического механизма развития предприятий промышленного железнодорожного транспорта в условиях неэластичного спроса.

*Ключевые слова:* организационно-экономический механизм развития, предприятие промышленного железнодорожного транспорта, неэластичный спрос

G. V. ZHUKOVA

## **ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT MECHANISM FOR INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORT ENTERPRISES IN CONDITIONS OF INELASTIC DEMAND**

The paper presents the study of organizational-and-economic mechanism of industrial railway transport enterprises in the conditions of inelastic demand.

*Keywords:* organizational and economic mechanism of development, enterprise of industrial railway transport, inelastic demand

## ВІДТВОРЕННЯ ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ У СИСТЕМІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

В даній роботі розглянуто актуальні проблеми забезпечення економічної безпеки для українських залізниць, які зараз знаходяться у кризовому стані. Запропоновано схему процесу забезпечення економічної безпеки підприємства з виконавцями для залізниці. Проведено аналіз основних засобів на прикладі Дніпропетровської дирекції залізничних перевезень та аналіз наявності рухомого складу залізниць України. А також побудовано графік залежності рівня економічної безпеки від рівня відтворення основних засобів.

*Ключові слова:* економічна безпека, основні засоби, залізничні перевезення, відтворення основних засобів

Необхідною умовою зростання економічного потенціалу та виходу України з економічної кризи є ефективне функціонування транспортної системи. Її основу становлять залізниці, що забезпечують єдність основних ланок національного господарства. Основні засоби підприємств залізничного транспорту має дуже високий рівень фізичної та моральної зношеності. Обсяги та доступність традиційних джерел фінансування оновлювальних процесів у галузі, до яких належать власні кошти, бюджетне фінансування, банківські кредити, не задовольняють інвестиційні потреби залізничних підприємств у здійсненні оновлення основних засобів.

Відтворення основних засобів підприємств залізничного транспорту є підґрунтям конкурентоспроможності на внутрішньому та зовнішньому ринках перевезень, впливає на розвиток вітчизняної мережі міжнародних транспортних коридорів, транзитний потенціал транспортної системи України. Можливість розширеного відтворення основних засобів залізничного транспорту пов'язана з організацією інвестиційно-інноваційної діяльності, яка в конкурентних умовах ринку покликана забезпечити зміцнення позицій залізничного транспорту та реалізацію його стратегічних цілей. Тому пошук нетрадиційних форм фінансування цього процесу на залізничному транспорті потребує подальших досліджень [5].

В умовах нестабільності економічних процесів, які відбуваються в Україні, глибокої кризи, що охопила всі сфери економіки, діяльність усіх підприємств піддається безлічі внутрішніх і зовнішніх негативних впливів, які утруднюють забезпечення їхньої економічної безпеки (ЕБ). Проблема забезпечення економічної безпеки є актуальною і для залізничного транспорту – однієї з базових галузей економіки України, зокрема, для українських залізниць, які зараз знаходяться у кризовому стані.

Економічна безпека являє собою універсальну категорію, що відбиває захищеність суб'єктів соціально-економічних відносин на всіх рівнях, починаючи з держави і закінчуючи кожним його громадянином. Економічна безпека підприємств залізничного транспорту – це захищеність їх діяльності від негативних впливів внутрішнього і зовнішнього середовища, а також здатність швидко усунути різні варіанти погроз чи пристосуватися до існуючих умов, що не позначаються негативно на їх діяльності. Зміст даного поняття містить у собі систему мір, що забезпечують конкурентоспроможність і економічну стабільність підприємства, а також сприяючому підвищенню рівню добробуту працівників [3].

Звідси можна сказати, що економічна безпека підприємств залізничного транспорту – це стан найбільш ефективного використання корпоративних ресурсів для запобігання погроз і забезпечення стабільного функціонування підприємств в даний час і в майбутньому.

Економічна безпека залізничного транспорту характеризується сукупністю якісних і кількісних показників, найважливішим з яких є рівень економічної безпеки.

Рівень економічної безпеки залізничного транспорту – це оцінка стану використання корпоративних ресурсів за критеріями рівня економічної безпеки підприємств залізничного транспорту.

Головною метою досягнення найбільш високого рівня економічної безпеки, є роботи з забезпечення максимальної безпеки основних функціональних складових діяльності підприємства.

Головною метою досягнення найбільш високого рівня економічної безпеки, є роботи з забезпечення максимальної безпеки основних функціональних складових діяльності підприємства.

Функціональні складові економічної безпеки залізниці – це сукупність основних напрямків її економічної безпеки, що істотно відрізняються один від одного за своїм змістом.

Основною причиною необхідності забезпечення економічної безпеки залізниці є задача, що стоїть перед кожним підприємством залізничного транспорту, досягнення стабільності свого функціонування і створення перспектив росту для виконання цілей діяльності.

Рівень економічної безпеки підприємств залізничного транспорту базується на тому, наскільки ефективно службам даного підприємства вдається запобігати погрози й усувати збитки від негативних впливів на різні аспекти економічної безпеки. Джерелами таких негативних впливів можуть бути усвідомлені чи неусвідомлені дії людей, організацій, у тому числі органів державної влади, а також збігу об'єктивних обставин, наприклад: стан фінансової кон'юнктури на ринках, як даного підприємства так і на міжнародних ринках, стан основних засобів та рівень їх відтворення, наукові відкриття і технологічні розробки, форс-мажорні обставини та інше [5].

Рівень економічної безпеки на пряму залежить від стану основних засобів, оскільки, організація будь-якої підприємницької діяльності потребує наявності засобів праці, які тривало використовуються в процесі виробництва (експлуатації), зберігають початковий зовнішній вигляд, але протягом тривалого періоду зазнають поступового зносу і поступово переносять

свою вартість на собівартість продукції протягом їх нормативного строку служби.

Економічна сутність і матеріально-речовий зміст основних засобів слугують визначальними характеристиками в окресленні їх значення для здійснення відтворювальних процесів, функціонування та розвитку будь-якого виробництва. Вони визначають характер матеріально-технічної бази виробничої сфери на різних етапах її розвитку. Крім того, зростання основних засобів забезпечує підвищення технічної оснащеності та продуктивності праці виробничого персоналу, а тим самим і рівень економічної безпеки залізничного транспорту.

Для підвищення ефективності використання основних засобів, першочергове значення має їх відтворення.

Відтворення основних фондів – це процес безперервного їх оновлення. Процес відтворення має низку характерних ознак, зокрема:

- основні фонди поступово переносять свою вартість на продукцію;
- у процесі відтворення активів одночасно відбувається рух їхньої вартості;
- здійснюється нагромадження в грошовій формі частково перенесеної вартості активів на готову продукцію шляхом нарахуванням амортизації;
- основні засоби оновлюються в натуральній формі протягом часу [1].

Процес відтворення основних засобів, який охоплює стадії виробництва, обміну та відтворення основних засобів, можна представити таким чином (рис. 1).

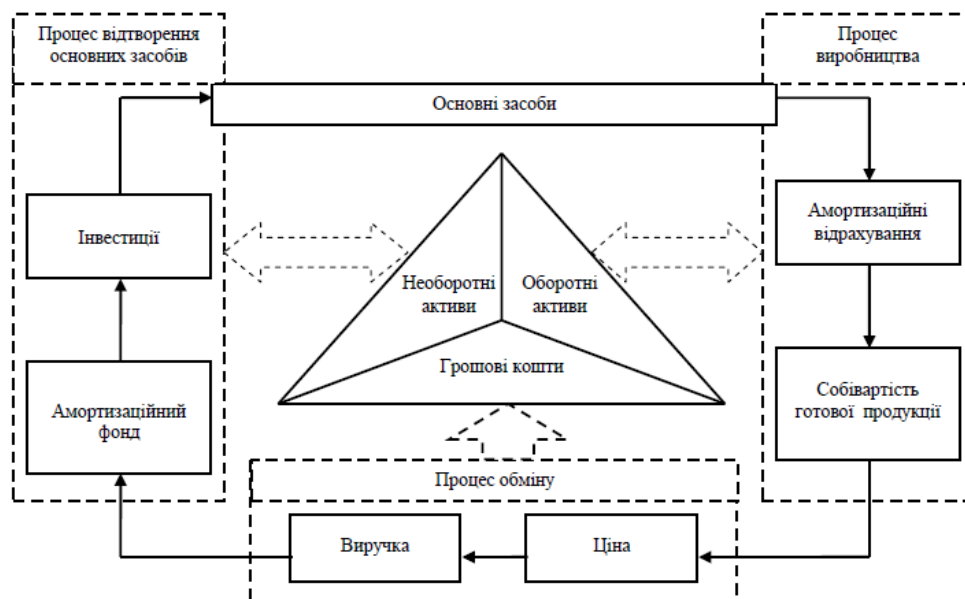


Рис. 1. Кругообіг основних засобів

На підставі такого узагальнення, відзначимо, що на етапі виробництва відбувається трансформація вартості необоротних активів в оборотні, а сума амортизації стає складовою собівартості готової продукції. В процесі обміну перенесена вартість основних засобів у сумі амортизації через ціну продукції компенсуються виручкою, яка надходить на підприємство після реалізації продукції. Саме в цей момент амортизаційний фонд набуває реального змісту, тобто підприємство отримує кошти, які є джерелом інвестицій. Після закінчення процесу обміну кошти амортизаційного фонду беруть участь в процесі відтворення основних засобів. На цій стадії обігові кошти трансформуються у необоротні активи.

Просте відтворення основних виробничих засобів здійснюється в тому самому обсязі, коли відбувається заміна окремих зношених частин основних засобів або заміна старого устаткування на аналогічне, тобто тоді, коли постійно відновлюється попередня виробнича потужність. За простого відтворення у кожному наступному циклі відбувається створення основних засобів у попередніх обсягах та з однаковою якістю. Джерелом фінансування заміни зношених необоротних активів є нарахована сума амортизації.

Розширене відтворення передбачає кількісне та якісне збільшення діючих необоротних активів або придбання нових, які забезпечують вищий рівень продуктивності устаткування. За розширеного відтворення кожного наступного циклу здійснюється кількісне і якісне оновлен-

ня необоротних активів за рахунок нового будівництва, у формі технічного переозброєння, реконструкції або розширення діючих підприємств, модернізації обладнання або його придбання та ін. Головним джерелом розширеного відтворення основних фондів в умовах переходу до ринкових відносин є прибуток.

Здійснення процесу відтворення залежить від багатьох факторів. Однак всі їх можна поділити по відношенню до підприємства на дві основні групи: зовнішні і внутрішні. Внутрішні фактори характеризують стан підприємства, а зовнішні – стан об'єктів навколишнього середовища (рис. 2) [1].

Отже, виходячи з цього, ми бачимо, що забезпечення економічної безпеки підприємства – це постійний циклічний процес. Для його виконання необхідна система організації, проведення і контролю заходів по досягненню прийнятого рівня економічної безпеки.

На рис.3 наведена схема процесу оцінки і забезпечення економічної безпеки підприємства, яка може бути застосована на всіх підприємствах сфери матеріального виробництва.

Вся система заходів, у тому числі і по забезпеченню економічної безпеки, які здійснюються на підприємстві, має своєю метою збереження його місії при обов'язковому досягненні високих виробничо-фінансових і соціальних результатів. Тому першим етапом у процесі забезпечення ЕБП є попередня оцінка рівня економічної безпеки підприємства і перевірка, чи немає загроз реалізації його місії.



Рис. 2. Фактори, які впливають на відтворення основних засобів

Діяльність підприємства повинна бути спрямована на одержання максимального прибутку при забезпеченні прийнятної рівня економічної безпеки, що при сьогодишньому стані основних засобів залізниць досить складно

Тому стратегічне і тактичне планування виробничо-фінансової діяльності підприємства повинно здійснюватися виходячи з відповідних планів забезпечення ЕБП, на підставі оцінки рівня ЕБП згідно з розробленою методикою.

Для реалізації схеми забезпечення економічної безпеки необхідно створення на підприємстві служби ЕБП, яка повинна аналізувати дії всіх підрозділів та надавати необхідну інформацію керівництву залізниці для координації дій всіх підрозділів по забезпеченню економічної безпеки підприємства. До складу служби ЕБП повинні ввійти підрозділи, діяльність яких необхідна для забезпечення ЕБП. Вони будуть продовжувати виконувати свої функції під керівництвом своїх начальників, а нові функції, пов'язані із забезпеченням економічної безпеки – під оперативним керівництвом начальника залізниці або особи, якій надані відповідні пов-

новаження, знаходячись, таким чином, у подвійному підпорядкуванні [2].

Для більшої зручності у розумінні значення процесів відтворення основних засобів у системі забезпечення економічної безпеки на підприємствах залізничного транспорту, наведемо аналіз стану основних засобів.

При проведенні аналізу необоротних активів Дніпропетровської дирекції залізничних перевезень було виявлено, що найбільшу долю у їх структурі займають основні засоби (99,1 % на початок і 98,9 % на кінець звітної періоду). Знос основних засобів на кінець звітної періоду становить 80,3 % первісної вартості, а залишкова вартість нематеріальних активів становить 24,9 % первісної вартості (табл. 1).

Активна частина виробничої бази залізничного транспорту включає в себе рухомий склад (локомотиви, вагони, електро- та дизельпоїзди), в тому числі спеціальний рухомий склад (автомотриси, підйомні крани на залізничному ходу, пожежні поїзди, снігоочишувачі, тощо), а також колійні машини. Узагальнену структуру парку рухомого складу залізниці наведено в табл. 2.

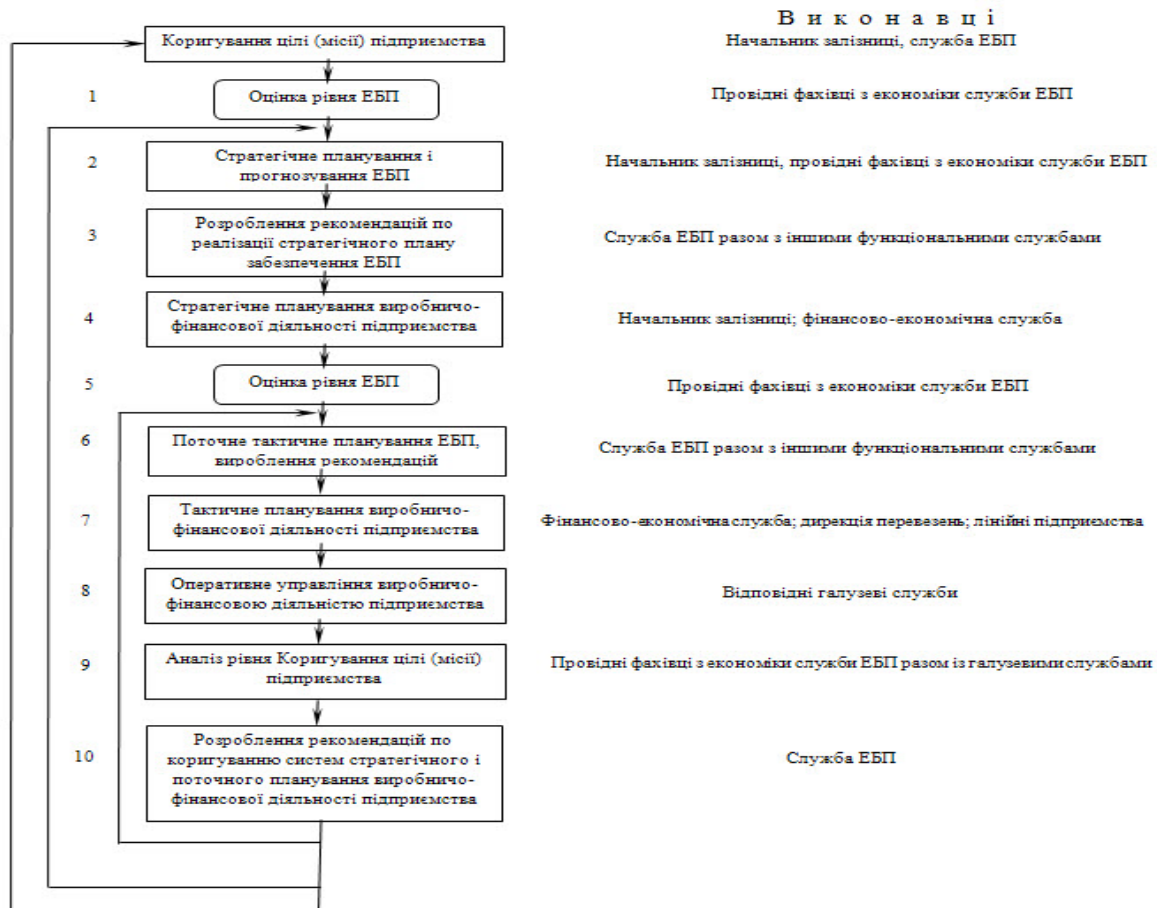


Рис. 3. Схема процесу забезпечення економічної безпеки підприємства з виконавцями для залізниці

## Аналіз основних засобів Дніпропетровської дирекції залізничних перевезень

Основні засоби:	На початок звітної періоду	На кінець звітної періоду	2009, %	2010, %	Абсолютне відхилення
залишкова вартість	28709	26345	21,756659	19,738962	-2,0176978
первісна вартість	131955	133467	100	100	0
знос	103246	107122	78,243341	80,261038	2,0176978

Залізниці України до останнього часу забезпечували потреби економіки та населення у перевезеннях. Досягалось це, як вже зазначалося, в основному, за рахунок надлишку технічних потужностей, утворених раніше за радянських часів. До 2000 року темпи падіння обсягів перевезень перевищували темпи старіння та виведення з експлуатації основних фондів, особливо їх активної частини – рухомого складу. На теперішній час резерви залізниць вичерпані.

Починаючи з 1991 року, інвентарний парк тягового рухомого складу, за причин виведення

з експлуатації рухомого складу, що відпрацював призначені терміни служби, а також хронічного недофінансування закупівлі нового, скоротився на 2082 одиниці (26 %), пасажирських вагонів – на 2584 вагони (25 %), вантажних вагонів – на 120 тисяч (45 %). Ситуація ускладнюється тим, що зношеність рухомого складу, термін експлуатації якого складає 25...30 років, становить 65,8%. Це призводить до збільшення витрат на ремонт та забезпечення безпеки руху проти нормативних більше, ніж у 2 рази.

Таблиця 2

## Наявність рухомого складу залізниць України та рівень його зношеності

Тип рухомого складу	2008		2009		2010	
	Одиниць	% зношеності	Одиниць	% зношеності	Одиниць	% зношеності
Електровози	1812	52	1834	48	1871	40
Тепловози	2472	44	2442	49	2429	51
Секції електропоїздів	332	25	318	24	320	25
Дизель-поїзди	152	57	151	60	150	61
Вантажні вагони	146541	75	143798	77	142834	77
у т. ч. напіввагони	63311	81	63570	76	63570	79
Пасажирські вагони	7247	61	7293	64	7349	59

До активного оновлення рухомого складу спонукає також і загострення конкуренції та лібералізація європейського ринку вантажних перевезень. Процес успішної інтеграції залізниць України у систему континентальних транспортних сполучень і нарощування потенціалу вантажних перевезень у цій сфері безпосередньо залежить від організаційних заходів й інвестицій у розвиток залізничної інфраструктури і рухомого складу.

У комплексному вирішенні нагальної проблеми оновлення залізничного рухомого складу, проведення капітальних ремонтів з подовженням терміну експлуатації та модернізація існуючого рухомого складу, а також проста заміна зношеного рухомого складу на новий

(спроектований більше півстоліття тому), можуть розглядатися не більше, ніж допоміжні заходи. З огляду на необхідність нового рівня транспортного забезпечення потреб економіки і суспільства, а також конкуренцію на європейському ринку перевезень, застосуванням тільки цих складників вирішити проблему оновлення рухомого складу неможливо.

Слід зазначити, що в розвинених державах світу за цей же період часу змінилося вже 2...3 покоління тягового рухомого складу. Більшість рухомого складу, який працює на залізницях України в даний час, за якісними показниками значно гірший від сучасного закордонного, в порівнянні з ними має більш високі витрати на утримання при експлуатації. Відсутність сучас-

них мікропроцесорних систем управління та діагностики, асинхронного тягового приводу, сучасних систем охолодження тягових електричних машин та рекуперації енергії знижує його ефективність на 20...30 % в порівнянні з закордонними зразками, а використання застарілих конструкційних рішень приводить до зниження надійності та збільшення витрат на утримання рухомого складу [4].

Таким чином, пріоритетом повинно стати не лише придбання необхідної кількості одиниць рухомого складу переважно нового покоління, що відповідає європейським технічним нормам щодо залізничного транспорту, а й надання можливості приватним компаніям вийти на ринок перевезень (надати необхідні ліцензії, доступ до залізничних колій та мереж тощо). Умови оплати за використання інфраструктури

мають бути однаковими для всіх перевізників, включаючи й Укрзалізницю.

Отже, збільшивши таким чином рівень відтворення основних засобів, ми можемо збільшити рівень економічної безпеки підприємств залізничного транспорту.

Виходячи з цього побудуємо графік залежності рівня економічної безпеки підприємства від рівня відтворення основних засобів (рис. 4).

Як видно на побудованому графіку локальної функції рівня економічної безпеки, після деякого значення показника відтворення основних засобів ріст функції сповільнюється, і подальше поліпшення показника викликає дуже незначний ріст функції. Очевидно, що підприємству не потрібно прагнути до максимально можливих значень показника. Достатнім буде досягнення якихось прийнятних значень, яким відповідає зона прийнятної ЕБП.

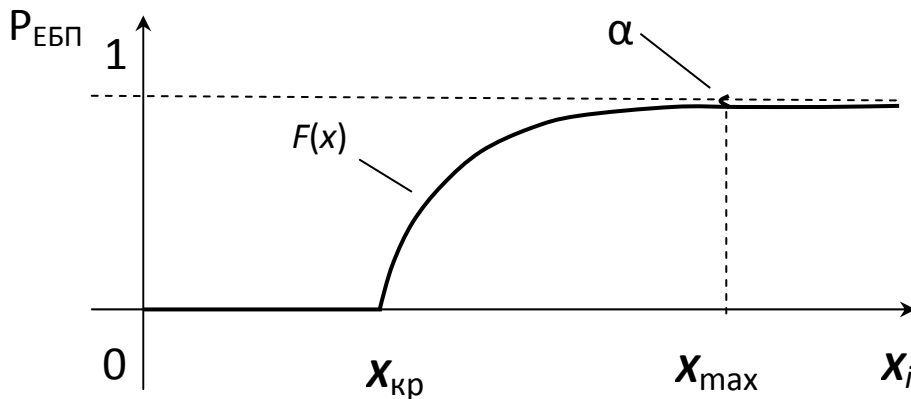


Рис. 4. Графік залежності рівня економічної безпеки підприємства від рівня відтворення основних засобів

Виходячи з критичних і максимальних значень показника і прийнятої величини  $\alpha$ , виводяться формули залежності рівня ЕБП від рівня відтворення основних засобів підприємства. Величина  $\lambda$  визначається шляхом логарифмування рівняння кривої в точці  $(x_{\max}; 1 - \alpha)$ . Питома вага значущості показників у рівні ЕБП визначається пропорційно середнім відсоткам росту локальної функції  $f(x_i)$  при зміні аргументу  $x_i$  (показника відтворення основних засобів) на 1 % в межах від  $x_{\text{кр}}$  до  $x_{\text{max}}$ .

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Артамонов, В. С. Экономическая теория [Текст] / В. С. Артамонов, А. И. Попов, С. А. Иванов. – СПб.: Питер, 2010. – 528 с.
2. Камлик, М. І. / Економічна безпека підприємницької діяльності. Економіко-правовий ас-

пект [Текст] : навч. посібник / М. І. Камлик. – К.: Атіка, 2005.

3. Козаченко, Г. В. Економічна безпека підприємства: сутність та механізм забезпечення [Текст]: монографія / Г. В. Козаченко, В. П. Пономарьов, О. М. Ляшенко. – К.: Лібра, 2003.
4. Проблеми та основні напрямки реформування залізничного транспорту України [Текст] / Ю. М. Цветов [та ін.]. – К.: КУЕТТ, 2007. – 222 с. – С. 113–120.
5. Перцев, А. М. Экономическая безопасность железнодорожного транспорта [Текст] / А. М. Перцев, В. А. Паршиков, Г. Л. Андреев // Ж.-д. трансп. – 1999. – № 3. – С. 39–41.
6. Экономическая безопасность железнодорожного транспорта [Текст] : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Р. А. Кожевников [и др.]. – М.: Маршрут, 2005. – 326 с.

Надійшла до редколегії 21.11.2011.

Прийнята до друку 25.11.2011.



С. В. КАЛАМБЕТ, Е. В. ЧЕРНОВОЛ, В. А. ВОРОПАЙ

## **ВОСПРОИЗВЕДСТВО ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

В данной работе рассмотрены актуальные проблемы обеспечения экономической безопасности для украинских железных дорог, которые в настоящий момент находятся в кризисном состоянии. Предложена схема процесса обеспечения экономической безопасности предприятия с исполнителями для железной дороги. Проведен анализ основных средств на примере Днепропетровской дирекции железнодорожных перевозок и анализ наличия подвижного состава железных дорог Украины. А также построен график зависимости уровня экономической безопасности от уровня воспроизводства основных средств.

*Ключевые слова:* экономическая безопасность, основные средства, железнодорожные перевозки, воспроизводство основных средств

S. V. KALAMBET, O. V. CHORNOVIL, V. A. VOROPAY

## **REPRODUCTION OF FIXED ASSETS IN ENSURING THE ECONOMIC SECURITY OF RAILWAY TRANSPORT ENTERPRISES**

In this work the urgent issues of ensuring the economic security are considered for the Ukrainian Railways, which presently are in the crisis state. The process chart of ensuring the economic security of enterprise is offered with performers for a railway. The analyses of both the fixed assets on example of the Dnepropetrovsk Office of Railway Transportation and the availability of rolling stock of the Ukrainian Railways are performed. The chart of dependence of the economic security level on the level of reproduction of the fixed assets is built as well.

*Keywords:* economic security, fixed assets, railway transportation, reproduction of fixed assets

## ФОРМУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ РЕФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ГАЛУЗІ

Розглядаються напрями формування транспортно-логістичних систем в умовах реформування залізничної галузі України, враховуючи досвід роботи логістичних структур автомобільного транспорту, потреби регіональних органів місцевого самоврядування, особливості транскордонного співробітництва, технології просування вантажів на основі змішаного підходу та концепцій створення логістичних кластерів. Пропонується формування логістичних систем перевезення використовуючи технологічні та конкурентні складові, провівши класифікацію посередників, і на основі цих вищезгаданих факторів зменшення транспортної складової, що сприятиме зацікавленості власників вантажів у перевезеннях та виборі виду транспорту.

*Ключові слова:* транспортно-логістичні системи, логістичні структури, транспортна складова вартості

### Постановка проблеми

Транспортна система України на сьогоднішній день функціонує в умовах різноманітних форм власності. Лише залізнична галузь якось осторонь залишилась від цих процесів, тому з реформуванням залізниць розпочнеться зміна концепції діяльності інших видів транспорту.

В умовах планової економіки єдина транспортна система держави забезпечувала постійно зростаючі потреби у перевезеннях вантажів та пасажирів, що створювалось завдяки єдиній системі управління галуззю, адже ця система мала низку переваг: можливість комплексного розвитку транспорту як на державному, так і на регіональному рівнях; забезпечення логістичних підходів до управління вантажопотоками; організацію взаємодії різних видів транспорту (інтермодальні перевезення).

Проте форми взаємодії транспортних організацій із суб'єктами планової економіки суттєво відрізняються від сучасних, що диктує ринок. В даний час споживачем транспортних послуг є не держава, а власники вантажів, які зорієнтовані на вибір виду транспорту і умов перевезень. В умовах конкуренції в цій сфері найбільшу перевагу має той вид транспорту і той перевізник, що пропонує комплекс послуг з доставки вантажів «від дверей до дверей». І точно в зазначений термін.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогоднішній день проблеми логістичного підходу до організації перевезень в Україні висвітлено у роботах Є. В. Крикавського, І. М. Аксьонова, Т. В. Бутко, В. Л. Диканя, М. В. Макаренка, Ю. М. Цвєтова, Ю. С. Бараша, О. Г. Дейнеки, Н. І. Чухрай та ін.

Опрацювання робіт згаданих вище вітчизняних вчених з використанням зарубіжного до-

свіду дає змогу всесторонньо підійти до поставленого наукового завдання та подати своє бачення щодо цієї проблеми.

### Виклад основного матеріалу

Реформування залізничного транспорту поставило цілу низку питань щодо його подальшого функціонування в конкурентному середовищі з іншими видами транспорту (автомобільний, морський). Слід враховувати і те, що Україна та її транспортна система знаходиться в мережі транспортних коридорів, де є певні проблеми в тому, що залізничні транспортні кампанії ЄС пропонують альтернативні маршрути перевезень.

На сьогоднішній день є дуже багато пропозицій з боку органів місцевого самоврядування про створення різних логістичних центрів, так, з реформою митної служби Закарпаття пропонують перетворити на потужний логістичний центр де за процесом перетину кордону можна буде стежити в режимі ОНЛАЙН. Це сприятиме тому, що Закарпаття, яке межує одразу з 4-ма Європейськими країнами, зможе стати великим логістичним центром Європи. На думку авторів робота логістичного центру повинна будуватися на таких основних принципах:

- пропозиція максимально повного переліку транспортних і супутніх послуг;
- організація комплексного транспортного обслуговування на основі єдиного договору на комплексне обслуговування і єдине замовлення на всі послуги;
- максимальна стандартизація та уніфікація перевізних й інших документів, необхідних для виконання перевезення;
- єдина маркетингова стратегія і тактика учасників логістичного ланцюга на ринку транспортних послуг;

- географічний розподіл структурних підрозділів МТЛЦ з метою максимального охоплення ринку транспортних послуг;
- організація співробітництва з українськими і міжнародними організаціями, що займаються питаннями транспортної логістики;
- побудова роботи на основі світових стандартів і міжнародних договорів, угод, конвенцій;
- інтеграція з міжнародними логістичними центрами і забезпечення інформаційного обміну з ними;
- підвищення ефективності транспортних послуг через зниження частки невикористаного графіка (при неповному завантаженні);
- стандартизація інформаційної взаємодії МТЛЦ з учасниками логістичних ланцюгів.

Розглядаючи рекомендації науковців щодо використання Схеми планування території Львівської області пропонується створення пунктів пропуску через кордон які пропускають вантажні потоки та біля основних вузлів і центрів економічного розвитку, передбачено створення логістичних центрів. Так, передбачається створити логістичний комплекс біля смт Красне Буського району, в Пустомитівському районі логістично-промисловий комплекс біля с. Давидів і логістичний комплекс „Білогоща” на території Зимноводівської сільської ради, логістичний парк у Городоцькому районі, логістично-транспортний комплекс біля с. Липник Жовківського району та логістичний парк в районі сервісної зони ПП «Рава-Руська», комплекс з митного догляду вантажів та логістичний парк біля с. Арламова Воляна території Мостиського району, логістичний комплекс в сервісній зоні ПП «Краковець» на території Яворського району, логістичний центр «Сигнівка» у Львові. [2]

Серед інвестиційних проектів під час 10-го Міжнародного економічного форуму у Трускавці презентували ідею створення Західноукраїнського логістичного центру біля Яворова, що позитивно вплине на підвищення конкурентоздатності Львівщини, адже поляки будують супервеликий логістичний центр (Корчова – Доліна).

Отже кілька невеликих прикладів свідчить про те, що йде активний процес створення логістичних структур в регіонах, але оскільки на залізницях вже є досвід роботи логістичних центрів: Ліски, БАТ «Закарпатінтерпорт» та ін.

В даний час вченими сформульовано поняття: Транспортно-логістична система (сукупність учасників руху товарів/перевізників, координаторів перевезень, терміналів, портів),

система взаємодії різних видів транспорту (сукупність транспортних, термінальних, портових інфраструктур та рухомого складу різних видів транспорту, об'єднаних загальною технологією їх взаємодії з метою забезпечення мультимодальних перевезень).

Отже, маючи досвід роботи логістичних центрів, враховуючи конкуренцію з боку автомобільного транспорту, а також активну роботу регіональних органів влади, на рівні Укрзалізниці доречно розробити концепцію по взаємодії різних видів транспорту на базі формування транспортних логістичних систем. Для цього потрібні інвестиції, адже в США на державну підтримку транспорту виділяється 22 млрд дол., в ЄС – 5 млрд щорічно на основі державних та міждержавних програм. Тому для досягнення цієї мети необхідно: визначити та виконати систематизацію функцій перевізників в рамках логістики; провести дослідження вантажних та транспортних потоків з метою адаптації перевізників до транспортно-логістичної діяльності щодо управління цими потоками; провести аналіз сучасних підходів щодо організації руху товарів, провести класифікацію учасників ринку; провести порівняння існуючих технологій формування транспортно-логістичних систем при мультимодальних перевезеннях; розробити модель формування транспортно-логістичної системи в рамках міжнародних стандартів.

На сьогоднішній день вчені пропонують різні підходи. Загалом з урахуванням рівня розвитку транспортної мережі в Україні і напрямку транспортно-економічних зв'язків пропонується організувати близько 50 опорних ТЛЦ, що за своєю спеціалізацією можуть бути згруповані у три категорії [3]:

1) прикордонні: Ковель, Рава-Руська (Жовква), Мостиська, Чоп, Харків, Луганськ, Донецьк, Чернігів;

2) внутрішні: Київ, Житомир, Вінниця, Полтава, Суми, Дніпропетровськ, Кіровоград, Черкаси, Сімферополь, Мелітополь, Хмельницький, Тернопіль, Рівне, Івано-Франківськ, Львів;

3) водні: Рені, Ізмаїл, Усть-Дунайськ, Білгород-Дністровський, Іллічівськ, Одеса, Південний, Миколаїв, Октябрьський, Херсон, Скадовськ, Євпаторія, Севастополь, Ялта, Феодосія, Керч, Бердянськ, Маріуполь, Запоріжжя, Дніпропетровськ.

Реалізація технології просування вантажопотоків передбачає формування моделі перевізного процесу на основі змішаного підходу з частковим використанням жорстких ниток гра-

фіка руху для просування потужних високопріоритетних вантажопотоків. Такий підхід дозволить підвищити рівень організації перевезень та дозволить не втратити гнучкість транспортної системи Укрзалізниці при освоєнні вагонопотоків, що виникають в результаті нерівномірного навантаження та не входять в план жорсткого графіка.

Для реалізації віртуального логістичного ланцюга доцільно проводити моделювання з вибору варіанта просування поїздопотоків за жорсткими нитками графіка руху на окремих напрямках залізниць. В основі досліджень пропонується використовувати комплексний підхід з урахуванням найбільш економічно доцільних маршрутів прямування поїздів в умовах різних варіантів подовження пліч обслуговування локомотивів та локомотивних бригад, швидкостей руху на дільницях при експлуатації різних типів локомотивів, технології обробки поїздів на технічних станціях, зміни ваги та довжини поїздів. Як варіант реалізації запропонованої системи просування вантажопотоків доцільним є дослідити ефективність прямування вантажних поїздів за жорсткими нитками графіка вагою більш ніж 6000 т. Для визначення конкурентоспроможних варіантів організації логістичної технології просування вантажопотоків необхідно є побудова методів дослідження впливу різних факторів при реалізації запропонованої технології за критеріями найбільш раціональних витрат паливно-енергетичних ресурсів, ефективності доставки вантажів за часом, потрібного парку локомотивів, якісних та кількісних показників роботи залізниць, врахування різних видів тяги. Пропонується утворити Головний логістичний центр Укрзалізниці з регіональними та місцевими філіями [4]. У транспортному регіоні, який охоплює угорську область Саболч-Сатмар-Берег, українську Закарпатську область, словацький Кошіцький край та район Сату-Маре (Румунія) і де поєднується залізничний, автомобільний, повітряний, річковий транспорти, важливе значення має логістика. Враховуючи масштабність проектів із забезпечення міжнародних перевезень через Закарпатську область та стратегічні програми суміжних країн, передусім Росії, Китаю та Угорщини, доцільно створити не окремий, хоча і потужний логістичний центр, а передусім розробити концепцію формування логістичного кластеру в Закарпатті.

Хоч є багато визначень кластерів, всі вони ґрунтуються на трьох основних ідеях: близькість, об'єднання у мережу, спеціалізація.

Кластери можна визначити як групи незалежних компаній та асоційованих інституцій, які співпрацюють та конкурують, географічно зосереджені у одному чи сусідніх регіонах (навіть якщо кластер охоплює кілька країн), спеціалізуються у конкретній сфері діяльності, пов'язані спільними технологіями та навичками, традиційні, або наукові; більшість кластерів базуються на традиційних заходах, інституціоналізовані (є підрозділ з управління кластерами) або не інституціоналізовані [5].

Кластери неминуче асоціюються з мережами, що є формальними та неформальними організаціями, які спрощують обмін інформацією та технологіями, а також сприяють координації заходів та співробітництва між членами кластеру. Концепція кластерів передає три головні ідеї: показник загальної конкурентоспроможності кластеру є більшим за суму показників конкурентоспроможності кожної з його складових; конкурентна перевага зумовлена наявністю мережі. Ці показники об'єднують багато зацікавлених сторін, представників ділових кіл (покупці, постачальники, фінансові інституції, організації, що займаються матеріально-технічним забезпеченням тощо), а також небізнесові організації, що відіграють ключову роль підтримки (дослідницькі інституції, організації, що надають професійну підготовку, інституції державного сектору). Географічна близькість спрощує зовнішні зв'язки – особливо ті, що сприяють генерації та розповсюдженню знань і застосуванню нових технологій шляхом утворення «інноваційного» середовища. Нині все більше регіонів у своїх стратегіях розвитку передбачають підтримку існуючих, а також формування та розвиток нових кластерів з метою підвищення конкурентоспроможності території.

## Висновки

Отже, можна визначити основні напрями розвитку транспортного комплексу: *технологічна*: його відповідність розвитку економіки країни з метою забезпечення потреб у перевезеннях; конкурентна: якісне забезпечення потреб по наданню послуг у перевезеннях; *логістична*: на основі інновацій забезпечити взаємодію різних видів транспорту, що зможе забезпечити інтеграцію України в світову логістичну систему.

При логістичному управлінні слід враховувати перевізну складову як частину транспортних засобів конкурентного перевізника, що забезпечує транспортування вантажів конкретного вантажовласника відповідно договору на

перевезення – тобто виконання умов договору на перевезення з мінімальними витратами для перевізника. Потрібно провести класифікацію посередників: перевізники, експедитори, агенти, які будуть проводити маркетингові дослідження і оформляти договори на перевезення.

При формуванні логістичних центрів слід враховувати наступне: сферу діяльності; вплив на наскрізні матеріальні потоки; сферу обслуговування. На сьогоднішній день, враховуючи діяльність в цьому напрямку органів місцевого самоврядування, логістичні центри можна розділити на регіональні, вузлові та термінальні. Для визначення ефективності їх функціонування, окрім зазначених вище моделей і методів, слід долучити ще й економетричні дослідження, що дозволить більш конкретно аналізувати окрім транспортних ще й інформаційні та фінансові складові.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Єрфан, Є. А. Перспективи створення міжнародного транспортно-логістичного центру на Закарпатті [Електрон. ресурс] / Є. А. Єрфан, О. М. Кіс. – Режим доступу: [http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/NVUU/Ekon/2009\\_28\\_1/statiti/23.htm](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/NVUU/Ekon/2009_28_1/statiti/23.htm)
2. Матеріали Міжн. наук.-практ. семінару з питань просторового планування (Ін-т регіональних досліджень, 9–10 вересня 2008 р., Львів) [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://Ird.org.ua>
3. Основы организаций транспортного обеспечения внешнеторговых связей Украины [Текст] / Ю. М. Цветов [и др.]. – К.: ОАО ИКТГР, 2000. – 581 с.
4. Бутько, Т. В. Концепція формування логістичної системи на залізницях України [Текст] / Т. В. Бутько, Д. В. Ломотко // Доповідь на мережній нараді керівників служб перевезень залізничних адміністрацій Держав учасниць Співдружності, Латвії, Литви, Естонії з питань подальшого удосконалення експлуатаційної діяльності (24–27 квітня 2007 р., Одеса).
5. Мікула, Н. А. Передумови формування логістичного кластеру у системі міжнародних транспортних коридорів [Текст] / Н. А. Мікула // Сб. науч. тр. «Проблемы и перспективы развития сотрудничества между странами Юго-Восточной Европы в рамках Черноморского экономического сотрудничества и ГУАМ». – В 2-х тт. – Т. 2. – Ливадия-Донецк, 2007. – 766 с.

Надійшла до редколегії 11.11.2011.

Прийнята до друку 14.11.2011.

В. И. КОПЫТКО

## ФОРМИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РЕФОРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Рассматриваются направления формирования транспортно-логистических систем в условиях реформирования железнодорожного транспорта Украины, учитывая опыт работы логистических структур автомобильного транспорта, интересы региональных органов местного самоуправления, особенности трансграничного сотрудничества, технологии продвижения грузов на основании смешанного подхода и концепций создания логистических кластеров. Предлагается формирование логистических систем перевозок, используя технологические и конкурентные составляющие, проведя классификацию посредников, и на основании этих вышеупомянутых факторов снижение транспортной составляющей, что будет способствовать заинтересованности грузовладельцев в перевозках и выборе вида транспорта.

*Ключевые слова:* транспортно-логистические системы, логистические структуры, транспортная составляющая стоимости

V. I. KOPUTKO

## FORMATION OF TRANSPORT-LOGISTICAL SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF REFORMING RAILWAY BRANCH

The trends of transport-logistic systems formation in conditions of the railway transport reformation in Ukraine, taking into consideration the work experience of the logistic structures of the motor transport, demands of the regional bodies of local government, peculiarities of cross-border cooperation, goods advancement technologies on the basis of mixed approach and concepts of creating the logistic clusters are examined. The formation of logistic transportation systems using technological and competitive components, having conducted a classification of mediators, and on the basis of the above mentioned factors the reduction of transport component that will promote the increased interest of the goods owners in transportation and choice of the kind of transport is offered.

*Keywords:* transport-logistical systems, logistical structures, transport component of cost

## КРИТЕРІЙ ОПТИМАЛЬНОСТІ ДЛЯ ПОРІВНЯННЯ МОДЕЛЕЙ РЕФОРМУВАННЯ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

У статті розроблено економічний критерій для порівняння різних варіантів розвитку транспортних перевезень пасажирів міста.

*Ключові слова:* критерій оптимальності, модель реформування, міський пасажирський транспорт

### Вступ

Для удосконалення в цілому функціонування системи міського пасажирського транспорту потрібно розглядати сукупний вплив факторів різного характеру (технічних, економічних, соціальних, природних), оцінюючи їх роль та значущість за допомогою відповідного кількісного критерію.

### Постановка задачі

Мета дослідження полягає у розробці критерію вибору оптимального виду транспорту на міських маршрутах загального користування за умов сталого розвитку суспільства.

Задача вибору критерію оптимальності вимагає застосувати такий критерій, який би міг врахувати найбільшу кількість чинників, що адекватно описують поведінку моделі реформування транспортної компанії будь-якого типу, порівняти між собою кілька варіантів транспортних перевезень пасажирів та вибрати з них найкращий за чистим дисконтиним доходом з урахуванням терміну вкладення доходів, витрат та інвестицій.

### Результати

Метод бальної оцінки було застосовано автором у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту для обґрунтування найкращого варіанту реформування міського пасажирського транспорту, але він виявився дуже неточним. Оцінки експертів, що мали особисту думку та невеликий досвід вивчення варіантів реформування транспортних компаній, дуже відрізнялися.

Крім того, цей метод використовується при більшій кількості варіантів. Ще одним дуже суттєвим фактором, що призвів до значної похибки, стала велика кількість чинників, яким слід було надати обґрунтований оцінний бал. У цьому полягає основний суб'єктивізм і залежність оцінки від науковця, що досліджує проблему реформування. До того ж цей критерій не дозволяє правильно оцінити вартісні показники, які виявилися найбільш впливовими.

Якщо підійти до проблеми реформування деяких підприємств міського електротранспорту з позиції реформування державної природної монополії, в умовах обмежених інвестицій, повної відсутності фінансування з боку держави і поступового проведення реформ, то дана задача перетворюється на інвестиційну. При цьому одночасно визначається термін проведення структурної реформи, її етапність та найкращий варіант за вартісними показниками. Крім того, ця задача дозволяє ввести будь-які обмеження, які керівництво транспортного підприємства та органи місцевої влади вважають за необхідне.

Для недопущення суттєвих помилок під час вибору найкращого варіанту реформування моделі та критерій мусять відповідати таким вимогам:

1. Модель реформування повинна забезпечити керованість, безперебійність, стабільність функціонування міських перевезень пасажирів, безпеку руху транспортних засобів та зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище.

2. Модель реформування повинна гарантувати збереження у складі суб'єкта господарювання об'єктів соціальної сфери, що сприяють створенню умов для забезпечення руху, охорони праці та забезпечують необхідний захист працівників транспортних компаній.

3. Витрати на реформування не повинні бути більшими за доходи від структурної реформи.

4. Критерій має бути багатофакторним і враховувати одночасно багато різних аспектів, що впливають на роботу міського транспорту.

5. Критерій повинен бути математичною моделлю усіх фінансових потоків господарської діяльності, що здійснюється на міському транспорті та в його зовнішньому середовищі.

6. Критерій має бути простим та у вартісному вигляді враховувати всі витрати за окремими складниками.

7. Критерій має бути універсальним для обчислення та порівняння будь-якої моделі реформування міського пасажирського транспорту. До його складу не слід включати величини,

що залишаються сталими на всіх етапах реформування.

Реформування міського пасажирського транспорту є інвестиційним проектом, що передбачає поетапне вкладання коштів, необхідних для впровадження заходів щодо пристосування діяльності транспортних компаній до ефективної роботи в конкурентному середовищі та сталого розвитку суспільства. Для вирішення за-

дач такого типу використовують чистий дисконтний дохід, який може отримати транспортна компанія після реформування за різними варіантами. Усі ці варіанти реформування одночасно можна порівнювати з існуючим станом перевезення пасажирів у межах міста. Варіант реформування, що має найбільший чистий дисконтний дохід за критерієм (1), буде найкращим.

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T \frac{(D_t - Z_t) \cdot (1 - \frac{\gamma}{100}) + A_t \cdot \frac{\gamma}{100} - (K_t + Z_t^{\text{орг}} + Z_t^{\text{вк}})}{(1 + E_m)^t} \rightarrow \max, \quad (1)$$

де ЧДД – чистий дисконтний дохід, грн;

$D_t$  – річний дохід, що може отримати транспортна компанія від усіх видів діяльності за різними варіантами реформування, грн;

$Z_t$  – річні сумарні витрати транспортної компанії від усіх видів діяльності за різними варіантами реформування без амортизаційних відрахувань, грн;

$\gamma$  – величина податку на прибуток, %;

$A_t$  – амортизаційні відрахування;

$K_t$  – річні інвестиції в реформування транспортної компанії за різними варіантами, грн;

$Z_t^{\text{орг}}$  – організаційні витрати на реформування;

$Z_t^{\text{вк}}$  – витрати компанії, які сплачуються з прибутку;

$t$  – номер розрахункового року:  
 $t = 0, 1, 2, 3, \dots, T$  ( $T$  – строк проведення реформування).

Ставка дисконту, що використовується у формулі (1), повинна відповідати концепції прогнозування грошових потоків (у базових або прогнозних цінах). У роботі виконано прогнозу-

вання у базових цінах. Отже, ставка дисконту повинна відповідати реальній нормі доходу на капітал (тобто нормі доходу, що очищена від інфляційної складової). Така ставка дисконту отримала у вітчизняній літературі назву «модифікована ставка дисконту» [1]. Реальна або модифікована ставка дисконту зв'язана з номінальною нормою доходу за формулою

$$E_m = \frac{1 + E/100}{1 + p/100} - 1 \quad (E - \text{номінальна норма до-}$$

ходу, %;  $p$  – прогнозований темп інфляції, %). Якщо виконувати порівняння нового варіанта реформування з існуючим станом, то формула (1) набуде вигляду (2).

На кожному етапі реформування є витрати, пов'язані з організаційним процесом (формування законодавчої та нормативної бази, інвентаризація та переоцінки майна, формування статутного фонду, реєстрація транспортної компанії та ін.), з компенсаційними та штрафними виплатами, які сплачуються з прибутку компанії. Враховуючи сказане та виконавши математичні перетворення (3)–(6), багатфакторний критерій реформування транспортної компанії буде мати наступний вигляд (7).

$$\begin{aligned} \delta\text{ЧДД} &= \sum_{t=0}^T \frac{(D_p - Z_p)_t \cdot (1 - \frac{\gamma}{100}) + A_t^p \cdot \frac{\gamma}{100} - (K_t^p + Z_t^{\text{орг}} + Z_t^{\text{вк}})}{(1 + E_m)^t} - \\ &\quad - \sum_{t=0}^T \frac{(D_i - Z_i)_t \cdot (1 - \frac{\gamma}{100}) + A_t^i \cdot \frac{\gamma}{100} - K_t^i}{(1 + E_m)^t} = \\ &= \sum_{t=0}^T \frac{[(D_p - D_i)_t - (Z_p - Z_i)_t] \cdot (1 - \frac{\gamma}{100}) + (A_t^p - A_t^i) \cdot \frac{\gamma}{100} - (K_t^p - K_t^i + Z_t^{\text{орг}} + Z_t^{\text{вк}})}{(1 + E_m)^t}, \quad (2) \end{aligned}$$

де індекс  $p$  вказує на відношення величини до варіанта реформування, а індекс  $i$  – до існуючого варіанта.

Доходи компанії будуть складатися з наступних чинників (3)

$$D_{\text{тк}} = D_{\text{пп}} + D_{\text{у}} + D_{\text{мв}} + , \\ + D_{\text{кп}} + D_{\text{пі}} + D_{\text{п}} \quad (3)$$

де  $D_{\text{тк}}$  – доходи транспортної компанії від усіх видів діяльності (перевезень), субсидій уряду і місцевих органів влади, компенсацій за пільгові види перевезень, дивіденди від організацій, де компанія має корпоративні права, та благодійні приватні внески;

$D_{\text{пп}}$  – доходи транспортної компанії від усіх видів перевезень, грн;

$D_{\text{у}}$  – субсидії Уряду України, грн;

$D_{\text{мв}}$  – субсидії місцевих органів влади, грн;

$D_{\text{кп}}$  – дивіденди компанії від володіння корпоративними правами інших організацій, грн;

$D_{\text{пі}}$  – благодійні внески приватних компаній, грн;

$D_{\text{п}}$  – компенсації за і перевезення пасажирів пільгових категорій, грн.

Витрати транспортної компанії мають багато складових (4), які пов'язані з утриманням компанії, сплатою місцевих податків і платежів, виплатою штрафів та ін.

$$Z_{\text{тк}} = Z_{\text{м}} + Z_{\text{е/п}} + Z_{\text{зп}} + Z_{\text{ол}} + \\ + Z_{\text{р}} + Z_{\text{ол}} + Z_{\text{мп}} + Z_{\text{ін}} + Z_{\text{кр}}, \quad (4)$$

де  $Z_{\text{тк}}$  – загальні витрати транспортної компанії, що входять до складу собівартості перевезень, грн;

$Z_{\text{м}}$  – витрати на матеріали та запасні частини, грн;

$Z_{\text{е/л}}$  – витрати на електроенергію або паливо, грн;

$Z_{\text{зп}}$  – витрати на заробітну плату, грн;

$Z_{\text{оп}}$  – нарахування на заробітну плату, грн;

$Z_{\text{р}}$  – витрати на ремонт рухомого складу та інфраструктури, грн;

$Z_{\text{ол}}$  – плата за оренду або лізинг рухомого складу або будівель, грн;

$Z_{\text{мп}}$  – місцеві податки та платежі, грн;

$Z_{\text{ін}}$  – інші витрати компанії, грн;

$Z_{\text{кр}}$  – оплата кредитів та відсотків по них, грн.

Капітальні вкладення у загальному вигляді для будь-якої транспортної компанії будуть визначатися за формулою (5).

$$K_{\text{тк}} = K_{\text{іу}} + K_{\text{імв}} + K_{\text{ітк}} + K_{\text{пі}}, \quad (5)$$

де  $K_{\text{тк}}$  – загальні капітальні вкладення та інвестиції на розвиток транспортної компанії, грн;

$K_{\text{іу}}$  – інвестиції Уряду у розвиток транспортної інфраструктури міста, грн;

$K_{\text{імв}}$  – інвестиції місцевих органів влади у розвиток інфраструктури та рухомого складу транспортних компаній, грн;

$K_{\text{ітк}}$  – інвестиції та капітальні вкладення транспортної компанії на власний розвиток, грн;

$K_{\text{пі}}$  – приватні інвестиції у розвиток інфраструктури та рухомого складу транспортних компаній, грн.

Крім вказаних витрат компанія мусить сплачувати із прибутку штрафи за понаднормативні забруднення навколишнього середовища та компенсації за ушкодження, які компанія нанесла пасажирам, громадянам, або організаціям за створення дорожньо-транспортних подій та спричинення травм або смерті людям та нанесення ушкоджень іншим транспортним засобам або будівлям.

При порівнянні різних варіантів розвитку транспортних перевезень пасажирів у місцевому сполученні слід обов'язково враховувати витрати на сталий розвиток суспільства (6):

$$Z_{\text{тк}} = Z_{\text{ршс}} + Z_{\text{шв}} + Z_{\text{тз}} + Z_{\text{ктс}}, \quad (6)$$

де  $Z_{\text{тк}}$  – загальні витрати з державного та місцевого бюджетів для сталого розвитку міського транспорту, грн;

$Z_{\text{ршс}}$  – витрати з бюджету міста на будівництво та капітальний ремонт шліхів сполучення (рейкових, автомобільних, водних, монорельсових та повітряних і відповідної транспортної інфраструктури, грн;

$Z_{\text{ктс}}$  – витрати, які несуть громадяни міста – учасники дорожньо-транспортних подій – на оплату медичних послуг та у зв'язку з втратою годувальника, або членів їх родин, грн;

$Z_{\text{тз}}$  – вартість втраченого часу пасажиром міста на їх затримання у технологічних заторах, грн;



$Z_{тз}^2$  – вартість збитків підприємств міста у зв'язку з затриманням їх транспортних засобів при виконанні перевезень та робітників при поїздках на роботу та у відрядження, грн;

$Z_{шв}$  – витрати з місцевого бюджету на боротьбу з шкідливими викидами у навколишнє середовище та з хворобами громадян міста, грн.

Доходи та витрати транспортної компанії за існуючий період функціонування слід визначати за даними бухгалтерського обліку за останній звітний рік перед початком реформування. Перспективні показники роботи транспортної

компанії слід прогнозувати, враховуючи конкретні заходи, що будуть здійснені для пристосування їх діяльності до роботи в конкурентному середовищі в умовах сталого розвитку.

Витрати на організаційні перетворення і капіталовкладення слід визначати за даними розрахунків для кожного року реформування залежно від запланованих заходів.

З урахуванням сказаного вище економічний критерій для порівняння різних варіантів розвитку транспортних перевезень пасажирів міста буде мати наступний вид (7):

$$\begin{aligned} \text{ЧДД} = & \sum_{t=0}^T \left[ \frac{(D_{пп} + D_y + D_{мв} + D_{кп} + D_{пі} + D_{п})_t}{(1 + E_m)^t} - \right. \\ & \left. - \frac{(Z_m + Z_{е/п} + Z_{зп} + Z_{оп} + Z_p + Z_{ол} + Z_{мп} + Z_{ын} + Z_{кр})}{(1 + E_m)^t} \right] \left(1 - \frac{\gamma}{100}\right) + \\ & + A_t * \frac{\gamma}{100} - \frac{(K_{іу} + K_{імв} + K_{ітк} + K_{пі})_t + Z_t^{орг} + (Z_{ршс} + Z_{шв} + Z_{тз} + Z_{кгс})}{(1 + E_m)^t} \rightarrow \max. \end{aligned} \quad (7)$$

### Висновки

Для побудови оптимальної моделі розвитку транспортної інфраструктури великого міста необхідно визначити та розробити:

- основні фактори, що впливають на діяльність пасажирського транспорту великого міста;
- основні складові економічного критерію для будь-якого виду транспорту;
- принципи оптимізації пасажирського транспорту міста, що дозволить стабілізувати

роботу і підвищити надійність транспортних перевезень.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Кулаев, Ю. Ф. Методы экономической оценки инвестиционных проектов на транспорте [Текст] : учеб.-метод. пособие. – К.: Транспорт Украины, 2001. – 182 с.

Надійшла до редколегії 04.11.2011.

Прийнята до друку 07.11.2011.

Ю. П. МЕЛЬЯНЦОВА

## КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ РЕФОРМИРОВАНИЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

В статье разработан экономический критерий для сравнения различных вариантов развития транспортных пассажирских перевозок города.

*Ключевые слова:* критерий оптимума, модель реформирования, городской пассажирский транспорт

Yu. P. MELYANTSOVA

## OPTIMUM CRITERION FOR COMPARISON OF REFORMATION MODELS FOR URBAN TRANSPORT

In the article the economic criterion for comparison of various variants of development of municipal passenger transportations is worked out.

*Keywords:* optimum criterion, model of reforming, municipal passenger transport

## ПРОБЛЕМИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РОЗДІЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СЕКТОРА

Досліджується діяльність залізничного транспорту країн європейського сектору в період його вертикального розділення та визначаються основні проблеми, що призвели до порушення процесу гармонізації поточного стану залізниць з чинним законодавством в сфері залізничного транспорту ЄС.

*Ключові слова:* директиви ЄС, вертикальне розділення, оператор залізничних перевезень, менеджер інфраструктури

### Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими завданнями

Залізниці провідних Західноєвропейських країн з середини шестидесятих років минулого століття почали відчувати зменшення зацікавленості вантажовласників та пасажирів в обсягах споживання транспортних послуг. Втрачання конкурентоспроможності дало поштовх для розвитку Європейського законодавства в галузі залізничного транспорту. Корінь цих проблем у країнах Західної Європи полягав в інтенсивній

розбудові автодоріг, покращенні їх інфраструктури, зростання сервісу та стрімкому зростанні пропускної здатності автомобільних шляхів, що створило жорстке конкурентне середовище для залізничних вантажних та пасажирських перевезень.

Внаслідок такої ситуації залізничний транспорт Європи, який займав домінуючі позиції на ринку перевезень в першій половині двадцятого століття і належав, в основному, державі почав занепадати (табл. 1) [1].

Таблиця 1

Динаміка вантажообігу за видами транспорту ЄС-27, млн. т-км

Роки	Автомобільний	Залізничний	Внутрішній водний	Трубопровідний	Морський	Авіаційний	Всього
1995	1 289	386	122	115	1 146	2,0	3 060
1996	1 303	392	120	119	1 160	2,1	3 096
1997	1 352	410	128	118	1 193	2,2	3 202
1998	1 414	393	131	125	1 232	2,3	3 297
1999	1 470	384	129	124	1 268	2,3	3 377
2000	1 519	404	134	127	1 314	2,5	3 499
2001	1 556	386	133	133	1 334	2,5	3 544
2002	1 606	384	133	128	1 355	2,4	3 608
2003	1 625	392	124	130	1 378	2,4	3 652
2004	1 742	416	137	132	1 427	2,5	3 856
2005	1 794	414	139	136	1 461	2,6	3 946
2006	1 848	440	138	135	1 505	2,7	4 069
2007	1 914	453	145	127	1 532	2,8	4 175
2008	1 881	443	143	124	1 498	2,7	4 091
2009	1 691	362	120	120	1 336	2,5	3 632

**Аналіз останніх досліджень і публікацій,  
в яких започатковано вирішення даної  
проблеми і на які спирається автор**

Під впливом такої ситуації, та враховуючи інтереси спільної транспортної політики, Рада Європи впроваджує адекватні заходи з метою стабілізації транспортного ринку та подолання виявленого нею кризового стану [2].

Відповіддю Європейського парламенту і Ради на ситуацію, що склалася в сфері транспортного законодавства було прийняття у липні 1998 р. першого «інфраструктурного» пакету документів по залізницям. Він включав три Директиви Європейського парламенту і Ради: 2001/12/ЕС, 2001/13/ЕС, 2001/14/ЕС [3, 4].

Повідомлення Європейської комісії від 17 вересня 2010 р.: «Про розвиток Єдиного євро-

пейського залізничного простору» представляє стратегічне бачення комісії майбутнього єдиного європейського залізничного простору. Стратегія наголошує на сприянні ефективному розвитку інфраструктури залізничних підприємств в країнах-членах ЄС, створенню відкритого ринку залізничних перевезень, ліквідацію адміністративних, економічних, технічних перешкод і, найголовніше, забезпечення рівних умов з іншими видами транспорту. Внаслідок існуючого дисбалансу в інвестиціях у залізничну інфраструктуру, в порівнянні з автомобільною, пропонується значну частину бюджету транспорту ЄС в найближчі часи спрямувати на розвиток саме залізничної інфраструктури (табл. 2) [1].

Таблиця 2

**Експлуатаційна довжина колії залізниць країн ЄС-27, км**

Назва країни ЄС	1970	1980	1990	2000	2009	в т.ч. електрифікованих дільниць:	
						2009	%
1	2	3	4	5	6	7	8
ЄС-27	245 858	238 192	231 582	217 378	212 528	110 948	52,2
ЄС-15	175 274	168 150	162 132	151 967	151 048	83 631	55,4
ЄС-12	70 584	70 042	69 450	65 411	61 480	27 317	44,4
Бельгія	4 605	3 971	3 479	3 471	3 578	3 005	84,0
Болгарія	4 196	4 341	4 299	4 320	4 150	2 833	68,3
Чеська республіка				9 444	9 477	3 152	33,3
Данія	2 352	2 015	2 838	2 787	2 646	621	23,5
Германія	43 777	42 765	40 981	36 588	33 714	19 701	58,4
Естонія	1 227	993	1 026	968	919	132	14,4
Ірландія	2 189	1 987	1 944	1 919	1 919	52	2,7
Греція	2 602	2 461	2 484	2 385	2 552	264	10,3
Іспанія	15 850	15 724	14 539	13 868	15 044	8 772	58,3
Франція	37 582	34 362	34 070	29 272	29 903	15 463	51,7
Італія	16 073	16 138	16 066	16 187	17 004	12 082	71,1
Кіпр	-	-	-	-	-	-	-
Латвія	2 606	2 384	2 397	2 331	1 884	257	13,6
Литва	2 015	2 008	2 007	1 905	1 767	122	6,9
Люксембург	271	270	271	274	275	262	95,3
Угорщина	8 487	7 836	7 838	8 005	7 892	2 848	36,1
Мальта	-	-	-	-	-	-	-
Нідерланди	3 147	2 880	2 798	2 802	2 886	2 195	76,1

Назва країни ЄС	1970	1980	1990	2000	2009	в т.ч. електрифікованих дільниць:	
						2009	%
1	2	3	4	5	6	7	8
Австрія	5 901	5 857	5 624	5 665	5 356	3 518	65,7
Польща	26 678	27 181	26 228	22 560	19 764	11 891	60,2
Португалія	3 588	3 609	3 064	2 814	2 842	1 460	51,4
Румунія	11 012	11 110	11 348	11 015	10 776	4 002	37,1
Словенія	1 055	1 058	1 196	1 201	1 228	503	41,0
Словацька республіка				3 662	3 623	1 577	43,5
Фінляндія	5 804	6 075	5 867	5 854	5 919	3 067	51,8
Швеція	12 203	12 006	11 193	11 037	11 138	7 862	70,6
Великобританія	19 330	18 030	16 914	17 044	16 272	5 307	32,6

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується дана стаття**

Держави-Члени ЄС здійснили реалізацію вимог чинного законодавства в сфері транспорту по-різному. Аналіз законодавчої бази й досвіду реформування залізничного транспорту Держав-Членів ЄС [5] дозволили виявити причини неможливості реалізації визначених вимог Директив ЄС у сфері залізничного транспорту [6].

**Формулювання цілей статті (постановка завдання)**

Метою даної статті є дослідження стану залізниць країн європейського сектору, аналіз типів вертикального розділення та основних проблем, що призвели до порушення процесу їх гармонізації з чинним законодавством в сфері залізничного транспорту ЄС.

**Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів**

В окремих країнах мало місце реформування, що не порушує Директиви 2001/12/ЄС і 2001/14/ЄС, але не дало в результаті вертикального розподілу.

З метою підвищення ефективності процесу реформування, реалізованого в повній відповідності з діючим європейським транспортним законодавством [3, 4], гармонізації з ним національного, необхідно проаналізувати можливі

варіанти реформування залізничного транспорту.

Існує чотири основних варіанти реформування:

- Повне розділення;
- Часткове розділення;
- Часткова інтеграція;
- Повна інтеграція.

Однак, це далеко не повний перелік. Існують країни, які вибрали комбінований варіант реформування, що використовує послідовно один або кілька варіантів реформування на протязі тривалого часу.

У першому варіанті реформування має місце повне розділення у плані правових, організаційних і інституціональних умов. Керуючий інфраструктурою є незалежним суб'єктом. Суб'єкти перевізної діяльності мають доступ до колії й станцій на основі контракту із власником інфраструктури (наприклад, у Нідерландах).

При частковому розділенні здійснюється організаційно-правове розділення менеджера інфраструктури й суб'єктів перевізної діяльності, однак, залишається централізований орган управління залізничним транспортом відповідальний за ключові функції управління інфраструктурою. Приклад часткового розділення - французька залізнична галузь, у якій підприємство - керуючий інфраструктурою RFF і діючий суб'єкт перевізної діяльності SNCF мають роздільну власність, але багато видів діяльності, пов'язані з управлінням інфраструктурою підконтрольні SNCF. Зокрема, SNCF відповідає за утримання і експлуатацію залізничної мережі й

надає ресурси для органа, відповідального за графік руху поїздів.

### Часткова інтеграція

У частково інтегрованій моделі менеджер інфраструктури й залізничний оператор, організаційно відділені, є філіями однієї й тієї ж холдингової компанії. Як наслідок, вони функціонують для досягнення загальних стратегічних і комерційних цілей, розташовуючись на монополізованому ринку залізничного транспорту. Це дає ефективну координацію діяльності по управлінню інфраструктурою й умов обслуговування поїздів. Деякі частково інтегровані моделі мають низькі вхідні бар'єри на вантажний ринок, що гарантує високий ступінь конкуренції (наприклад, у Німеччині й Італії).

Повністю інтегрований транспортний ринок

У цьому випадку відсутнє розділення між менеджером інфраструктури й залізничним

оператором. Обидва види діяльності виконуються вертикально інтегрованою юридичною особою. Ця структура найменш прозора й взагалі пропонує найменшу кількість можливостей для конкурентоспроможного входу. Однак спостерігається більш ефективна координація інтерфейсу (системи) колесо-рейка.

Представлений аналіз, дає підставу припустити, що із всіх описаних моделей тільки повна інтеграція (де немає ніякого розділення між менеджерами інфраструктури й залізничними операторами і не забезпечено не дискримінаційний доступ до інфраструктури) у цей час забороняється відповідно до чинного законодавства ЄС.

Представлена нижче табл. 3 містить диференціацію залізничних транспортних систем Держав-Членів ЄС щодо категорій, ідентифікованих вище.

Таблиця 3

#### Диференціація залізничних транспортних систем Держав-Членів ЄС за ступенем розділення

Модель розділення	Країни
Повне розділення	Великобританія, Фінляндія, Данія, Нідерланди, Норвегія, Іспанія, Швеція, Португалія, Словаччина, Литва, Румунія, Чеська республіка, Греція
Часткове розділення	Естонія, Франція, Угорщина, Словенія, Люксембург, Латвія
Часткова інтеграція	Австрія, Бельгія, Німеччина, Італія, Польща
Повна інтеграція	Ірландія, Північна Ірландія

Однак, незважаючи на формальну диференціацію, виконану на підставі заяв Держав-Членів ЄС, Комісія Європейського парламенту з транспорту наголосила, що часткове розділення і часткова інтеграція фактично здійснені відповідно до Директиви 2001/14/ЄС, насправді не були погоджені з вимогами Першого Залізничного Пакету. На підставі цього висновку Комісією Європейського парламенту з транспорту розроблений Документ (SEC(2009)1687; SOM(2009)676) покладений в основу Повідомлення Раді і Європейському парламенту про контроль розвитку ринку залізничного транспорту (RMMS 2009, Додаток 3), що забезпечує короткий огляд порушень процедур, пов'язаних з Директивами 91/440/ЄЕС і Першого Залізничного Пакету в жовтні 2009, повторно в 2010 р. Вищезгаданий документ містить наступний перелік країн і відповідних їм порушень:

– Франція: не в змозі виконати зобов'язання

Статті 6, Додатка II до Директиви 91/440/ЄЕС; Статті 6, Статті 11 і Статті 14 Директиви 2001/14/ЄС;

– Греція: не в змозі виконати зобов'язання Статті 6, Статті 11, Статті 30 Директиви 2001/14/ЄС;

– Словенія: не в змозі виконати зобов'язання Статті 6, Додатка II, Директиви 91/440/ЄЕС; Статті 14 Директиви 2001/14/ЄС; Статті 6, 7, 8, 11 і 30 Директиви 2001/14/ЄС;

– Чеська Республіка: не в змозі виконати зобов'язання Статті 4, 6, 7, 11 і 30 Директиви 2001/14/ЄС;

– Германія: не в змозі виконати зобов'язання Статті 6, Додатка II Директиви 91/440/ЄЕС; Статті 4, Статті 6, Статті 7, Статті 8, Статті 14 і Стаття 30 Директиви 2001/14/ЄС;

– Португалія: не в змозі виконати зобов'язання Статті 5 Директиви Ради 91/440/ЄЕС (з виправленнями відповідно до

Директиви 2001/12/ЕС); Статті 7 Директиви 91/440/ЕЕС і Статті 6 Директиви 2001/14/ЕС;

– Польща: не в змозі виконати зобов'язання Статті 6 і Додатка II Директиви 91/440/ЕЕС, Статті 4, Статті 6, Статті 7, Статті 8 і 14 Директиви 2001/14/ЕС;

– Австрія: не в змозі виконати зобов'язання Статті 6 (3) і Додатка II Директиви 91/440/ЕЕС, Статті 4 і Статті 14 Директиви 2001/14/ЕС;

– Угорщина: не в змозі виконати зобов'язання Статті 6, Додатка II Директиви 91/440/ЕЕС; Статті 6, 7, 11 і Статті 14 Директиви 2001/14/ЕС;

– Іспанія: не в змозі виконати зобов'язання Статті 4, 11, 14, 30 Директиви 2001/14/ЕС; Статті 10 Директиви 91/440 Європейської Ради.

### Аналіз ступеня незалежності

Комісія Європейського парламенту з транспорту проводить постійний моніторинг транспортного ринку в країнах, де відсутня модель повного вертикального розділення управління інфраструктурою від перевізних операцій і реалізації незалежності існуючих функцій.

Ціль вертикального розділення полягає в тому, щоб створити незалежність, що гарантує не дискримінаційний доступ до національної залізничної інфраструктури. На жаль, багато із прийнятих структурних моделей не гарантують відповідно не дискримінацію. Наприклад, частково інтегрована модель приводить до сильних, триваючих стратегічних і комерційних зв'язків між менеджером інфраструктури й оператором

перевезень, обидва з яких є відповідальними перед загальним власником. Може бути важко перебороти такі зв'язки за допомогою одного тільки незалежного регулювання, однак сильні повноваження регулятора, не в останню чергу є наслідком проблем інформаційної асиметрії й ефективного контролю доступу третьої особи. У цих умовах конкуренція розвиватися не буде.

Дослідження Railimplement (Steer Davies Gleave (2006), *Railimplement: The implementation of the EU Directives 2001/12/EC, 2001/13/EC and 2001/14/EC in Member States*, London) висунуло індикатори незалежності існуючих функцій:

1. Чи мають менеджери інфраструктури й залізничні оператори загальних членів ради директорів?

2. Чи перебувають підприємства менеджера інфраструктури й залізничного оператора в одній і той самій будівлі?

3. Чи має місце випадок виконання діючим оператором деяких задач керуючого інфраструктурою на головній мережі?

4. Чи може залізничний оператор контролювати доступ до деяких активів керуючого інфраструктурою таких, як склади й термінали?

У табл. 4 приводяться результати аналізу за запропонованою схемою. Steer Davies Gleave вважає, що ці критерії пояснюють, чому перший пакет не зробив очікуваного впливу, з погляду забезпечення недискримінаційного доступу й заохочення конкуренції в наданні залізничних послуг.

Таблиця 4

### Результати аналізу ступеня незалежності

Держава	Критерій незалежності існуючих функцій			
	Загальні члени правління	Офіси в одній будівлі	Залізничний оператор частково управляє інфраструктурою	Залізничний оператор має доступ до управління деякими активами інфраструктури
1	2	3	4	5
Австрія	Так	немає	немає	Так
Бельгія	Так	немає	немає	немає
Чеська республіка	немає	немає	Так	Так
Данія	немає	немає	немає	немає
Естонія	немає	Так	Так	Так
Фінляндія	немає	немає	немає	-
Франція	немає	немає	Так	Так

Держава	Критерій незалежності існуючих функцій			
	Загальні члени правління	Офіси в одній будівлі	Залізничний оператор частково управляє інфраструктурою	Залізничний оператор має доступ до управління деякими активами інфраструктури
1	2	3	4	5
Германія	немає	немає	немає	Так
Англія	немає	немає	немає	немає
Греція	немає	Так	немає	немає
Угорщина	Так	Так	Так	Так
Ірландія	Так	Так	немає	немає
Італія	немає	Так	немає	Так
Литва	Так	Так	Так	Так
Люксембург	Так	Так	Так	Так
Голландія	немає	немає	немає	немає
Норвегія	немає	немає	немає	немає
Північна Ірландія	Так	Так	немає	немає
Польща	немає	немає	Так	Так
Португалія	немає	немає	немає	Так
Словаччина	немає	немає	немає	Так
Словенія	Так	Так	немає	немає
Іспанія	немає	немає	немає	немає
Швеція	немає	немає	немає	немає
Швейцарія	Так	немає	немає	Так

### Висновки з даного дослідження

Кількість загальних членів правління й ступень, до якого функціонуючі залізничні оператори виконують обов'язки управління інфраструктурою, викликає специфічне занепокоєння, оскільки вони мають тенденцію підривати незалежність менеджера інфраструктури й функціонуючого залізничного оператора. Це також справедливо, коли Холдингова компанія (у частково інтегрованій моделі) призначає президентів підприємств менеджера інфраструктури й залізничного оператора.

У випадках, коли розподіл пропускну здатності, як завдання керуючого інфраструктурою, здійснюються залізничними операторами існують явні побоювання за несправедливий розподіл потужностей на користь цих підприємств.

Транспортний ринок повністю лібералізова-

ний у таких країнах, як, Данія, Великобританія, Нідерланди й Швеція.

Отже, незалежність і недискримінація залишаються занепокоєнням у європейському секторі.

### Перспективи подальших розробок у даному напрямі

Перспектива реформування залізничного транспорту України вимагає дослідження та ретельного вивчення світового досвіду рішення проблем, що виникають в процесі вертикального розділення. Двадцятирічний досвід реформування 27 країн європейського сектору та 3 країн-кандидатів у члени ЄС надає багато можливостей для подальшого дослідження та розробки оптимальної стратегії реформування залізничного транспорту України.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://err.eurostat.ec.europa.eu>
2. Міщенко, М. І. Розвиток процесу лібералізації на залізницях країн європейського співтовариства [Текст] / М. І. Міщенко // Заліз. трансп. України. – 2011. – № 5.
3. Європейське залізничне законодавство. – Т. 1: Добірка законодавчих актів Європейського Союзу, які відображають етапи розвитку та становлення Європейського залізничного права [Текст] / під ред. І. Б. Матвіїва. – Управління зовн. зв'язків Держ. адміністрації заліз. трансп. України (УЗ). – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2006. – 296 с.
4. Європейське залізничне законодавство. – Т. 2: Добірка законодавчих актів Європейського Союзу, які відображають етапи розвитку та становлення Європейського залізничного права [Текст] / під ред. І. Б. Матвіїва. – Управління зовн. зв'язків Держ. адміністрації заліз. трансп. України (УЗ). – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2006. – 494 с.
5. Міщенко, М. І. Проблеми формування загальноєвропейської транспортної політики [Текст] / М. І. Міщенко // Вісник ДНУЗТ. – Вип. 29. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – 300 с.
6. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://ec.europa.eu>

Надійшла до редколегії 18.11.2011.

Прийнята до друку 21.11.2011.

М. І. МИЩЕНКО

## ПРОБЛЕМЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕКТОРА

Исследуется деятельность железнодорожного транспорта стран европейского сектора в период его вертикального разделения и определяются основные проблемы, которые привели к нарушению процесса гармонизации текущего состояния железных дорог с действующим законодательством в сфере железнодорожного транспорта ЕС.

*Ключевые слова:* директивы ЕС, вертикальное разделение, оператор железнодорожных перевозок, менеджер инфраструктуры

M. I. MISHCHENKO

## ISSUES OF VERTICAL DIVIDING THE RAILWAYS IN THE EUROPEAN SECTOR

Activity of a railway transportation of the countries of the European sector in its vertical division is investigated and the basic problems which have led to infringement of process of harmonisation of a current condition of railways with the current legislation in sphere of a railway transportation of EU are defined.

*Keywords:* EU Directives, vertical dividing, operator of transportation by rail, manager of infrastructure



## ПРОБЛЕМА МОНОПОЛИЗМА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

В статье рассмотрены вопросы монополизма на железнодорожном транспорте. Определено, что железнодорожный комплекс обладает всеми отличительными чертами естественной монополии, является монополистом в сфере перевозок грузов на дальние расстояния. Функционирование железнодорожного транспорта в виде государственной монополии порождает ряд проблем, которые должны решаться с применением методов государственного регулирования.

*Ключевые слова:* монополия, государство, железная дорога, государственное регулирование

Исторически в большинстве стран развитие железных дорог шло по пути предоставления прав на их строительство многим независимым компаниям. В результате появлялось и функционировало множество линий, и не было монополии ни на рельсы, ни на подвижной состав. Но довольно быстро в отрасли проявилась тенденция к концентрации, и компании поглощали друг друга, становясь монополистами.

На протяжении многих лет традиционно считалось, что оптимальным для железнодорожного транспорта является государственное управление. Этому способствовали частая не состоятельность конкуренции, регулирование в период Великой депрессии, очевидные достижения советской индустриализации, негативные последствия контроля над фирмами и т.п. Поэтому к середине XX века железные дороги были объединены и национализированы, и к восьмидесятым годам прошлого столетия практически во всех странах мира весь железнодорожный комплекс либо основные виды его деятельности являлись естественными государственными монополиями, а доминирующая роль частной собственности на железнодорожном транспорте сохранилась только в США и Канаде.

Естественные монополии занимают особое место среди монопольных структур, они функционируют в наиболее общественно значимых сферах деятельности: передача электрической и тепловой энергии, железнодорожные перевозки, обслуживание транспортных терминалов, портов, аэропортов, почтовая связь и др. Принято считать, что естественная монополия – это официально признанная и неизбежная структура любой экономической системы, обусловленная либо естественными правами монополиста, либо соображениями выгоды всего государства. Другими словами, это такое состояние рынка, при котором удовлетворение спроса наиболее эффективно в условиях отсутствия конкуренции.

Впервые понятие «естественная монополия» было применено в 1838 г. А. Курно, рассмотревшего установление контроля над использованием природных (естественных) ресурсов, откуда и пошло ее название [1]. Спустя 10 лет, в 1848 г., Дж. Ст. Милль определил разницу между искусственной и естественной монополиями [2]. Первая создается государством, статус закрепляется законодательными актами, а её возможное упразднение будет способствовать росту национального богатства. В отличие от этого, естественная монополия существует безотносительно к усилиям государства и закона. Естественные монополии играют важную роль в обществе и имеют большой удельный вес в экономике любой страны и, благодаря этому, они считаются рыночными структурами.

В России железная дорога как монополия была определена еще в 1884 году [3].

Как естественная монополия, железнодорожная отрасль Украины сложилась в бывшем СССР вследствие централизации и концентрации производства и управления в условиях тотального планирования и преобладания государственной формы собственности.

Железнодорожный комплекс обладает всеми отличительными чертами естественной монополии, к которым относятся [4, 5]:

- сетевой характер организации рынка, т.е. наличие целой системы линий, с помощью которых предоставляется услуга, в том числе наличие целостного единого комплекса, управляемого из единого центра в реальном масштабе времени;
- высокий барьер вхождения на соответствующий товарный рынок, а именно – объем инвестиций, необходимый для создания альтернативного объекта;
- корреляция между объемом спроса и эффективным размером производства, которая проявляется в растущем эффекте масштаба;
- специфичность материальных активов и их узкая специализация;

- низкий эластичный спрос на продукцию, поскольку она удовлетворяет первоочередные потребности людей и отраслей промышленности, а потому не может быть ограниченной для потребления.

Железнодорожный транспорт является монополией в сфере перевозок грузов, прежде всего сырьевых, на дальние расстояния. Это означает, что для потребителя приемлемых альтернатив не существует, и он вынужден оплачивать перевозки по тем ценам, которые диктует монополист. Невозможность замены этих перевозок какими-либо другими, равноценными делает спрос на их продукцию неэластичным по цене перевозок. Именно это и позволяет железным дорогам получать монопольный доход, обусловленный не ростом эффективности, а произвольным завышением цен и тарифов. И, если устранить такого рода монополию объективно не представляется возможным, то без прямого государственного регулирования здесь, по-видимому, не обойтись.

Одним из главных отличительных признаков железнодорожной монополии является наличие высоких барьеров для входа в отрасль новых фирм, и «высота» этих барьеров определяется значительными объемами необходимых инвестиций. Наиболее важными для железных дорог являются вложения в развитие инфраструктурной сети. Однако именно они менее привлекательны для инвесторов, что обусловлено длительными сроками окупаемости, высоким уровнем рисков, продолжительным периодом амортизации основных фондов, а также наличием многочисленных регулирующих органов в данной сфере деятельности.

Организация работы железнодорожного транспорта в виде монополии имеет преимущество потенциальных возможностей, возникающих вследствие экономии от масштаба затрат на эксплуатацию железнодорожного транспорта, реконструкцию инфраструктуры, большие возможности концентрации и перераспределения финансовых ресурсов для реализации крупных инвестиционных проектов, распределения риска и финансирования нововведений и т.п. «На самом деле в распоряжении монополиста могут находиться способы производства недоступные или труднодоступные для его конкурентов. ... Монополия может также иметь на порядок более устойчивое финансовое положение. Они сами создают преимущества, которые эксплуатируют» [6]. Кроме того, необходимо заметить, что послабление в налогах просят не монополии, а малые предприятия, как менее эффективные.

Функционирование железной дороги в виде вертикально-интегрированной компании позволяет наиболее простым способом согласовать экономические интересы инфраструктурных объектов и подразделений, предоставляющих услуги – перевозки конечным потребителям, а их совместная деятельность в рамках одной организации обеспечивает гибкость и надежность всей системы. Однако при этом организация перевозочного процесса в качестве естественной монополии не представляется самоочевидной. В связи с этим следует указать, что в анализе естественных монополий одной из основных проблем является то, что до настоящего времени не выделены их четкие признаки, и тем самым нередко нельзя объективно отделить естественные монополии от искусственных. «Естественность» естественных монополий зачастую не определяется редкостью или уникальностью природных условий и ресурсов, но связана с экономическими причинами, когда считается, что существование такой структуры обусловлено соображениями выгоды всего государства. В этом смысле монополии железных дорог, которые традиционно относят к естественным, не являются таковыми, поскольку их существование не связано с неизбежностью, а представляют собой результат централизованной административной экономической системы. Подтверждением этому служит, например, организация железнодорожного транспорта в США, Канаде, Мексике, Аргентине и Бразилии, где естественных монополий нет совсем. В каждой из этих стран конкурируют несколько успешных вертикально-интегрированных компаний, владеющих (на правах собственности или долгосрочной аренды) как инфраструктурой, так и подвижным составом. Например, на железных дорогах США крупнейшие железнодорожные компании (дороги 1-го класса) конкурируют между собой на параллельных направлениях собственной инфраструктуры. Внутриотраслевой конкуренции способствует также развитая сеть региональных и локальных железных дорог. Тем самым, в США сложилась оптимальная организационная структура отрасли, обеспечивающая совершенную конкуренцию на рынке транспортных услуг.

Железные дороги США являются редким исключением из общемировой практики; почти во всех странах железнодорожная сеть находится в ведении государства. Причина этого состоит в том, что железнодорожные перевозки являются одним из основных факторов поддержки развития национальных экономик, а единая система управления движением поездов

позволяет эффективнее использовать пропускную способность существующих линий.

Функционирование железнодорожного транспорта в виде государственной монополии порождает ряд проблем. Главные среди них: недостаточный объем инвестиций в обновление основного капитала; низкие стимулы для снижения эксплуатационных расходов и повышения эффективности инвестиционных проектов; рост тарифов, генерирующий инфляцию издержек; нерыночное поведение; злоупотребление монопольной властью во взаимоотношениях с потребителями его услуг. В условиях такой монополии отсутствуют условия для реализации большей части преимуществ института частной собственности, поскольку существует возможность получения прибыли благодаря монопольной власти, а не эффективному управлению.

В большинстве стран железные дороги в своем развитии прошли через этап национализации и/или государственного руководства, однако к началу 80-х годов прошлого столетия на железных дорогах многих стран убытки стали расти, а их финансовое положение неуклонно ухудшалось. Основные причины этих трудностей были очень схожи: как правило, государственные железные дороги оказывались слишком тяжелым бременем для бюджета страны и, несмотря на все возрастающую финансовую поддержку со стороны государства, их экономическое положение только ухудшалось. Тем самым практика функционирования железных дорог в качестве государственных монополий показала свою неэффективность и поэтому снова стала популярной идея приватизации с целью привлечения на железнодорожный транспорт частного капитала.

В железнодорожном транспорте, как отрасли экономики, практически на протяжении всей истории совмещались коммерческие и социальные функции. Это не является исключением, поскольку в таком же положении находятся образование, здравоохранение и некоторые другие отрасли. В них неизбежно соприкасаются или перекрываются сферы деятельности государства со сферами деятельности частных и неправительственных предприятий. Примеры взаимоотношений между социальными и коммерческими функциями, между государством и свободным предпринимательством можно найти в истории многих стран. Характер этих отношений весьма разнообразен, и в лучшем случае — это взаимодействие, и в худшем — конфликты [7].

Решение проблем, связанных с монополизмом железных дорог, является важной задачей экономической науки, не получившей удовле-

творительного решения и до настоящего времени [8, 9], и во многих странах деятельность железных дорог все еще жестко контролируется государством.

Ряд экономистов видит решение проблемы монополизма в его государственном регулировании. Другие же полагают, что поскольку государственное регулирование не может быть эффективным, то государство должно создавать на таких рынках конкурентную среду. В настоящее время многие западные ученые, занимающиеся анализом монопольных рынков, согласны с тем, что везде, где только возможно, необходимо стремиться к конкуренции, пусть даже далекой от совершенства, а не полагаться на регулирование.

На практике сочетаются оба этих подхода, причём если в 60-х годах прошлого века предпочтение отдавалось прямому государственно-му регулированию, то начиная с середины 70-х, всё больше специалистов склоняются к косвенному регулированию монополий, в том числе путём создания институциональной среды, поощряющей конкуренцию. Теория регулирования устанавливает, что государственное регулирование железных дорог часто оказывается неэффективным вследствие отсутствия его научных основ и соответствия задачам процесса их реформирования и развития [10, 11]. В связи с этим при анализе экономических процессов в сфере железнодорожного транспорта большое научно-теоретическое и практическое значение приобретают применение методологии институциональной теории и разработка рекомендаций для регулирующих органов на основе достижений экономической науки.

Для представителей институционального направления в экономической теории важен не собственно нормативный подход к сущности понятия естественной монополии, а динамика трансформации соответствующего сектора экономики. Для этого в естественно монопольную среду предлагается внедрять элементы контролируемых конкурентных отношений. Однако, как показывает опыт ряда стран мира, при реформировании естественных монополий путем образования новых структур происходит вертикальная дезинтеграция крупных компаний и дробление монополии на отдельные хозяйствующие субъекты. В результате это приводит к увеличению транзакционных издержек и повышению стоимости оказываемых услуг [12].

В институциональной теории функционирование естественных монополий рассматриваются в виде четырех возможных вариантов,

которые различаются характером контрактов между государственным и частным секторами в зависимости от распределения правомочий. Два из них – крайние, а именно полностью нерегулируемые (частные) и полностью государственные. Помимо них – это естественная монополия, находящаяся в государственной собственности, но управляемая представителями частного сектора (как правило, используются концессионные механизмы), и естественная монополия, жестко регулируемая государством (главным образом через директивное регулирование цен и рентабельности капитальных активов).

Зарубежный опыт регулирования монополий показывает, что наиболее эффективным вариантом построения структур государственного управления в данной сфере является создание специализированных органов, независимых как от регулируемых субъектов естественных монополий, так и, что не менее важно, от органов государственного управления соответствующей отраслью. Все это требует создания соответствующей четкой правовой базы, поскольку, как известно, «Регуляторы всегда нуждаются в новых регуляторах и сами их порождают» [13].

В настоящее время в мире практикуются четыре основных метода формирования организационной структуры регулирующих органов:

- передача национальной железной дорогой функций государственного регулирования новой структуре (ЕВА в Германии);
- создание независимого ведомства (ведомства регулирования Великобритании и Австрии);
- развитие и усиление регулирующих функций ранее созданных государственных административных органов (министерство земель, инфраструктуры и транспорта Японии, Федеральная железнодорожная администрация США);
- создание нового регулирующего органа как реакция на новые требования в ходе реформы железных дорог (SRA в Великобритании, STB в США).

К железным дорогам могут применяться следующие методы государственного регулирования [14]:

- ценовое регулирование, осуществляемое посредством установления цен и тарифов или предельного их уровня. Оно должно быть направлено, прежде всего, на прекращение или сдерживание роста цен на перевозки при одновременном установлении их на уровне, достаточном для расширенного воспроизводства отрасли;

- определение потребителей, подлежащих обязательному обслуживанию, и становление минимального уровня их обеспечения.

Контроль над ценами является одним из главных направлений государственного регулирования монополий. Однако не менее важно регулировать ценовые дискриминации – практику установления разных цен на перевозки при условии, что это различие не связано с соответствующими затратами. Возможность использования ценовых дискриминаций имеется как у самих перевозчиков – государственных монополистов для увеличения своего дохода, так и у контролирующих их органов с целью поддержки некоторых отраслей промышленности.

Государственное регулирование монополии железных дорог по содержанию в достаточной степени должно быть сведено к согласованию экономических интересов государства и монополии. С точки зрения институциональной теории, отношения между государством, естественной монополией и потребителями ее услуг могут регулироваться «контрактом». Его условия определяются в процессе согласования интересов различных экономических субъектов и в значительной степени должны зависеть от социально-экономического положения в стране и экономической стратегии государства.

В организации системы государственного регулирования железнодорожной монополии, наряду с государственными регулирующими органами и самой регулируемой монополией, непосредственными участниками должны быть также потребители ее услуг, региональные органы власти и профсоюзы. При этом необходимо решить следующие задачи:

- обосновать функционирование в железнодорожной отрасли монопольных сегментов, а также сфер, где конкуренция объективно невозможна;
- сформировать институциональный механизм государственного регулирования монополий;
- разработать метод определения тарифов на услуги монопольных структур;
- выполнить оценку возможных направлений демополизации сферы перевозок;
- оценить возможность привлечения частных инвестиций в результате структурных реформ.

Главным инструментом для сдерживания железнодорожных монополий является развитие конкуренции путем обеспечения для этого свободного входа на рынок железнодорожных перевозок. Наряду с этим, препятствовать це-

новым и другим злоупотреблениям монополий призвано антимонопольное регулирование, широко используемое в большинстве государств. Однако рядом экономистов, сторонниками свободного рынка, эта мера оценивается главным образом отрицательно, поскольку, по их мнению, антимонопольное регулирование приводит к подавлению механизмов рынка. «Конкуренция – это процесс, а не равновесное состояние, и антимонопольное регулирование зачастую применялось и применяется как своего рода экономическая дубинка, с помощью которой можно не допустить соперничества и защитить сложившуюся рыночную структуру от конкуренции» [15].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутыркин, А. Я. Естественные монополии: теория и проблемы регулирования [Текст] / А. Я. Бутыркин. – М.: Новый век, 2003. – 152 с.
2. Милль, Дж. Ст. Основы политической экономии с некоторыми применениями к общественной философии [Текст] / Дж. Ст. Милль; [пер. с посл. англ. изд. Е. И. Остроградской]; под ред. О. И. Остроградского; Южно-Русское книгоизд-во Ф. А. Иогансона. – К.-Х.: Тип. И. И. Чоколова, 1896.
3. Токарский, Н. Д. Железнодорожная монополия [Текст] / Н. Д. Токарский. – СПб., 1884.
4. Кравченко, Ю. Ринкам природних монополій – ефективне регулювання [Текст] / Ю. Кравченко // Економіка України. – 2006. – № 6. – С. 12–19.
5. Студенцов, В. США: поиски оптимального режима отраслевого регулирования [Текст] / В. Студенцов // Плановое хозяйство. – 1990. – № 12. – С. 102–109.
6. Шумпетер, Й. Капитализм, Социализм и Демократия [Текст] / Й. Шумпетер : [пер. с англ.];

предисл. и общ. ред. В. С. Автономова. – М.: Экономика, 1995. – 540 с.

7. Реформирование железнодорожного транспорта. Уроки мирового опыта [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.poria.ru/journal/rgd.doc>
8. Galbraith, J. K. Economics and the public purpose. Houghton Mifflin Company [Text] / J. K. Galbraith. – Boston, 1873. – P. 367–379.
9. Фон Мизес, Л. Либерализм (Liberalismus) [Текст] / Людвиг фон Мизес. – Сер.: Библиотека ГВЛ: Политика. – М.: Социум, 2007. – 344 с.
10. Qingzhong, L. On Chinese railways government regulatory system reform [Text] / L. Qingzhong // Chinese Railways. – 2002. – № 2. – Publ.: Sci. & Technol. Information Research Institute. – P. 21–24.
11. Реформа государственного регулирования на железных дорогах Китая [Текст] // Железные дороги мира. – 2004. – № 1. – С. 20–22.
12. Кибалов, Н. Б. Реформа железнодорожного транспорта России: теория, практика, перспективы [Текст] / Н. Б. Кибалов, А. А. Кин // Регион: экономика и социология. – 2011. – № 2. – С. 175–192.
13. Рэнд, М. Апология капитализма [Текст] / М. Рэнд. – М., 2003. – С. 51.
14. Дюбанов, М. А. Проблемы реформирования естественных монополий: железнодорожный транспорт [Текст] / М. А. Дюбанов // Проблемы современной экономики. – 2009. – № 3 (31). – С. 77–79.
15. Арментано, Д. Антитраст против конкуренции [Текст] / Д. Арментано. – Сер.: Экономика. – М.: Изд-во ИРИСЭН, 2008. – С. 18.

Поступила в редколлегию 08.11.2011.

Принята к печати 17.11.2012.

О. О. ПЕТРЕНКО

## ПРОБЛЕМА МОНОПОЛІЗМУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

У статті розглянуто питання монополізму на залізничному транспорті. Визначено, що залізничний комплекс має всі відмінні риси природної монополії, є монополістом у сфері перевезень вантажів на далекі відстані. Функціонування залізничного транспорту у вигляді державної монополії породжує ряд проблем, які повинні вирішуватися із застосуванням методів державного регулювання.

*Ключові слова:* монополія, держава, залізниця, державне регулювання

E. A. PETRENKO

## THE PROBLEM OF MONOPOLY IN RAIL TRANSPORT

In the article the issues of monopolism in the railway transport are under consideration. It was determined that the railway complex has all the hallmarks of a natural monopoly, a monopoly in the field of freight transportation over long distances. Functioning the railway transport in the form of state monopoly gives rise to a number of problems, which should be solved using the methods of state regulation.

*Keywords:* monopoly, state, railway, state regulation

## ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИМІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

В даній роботі подано послідовність вирішення проблеми підвищення ефективності приміських пасажирських перевезень в умовах реформування залізничної галузі.

*Ключові слова:* залізнична галузь, реформування, пасажирське господарство, приміські перевезення, ефективність

### Вступ

В Україні почалась підготовча робота до реформування залізничного транспорту, яка мала на меті створення умов для підвищення ефективності функціонування й прискорення розвитку галузі та задоволення зростаючих потреб національної економіки й населення в перевезеннях, підвищення якості транспортних послуг та зменшення транспортної складової в ціні продукції. У підготовчому періоді слід вирішити багато питань з підвищення ефективності функціонування окремих господарств у межах існуючого законодавства для безболісного переходу їх роботи в умовах сучасного ринку. Зокрема це стосується приміських пасажирських перевезень.

У Державній цільовій програмі [1] остаточно не визначено модель реформування залізничного транспорту, але безапеляційно заявлено, що структура управління галуззю буде побудована за вертикально-інтегрованим принципом. Це означає, що замість 6 залізниць буде утворено єдиний суб'єкт господарювання – юридична особа, у складі якого будуть організовані департаменти за окремими видами перевезень. Оскільки крім Державної цільової програми [1], затвердженої Урядом України, інших офіційних документів з детальним планом реформування галуззі нема, в цей період з'явилося багато наукових праць, у яких запропоновані різні заходи стосовно удосконалення роботи приміських перевезень. Але в основному вони мали чисто теоретичну спрямованість. В 2008 році Укрзалізниця запропонувала таку модель реструктуризації, в якій приміські пасажирські перевезення на різних етапах реформування галу-

зі виділялися у філії ДАК «УЗ». Одночасно деякі науковці та фахівці пропонували виділити приміські пасажирські перевезення у окремі компанії-оператори. Автор, враховуючі вимоги Програми Президента України [2], пропонує утворити на теренах України окремі компанії (підприємства) для перевезення пасажирів в умовах сучасного ринку у формі дочірніх підприємств, поряд з якими будуть функціонувати приватні компанії зі своїм рухомим складом.

### Постановка задачі

Основна мета даної роботи – розробити послідовність вирішення проблеми підвищення ефективності функціонування приміських пасажирських перевезень за рахунок оптимізації організації руху поїздів та удосконалення тарифної політики

### Результати

Раїс Фатхутдінов у книзі [3] визначає: (подано російською мовою) «Под реформой предприятия понимается, во-первых, изменение принципов их действия, направленное на реструктуризацию, способствующую улучшению управления, повышение дефективности производства и конкурентоспособности выпускаемой продукции, производительности труда, снижения издержек производства, улучшению финансово-экономических результатов деятельности, а во-вторых, меры государственной поддержки указанных изменений». Далі Фатхутдінов подає таку типову схему реформування підприємства (рис. 1). У даній дисертаційній роботі вирішуються лише два напрямки реструктуризації приміського господарства Укрза-

лізниці. Це удосконалення його роботи за рахунок:

- впровадження нових економічно обґрунтованих методів організації руху приміських поїздів;

- розробки нових принципів побудови тарифів на перевезення пасажирів у приміському сполученні.

Вирішення задач такого класу Фатхутдінов пропонує виконувати за допомогою системного підходу [3]. *Системний підхід – це методологія дослідження об’єктів як системи. Система утворюється з двох складових: первинно-зовнішнє оточення, яке включає вхід і вихід си-*

*стем, зв’язок з зовнішнім середовищем, зворотній зв’язок, та вторинно-внутрішню структуру – сукупність взаємопов’язаних компонентів, які забезпечують процес взаємодії суб’єкта на об’єкт, переробку входу у вихід і досягнення цілей системи.*

При дослідженні роботи приміського господарства в роботі застосовано системний аналіз, який відбувається на основі всебічного вивчення властивостей господарства із застосуванням наукових підходів для виявлення слабких та сильних сторін системи, її можливостей та погроз, формування стратегії функціонування та розвитку.



Рис. 1. Принципова схема реструктуризації підприємства

Використовуючи принципи системного підходу, можна констатувати, що на Головне управління приміських пасажирських перевезень, як і на Укрзалізницю в цілому, діють фактори прямого та непрямого впливу зовнішнього середовища, а всередині неї є п'ять змінних: цілі, завдання, організаційна структура, кадри та технології. Додатково включе-

но шосту змінну – фінанси, яка відіграє значну роль у ефективному функціонуванні пасажирських перевезень.

Відповідно до рис. 1 нам слід розглядати залізничний транспорт у взаємному зв'язку із зовнішнім середовищем, яке представлено окремими клієнтами залізниць, пасажирями та суспільством у цілому (рис. 2).

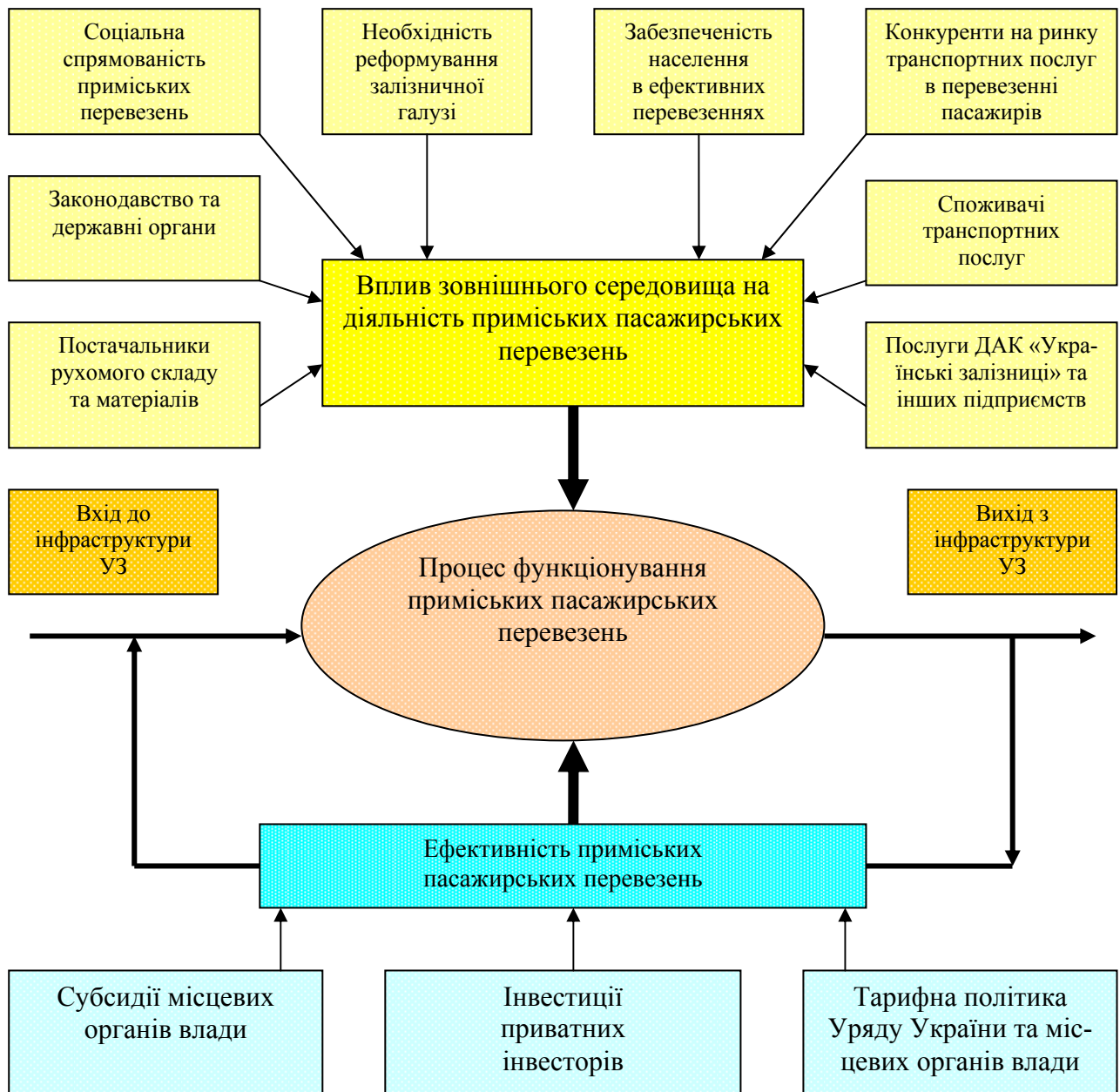


Рис. 2. Взаємодія приміського господарства Укрзалізниці із зовнішнім середовищем

Як було зазначено вище у даній роботі аналізуються тільки дві окремі змінні: фінанси (тарифна політика) та технології (нова організація руху приміських поїздів). Дослідження інших складових виконується в дисертаційних роботах аспірантів та здобувачів ДНУЗТ, УкрДАЗТ та ДЕТУТ.

Теоретичну та методологічну основу досліджень складають наукові праці та методичні розробки провідних вчених у сфері теорії управління, менеджменту організацій. Інформаційну базу – склали: Закони України, Укази Президента України, Постанови Верховної ради України та Кабінету Міністрів України та інші нормативні документи. Вирішення проблеми підвищення ефективності функціонування

приміських пасажирських перевезень здійснювалося за етапами раціонального рішення, які представлені на рис. 3.

### Висновки

1. Для ефективного реформування компаній-операторів з приміських та регіональних перевезень пасажирів в умовах сучасного ринку слід застосовувати принципи реструктуризації підприємств.

2. Для рішення проблеми підвищення ефективності приміських пасажирських перевезень необхідно використовувати системний підхід, методи менеджменту за етапами раціонального рішення.





Рис. 3. Послідовність виконання досліджень стосовно підвищення ефективності функціонування приміського господарства

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту України на 2010-2015 роки [Текст]. – 2009.
2. Програма економічних реформ України на 2010-2014 рр. [Текст]. – 2010.
3. Фатхутдинов, Р. А. Управление конкурентоспособностью организации [Текст] : учеб. пособие / Р. А. Фатхутдинов. – М.: Изд-во Эксмо, 2004. – 544 с.

Надійшла до редколегії 03.11.2011.  
Прийнята до друку 08.11.2011.

Е. П. ПИНЧУК

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИГОРОДНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОВ

В настоящей работе приведена последовательность решения проблемы повышения эффективности пригородных пассажирских перевозок в условиях реформирования железнодорожной отрасли.

*Ключевые слова:* железнодорожная отрасль, реформирование, пассажирское хозяйство, пригородные перевозки, эффективность

О. Р. PINCHUK

### SEQUENCE OF SOLUTION FOR PROBLEM OF IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF SUBURBAN PASSENGER TRANSPORTATIONS

In the paper the sequence of solution of a problem of improvement of efficiency of suburban passenger transportations in the conditions of reforming of railway branch is presented.

*Keywords:* railway branch, reforming, passenger facilities, suburban transportation, efficiency

## МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЦІНИ НА ПОСЛУГИ ВОКЗАЛІВ З УРАХУВАННЯМ СЕЗОННИХ КОЕФІЦІЄНТІВ З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ЦІН ЗАЛЕЖНО ВІД ПОПИТУ

Запропоновано методичний підхід до визначення ціни на послуги вокзалів, який на відміну від існуючого враховує сезонний коефіцієнт, що дозволяє оптимізувати ціну залежно від попиту на ці послуги.

*Ключові слова:* залізничний транспорт, пасажирське господарство, додаткові послуги, попит, ціна, оптимізація

### Вступ

Питання обґрунтованого розподілу витрат та розрахунку собівартості в процесі ціноутворення на додаткові послуги залізничних вокзалів, а також дослідження впливу зовнішніх факторів на розвиток ринку додаткових послуг, що надаються пасажирам, набуває надзвичайної актуальності в період реформування залізничного транспорту.

### Постановка задачі

Процес ціноутворення є складною системою, тому для дослідження його функціонування використовується системний підхід. Система ціноутворення складається з двох частин:

1) зовнішнє середовище, яке включає вхід системи, зв'язок з зовнішнім середовищем, і зворотний зв'язок;

2) внутрішня структура, яка включає в себе процес розрахунку ціни на додаткові послуги вокзалів і прийняття управлінського рішення.

Ціни на додаткові послуги залізничних вокзалів, які надаються пасажирам, повинні забезпечувати отримання підприємствами залізничного транспорту доходів від надання відповідних послуг у розмірі, який забезпечить компенсацію їх витрат на надання послуг та формування прибутку, розмір якого повинен відповідати вартості капіталу, інвестованого у підприємства залізничного транспорту.

При встановленні цін на додаткові послуги вокзалів необхідно враховувати зовнішні фактори, які впливають на підприємство, серед яких – зростаючий у літній період попит на перевезення, шляхом розрахунку коефіцієнтів сезонності.

### Результати

Підприємство залізничного транспорту – це відкрита система, і його розвиток залежить від зовнішнього середовища (його також називають загальним оточенням, середовищем непрямого впливу або сукупністю неконтрольованих факторів).

Фактори зовнішнього середовища найчастіше класифікують за групами, наведеними на рис. 1 [1].

В основі функціонування підприємств у ринковій економіці лежить ідея задоволення потреб. Потреби є передумовою купівлі, купівля дає змогу відшкодувати витрати на виробництво проданого товару та отримати певний прибуток для продовження виробництва, а отже, для існування підприємства. Існує досить великий перелік досліджень щодо класифікації потреб [2].

Дослідженням потреб займаються маркетингові організації. Великого значення при цьому набуває платоспроможний попит, тому що лише за наявності грошей у споживача можливі всі ринкові операції.

Споживачі відіграють подвійну роль у впливі на стан галузі. З одного боку, вони визначають необхідність існування галузі, а з іншого – задають «конкурентні показники» для підприємств: рівень цін та якості продукції.

За результатами досліджень Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна [3] нерівномірність пасажирських перевезень у часі значно впливає на кількість додаткових послуг вокзалу і, відповідно, на доходи від підсобно-допоміжної діяльності вокзалів, вимагає створення значних трудових, матеріальних та

фінансових ресурсів. Посилення нерівномірності пасажирських перевезень викликає потребу у додатковому інвестуванні капіталу та призводить до підвищення витрат.

З метою пом'якшення негативного впливу нерівномірності пасажирських перевезень у

часі на господарчу діяльність залізничного транспорту необхідно впроваджувати заходи, спрямовані на зменшення вказаної нерівномірності, у тому числі, за рахунок гнучкої політики ціноутворення.

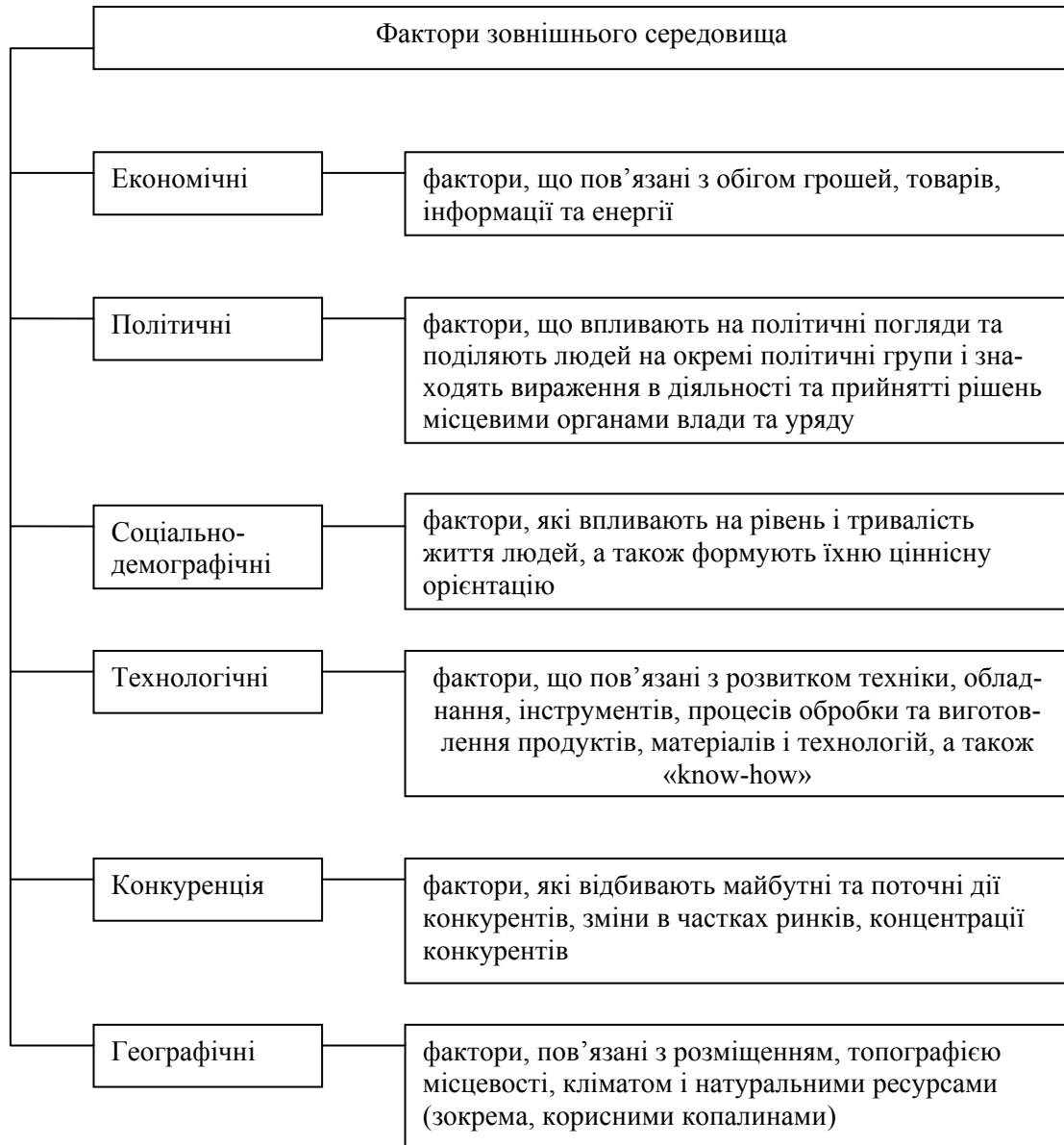


Рис. 1. Фактори зовнішнього середовища, які впливають на підприємство  
[джерело [1] з доробкою автора]

На прикладі вокзалу Дніпропетровськ можна прослідити тенденцію динаміки доходів від додаткових послуг на вокзалах. У частині додаткових послуг, що надаються на вокзалах, доходи за три роки (з 2008 р. по 2010 р.) зросли з 15571,6 тис. грн у 2008 році до 18723,9 тис. грн у 2010 році. Надходження доходів протягом року нерівномірне: найбільшу суму доходів від

додаткових послуг вокзал Дніпропетровськ отримує в червні-липні. Безумовно, чинником, що зумовив появу певної характерної особливості в процесі формування доходів у сфері додаткового обслуговування, є сезонна нерівномірність основної послуги – безпосередньо перевезення пасажирів.

Для дослідження динаміки доходу від надання додаткових послуг в розрахунку на одного пасажера (рис. 2) та динаміки кількості наданих послуг (рис. 3) помісячно за 2008 – 2010 роки побудуємо графіки.

Графіки (рис. 2, 3) підтверджують висновки про залежність доходу від надання додаткових

послуг на вокзалі від кількості відправлених пасажирів. Крім того, графіки мають однакові тенденції: в травні–вересні – збільшення кількості послуг в розрахунку на 1 пасажера і доходу в розрахунку на одного відправленого пасажера, а жовтні–квітні – зменшення.



Рис. 2. Динаміка доходу в розрахунку на 1 відправленого пасажера



Рис. 3. Динаміка послуг в розрахунку на 1 відправленого пасажера

Відомо, що попит на товари та послуги пов'язаний з їх ціною зворотною залежністю. Тому, для зменшення попиту у періоди пікових перевезень необхідно підвищувати плату за надані додаткові послуги, а для його стимулювання у періодах спаду перевезень вартість додаткових послуг необхідно зменшувати.

Таким чином, коефіцієнти до цін, які підвищують їх рівень, необхідно використовувати у періодах, коли інтенсивність роботи залізничного транспорту з перевезення пасажирів вища за середню, а коефіцієнти, що зменшують рівень цін, – у періодах з меншою інтенсивністю пасажирських перевезень. За показник, що ха-

рактеризує інтенсивність надання додаткових послуг, доцільно використовувати дохід на одного пасажера. Такими чином, напрямок зміни цін задається індексами, які визначаються за формулою:

$$I_i = \frac{\sum HL_i / t_i}{\sum HL / T}, \quad (1)$$

де  $I_i$  – індекс доходів на одного пасажера за добу в  $i$ -му календарному періоді, разів;

$\sum HL_i$  – доходи на одного пасажера в  $i$ -му календарному періоді, тис. грн;

$t_i$  – тривалість  $i$ -го календарного періоду, діб;

$\sum HL$  – загальна сума доходів на одного пасажера за рік, тис. грн;

$T$  – тривалість року, діб.

Якщо в  $i$ -му календарному періоді індекс  $I_i$  буде більший одиниці, до цін слід застосовувати підвищуючий коефіцієнт, а якщо  $I_i$  менше одиниці – слід використовувати понижуючий коефіцієнт. При цьому, чим більше  $I_i$  відрізняється від одиниці, тим у більшому ступені необхідно коригувати ціни.

Оскільки диференціація цін за періодами упродовж року не ставить за мету отримання додаткового доходу, розрахунковий дохід з урахуванням застосування коефіцієнтів повинен дорівнювати доходу від надання додаткових послуг, який буде отриманий без їх застосування. Ця умова виконується якщо середньозважений за доходами коефіцієнт до цін буде дорівнювати одиниці, тобто:

$$\sum_{i=1}^m \frac{D_i}{D} \cdot k_{s,i} = 1, \quad (2)$$

де  $k_{s,i}$  – коефіцієнт до цін в  $i$ -му календарному періоді, разів;

$D_i$  – доходи від надання послуг в  $i$ -му календарному періоді, тис. грн;

$D$  – загальні доходи від надання послуг, тис. грн;

$m$  – кількість календарних періодів, що виділяються упродовж року.

При цьому необхідно, щоб коефіцієнти до цін знаходились у певному інтервалі. Верхня межа цього інтервалу нормується, а нижня – визначається на основі обмеження (3). Очевидно, що найбільше значення коефіцієнту до цін, яке дорівнює верхній межі інтервалу, встановлюється у періоді за найбільшим значенням індексу добового доходу на одного пасажера  $I_i$ . Відповідно, найменше значення коефіцієнту до цін, яке дорівнює нижній межі інтервалу, встановлюється у періоді за найменшим значенням індексу добового доходу на одного пасажера.

Система коефіцієнтів до тарифів буде задовольняти окресленим вище умовам, якщо визначати їх за формулою (3):

$$\begin{cases} k_{s,i} = I_i^{\log_{I_{\min}} k_{dw}} & \text{якщо } I_i < 1; \\ k_{s,i} = I_i^{\log_{I_{\max}} k_{up}} & \text{якщо } I_i \geq 1, \end{cases} \quad (3)$$

де  $I_{\min}$  – найменше значення індексу добового доходу на 1 пасажера, разів;

$I_{\max}$  – найбільше значення індексу добового доходу на 1 пасажера, разів;

$k_{dw}$  – нижня границя інтервалу коефіцієнтів до цін, разів;

$k_{up}$  – верхня границя інтервалу коефіцієнтів до цін, разів<sup>1</sup>.

При цьому верхня  $k_{up}$  межа інтервалу коефіцієнтів до цін встановлюється як норматив, а нижня межа  $k_{dw}$  визначається з рівняння (яке впливає з обмеження (3)):

$$\sum_{i=1}^z \frac{D_i}{D} \cdot I_i^{\log_{I_{\min}} x} + \sum_{j=1}^p \frac{D_j}{D} \cdot k_{s,j} = 1, \quad (4)$$

де  $z$  – кількість періодів з понижуючими коефіцієнтами до цін;

$D_i$  – доходи від надання послуг у  $i$ -му календарному періоді, тис. грн;

$x$  – невідомий параметр – нижня межа інтервалу коефіцієнтів до цін, разів;

$p$  – кількість періодів з коефіцієнтами до цін, що підвищують їх рівень;

$D_j$  – доходи від надання послуг у  $j$ -му календарному періоді, тис. грн;

$k_{s,j}$  – коефіцієнт до цін у  $j$ -му календарному періоді, разів.

При цьому,

$$z + p = m. \quad (5)$$

У межах прикладу розраховано коефіцієнти до цін, що враховують коливання кількості відправлених пасажирів упродовж року. За періоди, за якими диференціюються ціни, прийнято місяці року. Розрахунки проведені за даними 2010 року. У складі прикладу у якості вагових коефіцієнтів використовується дохід від надання послуг в розрахунку на одного відправленого пасажера. Показники визначаються за формулами (1)–(4). Результати розрахунку зведено до табл. 1.

При визначенні коефіцієнтів до тарифів у табл. 1 їх верхня межа встановлена на рівні 1,25.

<sup>1</sup> За результатами досліджень Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту із застосуванням методу експертних оцінок встановлено значення верхньої границі інтервалу коефіцієнтів до цін, що рекомендується – 1,25.

Таблиця 1

## Розрахунок коефіцієнтів диференціації цін по періодам року

Місяць року	Кількість діб	Дохід на 1 пасажера, грн.	Індекс доходу на 1 пасажера, разів	Коефіцієнт до цін, разів	Питома вага періоду у доході, частка	Гр. 4 · Гр. 5
	1	2	3	4	5	6
січень	31	0,8259	0,668	0,680	0,0567	0,0386
лютий	28	0,8015	0,718	0,729	0,0550	0,0401
березень	31	1,1432	0,924	0,927	0,0785	0,0728
квітень	30	1,1701	0,978	0,979	0,0804	0,0787
травень	31	1,0983	0,888	0,893	0,0754	0,0673
червень	30	1,6335	1,365	1,205	0,1122	0,1352
липень	31	1,7943	1,451	1,250	0,1232	0,1540
серпень	31	1,4603	1,181	1,105	0,1003	0,1108
вересень	30	1,1467	0,958	0,960	0,0787	0,0756
жовтень	31	1,0991	0,889	0,894	0,0755	0,0675
листопад	30	1,1502	0,961	0,963	0,0790	0,0761
грудень	31	1,2389	1,002	1,002	0,0851	0,0689
Разом	365	14,5620			1	1

За результатом вирішення рівняння (4) визначено нижню межу на рівні 0,68.

Рівняння має вигляд:

$$\begin{aligned}
 & \frac{0,8259}{14,562} \cdot 0,668^{\log_{0,668} x} + \frac{0,8015}{14,562} \cdot 0,718^{\log_{0,668} x} + \frac{1,1432}{14,562} \cdot 0,924^{\log_{0,668} x} + \\
 & + \frac{1,1701}{14,562} \cdot 0,978^{\log_{0,668} x} + \frac{1,0983}{14,562} \cdot 0,888^{\log_{0,668} x} + \frac{1,1467}{14,562} \cdot 0,958^{\log_{0,668} x} + \\
 & + \frac{1,0991}{14,562} \cdot 0,889^{\log_{0,668} x} + \frac{1,1502}{14,562} \cdot 0,961^{\log_{0,668} x} + \frac{1,6335}{14,562} \cdot 1,365 + \\
 & + \frac{1,7943}{14,562} \cdot 1,451 + \frac{1,4603}{14,562} \cdot 1,181 + \frac{1,2389}{14,562} \cdot 1,002 = 1.
 \end{aligned}$$

Корінь наведеного рівняння визначається методом послідовних ітерацій і дорівнює 0,68, що відповідає нижній межі коефіцієнтів до тарифів.

З табл. 1 видно, що коефіцієнти до цін коливаються у заданих межах, їх динаміка відповідає зміні індексів добового доходу на 1 пасажера, що відображено на графіку (рис. 3).

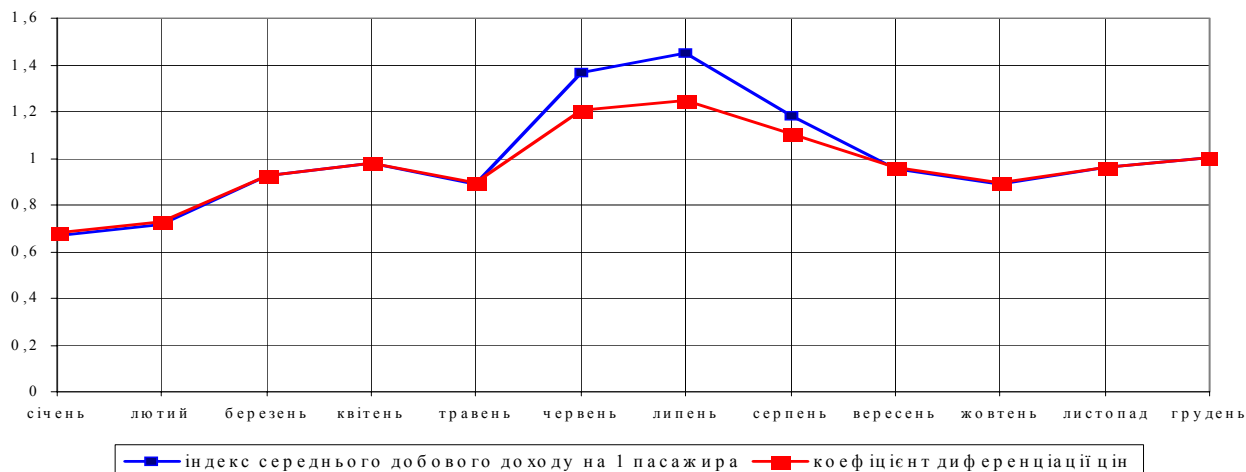


Рис. 3. Коефіцієнти диференціації цін за періодами року

### Висновки

З метою послаблення негативного впливу сезонної нерівномірності пасажирських перевезень на обсяги доходів від додаткових послуг на вокзалах запропоновано використання коефіцієнтів до цін, які їх збільшують в період «пікових» перевезень та зменшують у періодах з меншою інтенсивністю пасажирських перевезень.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Strategic management: a methodological approach [Text] / A. J. Rowe [et al.]. – 4<sup>th</sup> ed.

2. Здравомыслов, А. Г. Потребности. Интересы. Ценности [Текст] / А. Г. Здравомыслов. – М.: Политиздат, 1986.
3. Розробка методики розрахунку тарифів на перевезення пасажирів залізничним транспортом та програмного забезпечення для розрахунку собівартості та тарифів [Текст] : звіт про НДР / Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010.
4. Аналіз роботи залізниць України по пасажирських перевезеннях та підсобно-допоміжній діяльності пасажирського господарства за 2004-2010 рр. [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2011.

Надійшла до редколегії 03.11.2011.  
Прийнята до друку 10.11.2011.

А. С. ПЯТИГОРЕЦ

### МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЦЕНЫ НА УСЛУГИ ВОКЗАЛОВ С УЧЕТОМ СЕЗОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПРОСА

Предложен методический подход к определению цены на услуги вокзалов, который в отличие от существующего учитывает сезонный коэффициент, что позволяет оптимизировать цену в зависимости от спроса на эти услуги.

*Ключевые слова:* железнодорожный транспорт, пассажирское хозяйство, дополнительные услуги, спрос, цена, оптимизация

G. S. PIATYGORETS

### METHODICAL APPROACH TO DETERMINATION OF PRICE FOR SERVICES OF TRAIN STATIONS TAKING INTO ACCOUNT SEASONAL COEFFICIENTS TO OPTIMIZE PRICES DEPENDING ON DEMAND

The author offers the method of determination of price for services of the train stations, which takes into account a seasonal coefficient that allows optimizing a price depending on demand on these services.

*Keywords:* railway transport, passenger facilities, additional services, demand, price, optimization

## ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – НЕОБХОДИМЫЙ ЭЛЕМЕНТ СОВРЕМЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Рассматриваются роль и место пассажирской транспортной услуги в современной структуре железнодорожных перевозок. Определяется необходимость подхода к железнодорожным пассажирским перевозкам как к логистической системе, которая характеризуется набором параметров, отвечающих понятию логистической системы в общем виде и учитывающих особенности железнодорожной пассажирской перевозки. Также приведены особенности формирования такой системы с учетом общепринятого теоретического подхода и специфики железнодорожного транспорта. Дано понятие логистической системы на железнодорожном транспорте, рассмотрена ее общая структура. Определена структура конкретной перевозки железнодорожным транспортом в грузовом и в пассажирском движении. Приведен пример построения математической модели логистической системы железнодорожных пассажирских перевозок на основании наборов входящих и выходящих параметров. Охарактеризована структура технологического процесса при перевозках грузов и пассажиров железнодорожным транспортом с позиции транспортной логистики.

*Ключевые слова:* логистическая система пассажирских железнодорожных перевозок, модель логистической системы, входящие и исходящие потоки, ресурсный потенциал

Сегодня практически во всех отраслях экономики Республики Беларусь принят принцип системности, базирующийся на построении уникальной системы (в основном – производственной, функционирующей непосредственно в рамках конкретной отрасли производства), обладающей набором специфических, уникальных свойств и действующей по заданным законам. Транспортная отрасль не является исключением. Причем здесь важно рассматривать не только транспортную сеть страны как единую, самостоятельную от других отраслей систему, но также в зависимости от видов транспорта (т.к. это накладывает ряд ограничений) и вида перевозок – грузовые или пассажирские.

В ряде случаев на транспорте, зачастую в системе организации перевозки, наибольшее внимание уделяется именно грузовым перевозкам. При этом пассажирские перевозки остаются как бы «сами по себе». Поэтому важное значение имеет построение организационно-логистической системы железнодорожных пассажирских перевозок. Такая система должна базироваться на соответствующей современной методике и, как результат, отвечать требованиям пассажиров, предъявляемым к оказываемым транспортным услугам. Однако в пассажирских перевозках понятие логистики практически не используется так, как сложилось устойчивое мнение, что пассажиру логистика не нужна.

На практике с возникновением потребности у пассажира в процессе выполнения поездки использовать несколько маршрутов одного или

нескольких видов транспорта без применения логистики невозможно обеспечить комфорт его поездки. Эта потребность определяет аргументированные цели необходимости развития логистики пассажирских перевозок и построения логистической системы при выполнении таких перевозок.

Для решения задач оптимизации организации железнодорожных пассажирских перевозок целесообразно применять логистическую систему, функционирование которой должно быть обусловлено особенностями железнодорожного транспорта в области пассажирских перевозок.

С учетом предлагаемых различными авторами определений логистической системы применительно к системе железнодорожного транспорта это понятие можно представить следующим образом: логистическая система организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте представляет собой сложную структурированную систему, динамично реагирующую на изменения внешней среды, характеризуемую наличием ряда взаимосвязанных подсистем, с двусторонними связями (прямыми и обратными), взаимосвязанных в едином процессе управления материальными и сопутствующими им пассажирскими потоками (организации и осуществлении процесса перевозки). Она распределяется на структурированные взаимосвязанные и взаимозависимые сегменты ранка пассажирских перевозок. Данная структура представлена тремя сегментами, которые включают:

– сегмент ресурсов – рабочий парк подвижно-



го состава, материальные затраты, производственные фонды, численность персонала, производительность труда, фонд заработной платы;

– сегмент эксплуатационных измерителей – отправлено грузов, перевезено грузов, отправлено пассажиров, перевезено пассажиров по видам сообщений, грузооборот и пассажирооборот;

– финансовый сегмент – себестоимость одного тонно-километра и одного пассажиро-километра, доходы, прибыль, рентабельность.

Выделенные структурированные сегменты охватывают логистику всей транспортной деятельности при выполнении железнодорожных перевозок грузов и пассажиров. В итоге, железнодорожный транспорт целесообразно рассматривать с позиции «теории организационных систем». Так как транспорт в целом является достаточно специфичной отраслью, то железнодорожный – можно рассматривать как «организацию, состоящую из семейства взаимодействующих, иерархически расположенных элементов, наделенных правом принимать решения». Такая формулировка схожа с понятием логистической системы применительно к данной отрасли. Однако здесь присутствуют и некоторые отличия, что приводит к необходимости рассмотреть структурные составляющие системы при указанном подходе.

Для различных элементов такой системы характерны соответствующие цели. При определении целей логистической активности руководствуются выделенными принципами, сформулированными на основе «опыта хорошего управления». Предполагается, что они учитывают как способности, так и ограниченные возможности участников перевозочного процесса. Например, принцип «диапазона управления» («сферы полномочий») ограничивает число участников, которые могут контролироваться каждым членом (начальник локомотивного депо управляет рабочими и служащими локомотивного депо; начальник участка – только рабочими его участка, начальник локомотивной колонны – локомотивными бригадами); принцип «делегирования» (или «передачи полномочий») постулирует, что власть должна распределяться сообразно с ответственностью (начальник отделения железной дороги, например, отвечает за работу всех структурных подразделений железной дороги, расположенных на его территории, а заведующий складом – только за склад конкретного структурного подразделения). При этом выделяется специализация логистических подсистем.

Специализация – одна из отличительных особенностей организации логистической системы на железном транспорте. Она всегда возникает в результате выделения отдельных видов работ и передачи их особым специализированным единицам железнодорожного транспорта. В широком смысле слова специализация приводит к образованию «целевых» и «функциональных» органов, появлению в системе так называемых «линейных» и вспомогательных, или «обеспечивающих» элементов. Задачи, решаемые линейными элементами (непосредственно перевозки), отражают назначение такой организации. Деятельность «вспомогательных» элементов организации (ресурсный сектор) направлена на обеспечение решения линейными элементами (подразделениями) своих задач (например, локомотивные, вагонные депо). При этом структурой такой логистической системы следует понимать совокупность устойчивых межэлементных связей и отношений элементов, внутреннее их устройство, а также закон взаимодействия и взаимосвязи. Выделяют элемент логистической системы, который представляет собой неделимую часть, обладающую самостоятельностью по отношению к данной системе. При этом также важно выделять понятие логистической активности [1], а именно – обособленной совокупности действий, прикладываемых к материальному потоку и направленных на преобразование его и сопутствующих информационного и финансового потоков.

К элементарным логистическим активностям при перевозках пассажиров железнодорожным транспортом можно отнести:

- реклама услуг по привлечению перевозок пассажиров;
- продажа билетов;
- заказ билетов через электронную специализированную сеть;
- вокзальный сервис;
- размещение пассажира в вагоне;
- сервис во время поездки;
- организация пересадки пассажира (подбор билетов, организация мест ожидания, точек досуга и общепита).

Однако по отношению к железнодорожному транспорту, как к логистической системе, такое определение имеет другое значение. Перевозочный процесс пассажиров на железнодорожном транспорте включает такие системные понятия, как структура перевозок и структура одной перевозки.

Структура перевозок на железнодорожном транспорте включает разделение на виды перевозок: грузовые и пассажирские.

Структура конкретной перевозки выделяется аналогично для грузовых и для пассажирских перевозок отдельно [2]. В грузовом движении структура перевозки включает:

- в зависимости от вида используемой тяги – электрическая или дизельная;
- по элементам тарифных схем – включает вагонную, локомотивную и инфраструктурную составляющие.

В пассажирском движении структура перевозки будет следующей:

- в зависимости от используемого вида тяги – электровагонная, тепловозная, мотор-вагонная электрическая и дизельная;
- по элементам тарифных схем – составляющая подвижного состава с обслуживающим персоналом и инфраструктурная составляющая.

Перевозочный процесс в грузовом и пассажирском движении поэлементно технологически делится на начально-конечные операции и операции передвижения. Причем при перевозке транзитных грузов и пассажиров выполняются и по отношению к национальной железнодорожной администрации финансируются только операции передвижения.

При формировании модели логистической системы пассажирских перевозок используется опорная система функций, определяющая интегральную увязку выходных параметров, которая имеет вид квадратичного функционала:

$$A(\Delta\alpha) = \int_0^T \left[ \sum_{i=1}^N c_i y_i(t) + \sum_{j=1}^N c_j y_j(t) - H_f(t) \right]^2 dt, \quad (1)$$

где  $c_i, c_j$  – векторы идентифицируемых параметров пассажирского формата;

$y_i, y_j$  – коэффициенты оптимизации модели по каждому пассажирскому формату:

$$y_i(t) = \int_0^T \varphi_i(\tau) \cdot G(t-\tau) d\tau; \quad (2)$$

$$y_i(t) = \int_0^{T_i} \int_0^{T_j} \varphi_j(\tau_i, \tau_j) \cdot G(t-\tau_i) \cdot G(t-\tau_j) d\tau_i d\tau_j, \quad (3)$$

где  $\varphi_i, \varphi_j$  – потребные ресурсы железнодорожных администраций, направляемые на выполнение пассажирских перевозок;

$\tau_i, \tau_j$  – продолжительность выполнения цикла пассажирских перевозок  $i$ -го и  $j$ -го пассажирских форматов;

$G$  – входной железнодорожный пассажиропоток.

Выходные параметры в логистической системе железнодорожных пассажирских перевозок напрямую зависят от входных параметров, которые систематизированы следующим образом.

Логистическая система пассажирских перевозок железнодорожным транспортом отличается от подобных систем в грузовых перевозках универсальностью использования методик интегрирования жестких систем и требует значительных затрат вычислительных ресурсов, которые упрощаются при наличии соответствующей модели.

Возникает проблема разработки специальных методов интегрирования с учетом характерных значений основных переменных и с применением минимального числа арифметических и логических операций на каждом шаге за счет отказа от универсальности общих схем численного интегрирования.

Для данной задачи может быть построена специальная методика численного воспроизведения моделей на компьютере, основанная на неявных методах ломаных (НМЛ) и трапеций (НМТ) с аналитическим разрешением возникающих неявных зависимостей.

Для указанной оптимизационной модели пассажирской логистики, записанной в виде

$$\frac{dx}{dt} = f(x) \quad (4)$$

уравнения НМЛ и НМТ получаются при аппроксимации интеграла в представлении

$$\begin{aligned} x(t_{k+1}) &= x(t_k) + \int_{t_k}^{t_{k+1}} f[x(\tau)] d\tau = \\ &= x(t_k) + \int_0^h f[x(t_k + \tau)] d\tau. \end{aligned} \quad (5)$$

Соответственно, по способу правых прямоугольников

$$x^{k+1} = x^k + hf^{k+1}, \quad (6)$$

$$f^{k+1} = f(x^{k+1}) \quad (7)$$

и трапеций

$$x^{k+1} = x^k + \left(\frac{h}{2}\right)(f^k + f^{k+1}). \quad (8)$$

Для разрешения уравнений (6) и (7) относительно  $x^{k+1}$  можно воспользоваться следующим приемом. Запишем  $i$ -ое уравнение в следующем виде

$$\frac{x_i^{k+1} - x_i^k}{h} = f_i^{k+1} = f_i(x^{k+1}). \quad (9)$$

Используя первые члены разложения Тейлора [3], можно приближенно представить правую часть полученного уравнения в следующем виде

$$f_i^{k+1} \cong f_i^k + \sum_{j=1}^n \frac{\partial f_i(x^k)}{\partial x_j^k} (x_j^{k+1} - x_j^k), \quad i \in [1:n]. \quad (10)$$

С точностью до бесконечно малых высшего порядка относительно  $x_j^{k+1} - x_j^k$  при  $x^{k+1} \rightarrow x^k$ .

В результате формула НМЛ примет вид

$$\frac{x_i^{k+1} - x_i^k}{h} = f_i^k + \sum_{j=1}^n \frac{\partial f_i(x^k)}{\partial x_j^k} (x_j^{k+1} - x_j^k). \quad (11)$$

Аналогичным образом, НМТ (8) может быть записан в виде

$$\begin{aligned} \frac{x_i^{k+1} - x_i^k}{h} = f_i^k + \\ + 0,5 \sum_{j=1}^n \frac{\partial f_i(x^k)}{\partial x_j^k} (x_j^{k+1} - x_j^k), \quad i \in [1:n]; \end{aligned} \quad (12)$$

последние две формулы обладают тем преимуществом перед исходными соотношениями, что  $x_i^{k+1}$  входит линейно и последние уравнения могут рассматриваться как системы линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных  $x_i^{k+1}$ ,  $i \in [1:n]$ , которые определяют параметры элементов логистики пассажирских перевозок. Применение этих соотношений очевидно эквивалентно разрешению нелинейных систем уравнений (6)–(8) относительно  $x^{k+1}$ , что позволяет конкретизировать входные параметры модели по всем структурным элементам.

При выполнении перевозок грузов и пассажиров весь технологический процесс включает следующие элементы транспортной логистики:

– по грузовым перевозкам:

вагонная составляющая – по пробегу вагонов (вагоно-километры), по продолжительности коммерческой эксплуатации (вагоно-часы);

локомотивная составляющая – по пробегу (локомотиво-километры во главе поездов и в одиночном следовании), по продолжительности коммерческой эксплуатации (локомотиво-часы и бригадо-часы работы локомотивных бригад);

инфраструктурная составляющая – по интенсивности использования технических устройств железнодорожной инфраструктуры (пути, автоматики, телемеханики и связи, энергетической системы, зданий и инженерных сооружений). Здесь в качестве измерителя выступают тонно-километры брутто вагонов и локомотивов;

– по пассажирским перевозкам:

вагонная составляющая – по пробегу вагонов (вагоно-километры дороги-владельца вагонов), по продолжительности коммерческой эксплуатации (вагоно-часы вагонов и поездных бригад пассажирских составов);

локомотивная составляющая – по пробегу (локомотиво-километры, поезд-километры электропоездов и дизель-поездов, рельсовых автобусов и локомотивных бригад электропоездов, тепловозов, дизель-поездов и электропоездов, рельсовых автобусов);

инфраструктурная составляющая – по продолжительности эксплуатации (продолжительность эксплуатации одного километра перегонной или станционной инфраструктуры на протяжении одного часа).

Целью формирования логистической системы пассажирских перевозок, выполняемых на железнодорожном транспорте, является повышение общего потенциала такой системы до уровня, превышающего суммарный потенциал всех ее подсистем. При этом уровень организации такой системы должен отвечать современным интеграционным требованиям и требованиям системности, которые позволяют транспортной логистической системе эффективно функционировать и выполнять весь комплекс функций, запрашиваемых современным потребителем транспортных услуг. При этом производитель транспортной услуги должен обладать достаточным потенциалом ресурсов, используемых во всех сегментах логистической модели.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаджинский, А. М. Логистика [Текст] : учебник для высш. и средн. спец. учеб. заведений / А. М. Гаджинский. – 3-е изд., перераб и доп. – М.: Инф.-внедр. центр «Маркетинг», 2000. – 375 с.

2. Копитко, В. І. Логістичний підхід у створенні ефективного механізму управління пасажирськими перевезеннями залізничним транспортом [Текст] / В. І. Копитко // Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті: Матеріали Першої Міжн. наук.-практ. конф. – К.: ДАЗТУ, 2009. – С. 54–57.
3. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа [Текст] : учеб. пособие для высш. учеб. заведений / Н. Н. Моисеев. – М.: Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит-ры, 1981. – 488 с.

Поступила в редколлегию 19.04.2011.  
Принята к печати 28.04.2011.

О. А. ХОДОСКИНА

## **ЛОГІСТИЧНА СИСТЕМА – НЕОБХІДНИЙ ЕЛЕМЕНТ СУЧАСНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

Розглядаються роль і місце пасажирської транспортної послуги в сучасній структурі залізничних перевезень. Визначається необхідність підходу до залізничних пасажирських перевезень як до логістичної системи, яка характеризується набором параметрів, що відповідають поняттю логістичної системи в загальному вигляді і враховують особливості залізничної пасажирського перевезення. Також наведено особливості формування такої системи з урахуванням загальноприйнятого теоретичного підходу і специфіки залізничного транспорту. Дано поняття логістичної системи на залізничному транспорті, розглянута її загальна структура. Визначено структуру конкретного перевезення залізничним транспортом у вантажному і в пасажирському русі. Наведено приклад побудови математичній моделі логістичної системи залізничних пасажирських перевезень на підставі наборів входять і виходять параметрів. Охарактеризовано структура технологічного процесу при перевезеннях вантажів та пасажирів транспортом залізничним з позиції транспортної логістики.

*Ключові слова:* логістична система пасажирських залізничних перевезень, модель логістичної системи, вхідні і вихідні потоки, ресурсний потенціал

О. А. KHODOSKINA

## **LOGISTIC SYSTEM AS AN ESSENTIAL ELEMENT OF MODERN ORGANIZATION OF RAILWAY PASSENGER TRAFFIC**

The role and place of passenger transport services in the modern structure of rail transportation is considered. The need for approach to rail passenger transport as a logistics system, which is characterized by a set of parameters corresponding to the concept of logistics system in general and taking into account the peculiarities of railway passenger transportation is determined. The features of formation of such a system, taking into account the generally accepted theoretical approach and the specifics of rail transport are also presented. The concept of logistic system for railway vehicles is given; its overall structure is reviewed. The structure of the particular transport is defined by rail freight and in passenger traffic. Is an example of a mathematical model of the logistics system of rail passenger services on the basis of sets of incoming and outgoing parameters is determined. The structure of technologic process for goods and passenger transportation by rail from the perspective of logistics is characterized.

*Keywords:* logistic system of passenger railway transportation, model of logistic system, input and output streams, resource potential

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВНУТРІШНЬОГО ФІНАНСОВОГО КОНТРОЛЮ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ

Розглядаються організаційні питання внутрішнього фінансового контролю, вимоги та існуючі можливості його інформаційного забезпечення. Виділено вимоги, особливості, проблеми розробки аналітичної складової інформаційних систем внутрішнього фінансового контролю. Розроблено рекомендації щодо вдосконалення контрольно-ревізійної роботи на основі інформаційно-аналітичного забезпечення.

*Ключові слова:* внутрішній фінансовий контроль, інформаційно-аналітичне забезпечення, контрольно-ревізійна робота

### Вступ

Укрзалізниця (УЗ) на даний час поєднує у своїй діяльності функції державного і господарського управління, що не забезпечує достатню прозорість фінансово-господарської діяльності галузі і не відповідає вимогам базових законодавчих актів щодо розвитку і функціонування економіки в Україні.

Процес керівництва підприємствами залізничної галузі, як і будь-яким іншим об'єктом господарювання, потребує максимально високого рівня контролю над діяльністю, який передбачає необхідність отримання і аналізу великого обсягу інформації. Частина функцій з контролю виконується силами ревизорів власного контрольно-ревізійного апарату. Переважна більшість інформації, що перевіряється ними, пов'язана з фінансовими показниками діяльності підприємств.

Можливість отримання повних, достовірних та своєчасних даних безпосередньо впливає на ефективність фінансового контролю, і це ставить задачу пошуку шляхів поліпшення організації опрацювання та аналізу фінансової інформації.

Методи та засоби інформаційного забезпечення фінансового контролю, які достатньо повно висвітлені у відомих роботах [1–3], не враховують особливостей інформаційних систем, які функціонують на підприємствах залізничної галузі. Більшість інформаційних систем не містять аналітичної складової [2, 4].

### Постановка задачі

*Метою* даної роботи є висвітлення існуючих проблем реалізації внутрішнього фінансового контролю на підприємствах залізничної галузі в аспекті інформаційно-аналітичного за-

безпечення та формування пропозицій щодо їх вирішення.

### Результати досліджень

#### Структура контролю на залізничному транспорті

Внутрішній фінансовий контроль (ВФК) на підприємствах залізничного транспорту України здійснюється силами ревизорів з контролю та аудиторів. На залізницях вони об'єднані в окремі служби контролю та внутрішнього аудиту (загальноприйняте скорочення – НКРС), які здійснюють контроль над рівнем доходів від перевезень і фінансово-господарською діяльністю структурних підрозділів залізниць (рис. 1).

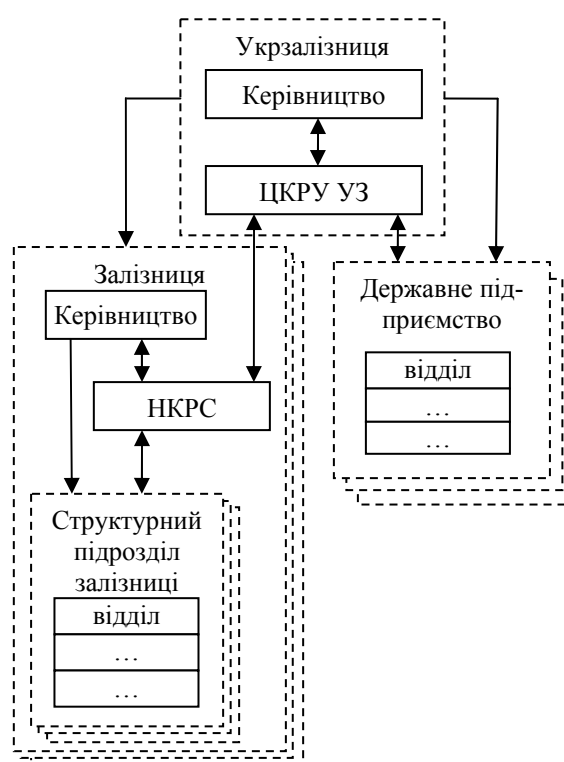


Рис. 1. Основні інформаційні потоки ВФК

Керівництво над НКРС здійснює Головне управління контролю і внутрішнього аудиту Укрзалізниці (ЦКРУ УЗ), одним із основних завдань якого є проведення внутрішнього аудиту та контролю фінансово-господарської діяльності залізниць, їх структурних підрозділів, а також підприємств, установ, організацій, що входять до сфери управління УЗ.

НКРС в процесі контрольних заходів здійснює аудит фінансово-господарської діяльності структурних підрозділів. Після детального аналізу узагальнені доповідні за результатами перевірок щодо виявлених недоліків та порушень надаються до відома керівництву залізниці та до ЦКРУ УЗ. Підприємства, які знаходяться у безпосередньому підпорядкуванні Укрзалізниці, перевіряються фахівцями ЦКРУ УЗ.

Багаторівнева система фінансового контролю галузі має за мету забезпечення високого рівня виконавчої дисципліни, підвищення достовірності фінансової звітності та належної ефективності на стадії реалізації матеріалів контрольних заходів, поліпшення якості документування ревізії та її результатів.

#### ***Інформаційне забезпечення контрольних заходів***

За традиційними технологіями ревізорами НКРС та ЦКРУ УЗ виконується локальна обробка фінансової інформації. Безпосереднє застосування обчислювальної техніки у процесі проведення аудиту чи контрольного заходу, фінансовий аналіз отриманих даних (комп'ютерний аудит) супроводжується здебільшого використанням тільки програмних систем MS Word та Excel [9]. Таким чином збирається, оцінюється та аналізується значна частка інформації.

Єдиної інформаційно-аналітичної бази ВФК, яка б надавала можливість використання ревізорами інформації з різноманітних джерел, та відповідала вимогам повноти даних, не існує. Даний факт створює значні перешкоди в контрольно-ревізійній роботі, наприклад, відбувається дублювання функцій, частина контрольних заходів проводиться за формами та методами, які не відповідають сучасним вимогам та ін.

На теперішній час в системі УЗ впроваджені спеціалізовані програмні й довідково-пошукові системи, а також системи управління основною діяльністю.

Основної спеціалізованою системою з інформаційного забезпечення ВФК на залізничному транспорті є інформаційна система ЗАЛП (ІС ЗАЛП). Використання ІС ЗАЛП сприяє форму-

ванню єдиної системи контролю та внутрішнього аудиту галузі, вжиттю заходів щодо підвищення фінансової дисципліни, запобігання та попередження фінансових правопорушень; опрацюванню матеріалів контрольних заходів, що здійснюються підрозділами ЦКРУ УЗ, моніторингу щодо їх повноти та якості; узагальненню та опрацюванню інформації щодо стану внутрішнього контролю галузі.

Існуючі ІС не мають і не передбачають аналітичної складової. Впровадження ІС забезпечення контролю фінансово-господарської діяльності відкриває нові можливості для автоматизації аналітичної обробки інформації.

Використання автоматизованих інформаційних технологій під час проведення контрольних заходів сприяє підвищенню методичного рівня фінансового контролю і створенню його оптимальної організаційної моделі. При цьому аналітична обробка інформації надає можливість зменшення трудовитрат та підвищення оперативності отримання результатів.

Впровадження автоматизованих систем фінансового контролю сприяє:

- підвищенню системності, формалізації аналітичних завдань;
- аналізу впливу широкого кола внутрішніх і зовнішніх факторів;
- підвищенню достовірності та надійності отриманих результатів фінансового контролю;
- розширенню реалізації аналітичних досліджень у режимі реального часу;
- створенню умов для проведення комплексних аналітичних досліджень, пов'язаних з оперативним обробленням великих масивів аналітичної інформації.

Перелічені переваги впровадження дозволяють усувати дублювання, сприяють чіткішому визначенню обсягу та якісного складу інформаційної бази ВФК; сприяють підвищенню обґрунтованості управлінських рішень, які приймаються на підставі результатів контрольних заходів; дозволяють проводити оперативний та ситуаційний аналіз, багатоваріантний прогнозний аналіз та аудит.

#### ***Вимоги до інформаційно-аналітичної системи внутрішнього фінансового контролю***

Створення інформаційно-аналітичної системи ВФК (ІАС ВФК) зумовлено прагненням до загальної реорганізації контролю та до підвищення якості ділової інформації.

Інформаційна складова повинна забезпечувати повну інформаційну підтримку користува-

ча, тобто надавати доступ до інформації в базі даних і проводити її часткову обробку. Вона має надавати можливість створення різних видів звітів: регулярних звітів, які створюються відповідно до встановленого графіка (щомісячний аналіз стану контрольно-ревізійної роботи УЗ), і спеціальних звітів, які створюються у відповідь на запити осіб, які приймають рішення (ОПР), або при позапланових потребах.

Процедури маніпулювання даними повинні забезпечувати можливості: комбінування даних, що одержуються з різних джерел та за різні періоди; швидкого додавання або виключення того чи іншого джерела даних і автоматичного переключення джерел під час пошуку даних; автоматичного вистежування потоку інформації для наповнення баз даних та ін. [3].

Аналітична складова системи повинна надавати можливість своєчасно отримувати певну аналітичну інформацію в необхідних обсягах. Наприклад, на основі аналізу результатів минулих перевірок надавати висновки щодо фінансового контролю та фінансово-господарського стану підприємств.

Для ухвалення рішень на рівні управлінського контролю інформація в ІАС ВФК повинна бути представлена в агрегованому вигляді так, щоб були помітні тенденції зміни даних, причини відхилень і можливі рішення.

ІАС ВФК є підґрунтям для створення системи управління. Вимоги, що висуваються до ІАС ВФК з боку системи управління, такі: повнота, своєчасність і регулярність надходження та оброблення інформації, а також достовірність і точність останньої. Передбачається, що розміри інформаційної бази ВФК УЗ мають бути мінімальними, але достатніми для прийняття управлінських рішень, оскільки надмірна інформація не сприяє ефективному її використанню й ускладнює процес управління.

### ***Особливості застосування ІАС ВФК***

В системі оброблення інформації можна вирізнити зовнішнє та внутрішнє забезпечення, які входять до складу інформаційного забезпечення системи ІАС ВФК.

Зовнішнє інформаційне забезпечення — це сукупність вхідних і вихідних інформаційних повідомлень. Входи та виходи розглядаються щодо системи ВФК в цілому або до її локальних, відносно самостійних, елементів. До вхідних повідомлень системи відносяться: зведені звіти залізниць, організацій; акти, контрольні показники; штати, контингент тощо. Вихідними повідомленнями системи є: інформація про

окремі порушення за функціональною структурою, довідки та т.ін.

Для автоматизованого розв'язування комплексу задач, крім використання первинних документів, має бути реалізована використання НДІ загальнодержавних та галузевих класифікаторів; нормативно-довідкових документів.

Внутрішня інформаційна база ІС — це бази даних, які створюються і підтримуються на рівнях галузевих служб та управлінь, де підтримується нормативно-довідкова, оперативна та архівна інформація.

У розділі законодавчих і нормативних актів мають міститися закони України і зміни до них, нормативні акти, інша довідкова інформація. Державні класифікатори і відомчі довідники мають підтримуватися централізовано, а локальні довідники — створюватися в кожній локальній системі. Оперативна інформація повинна накопичуватися в центральних базах даних залізниць, інформаційно-обчислювальних центрів та Головному інформаційно-обчислювальному центрі. Тут мають компонуватися бази даних оперативної інформації за напрямками діяльності НКРС: реєстрація наказів про перевірки; облік і контроль по виявлених порушеннях; реалізація матеріалів перевірки; облік і контроль; планування та облік документальних перевірок; ведення реєстрів та інших файлів.

### ***Проблеми розробки ІАС ВФК***

Однією з основних проблем застосування ІАС ВФК є порушення термінів надходження та обробки інформації, що унеможливає її використання при прийнятті управлінських рішень. Крім того, має місце невисока ступінь достовірності і точності, відповідності інформації об'єктивним показникам об'єкта управління.

Другою проблемою є проблема уніфікації форм документів, що ґрунтується на таких принципах:

- скорочення кількості форм первинних документів з метою побудови раціонального документообігу і спрощення їх обробки;
- застосування єдиних форм документів на різних рівнях управління: залізниця, підприємство;
- використання мінімальної кількості даних, які вводяться для розв'язування функціональних задач, а також виключення із документів розрахункових показників, які можна дістати під час машинної обробки, і даних, які є в системі (наприклад, норми витрат, тарифні ставки, посадові оклади тощо);

- одноразове введення даних і багаторазове їх використання;
- використання єдиної термінології для всієї системи первинної документації, яка забезпечує простоту і зручність у роботі користувача з документами.

Сутність проблеми полягає у тому, що форми існуючих документів не відповідають наведеним принципам. А зміна форм потребує великого обсягу аналітичних досліджень. Крім того, слід враховувати вимоги до інформаційної бази: однозначний та формалізований опис об'єктів і актів виробничо-господарської діяльності.

Виникає необхідність розробки та застосування методів, які сприяють ефективному збору, реєстрації, передачі, накопиченню й збереженню інформації; вилученню дублюючих потоків інформації; уніфікації, спрощенню й усуненню надмірної документації; забезпеченню ефективної форми обміну інформацією [4].

Надалі розглянемо проблеми, пов'язані з інформаційними потоками. За існуючою технологією інформаційні потоки не досконалі, оскільки не виключається: дублювання інформації; втрата при пересилці; необхідність уточнення; несвоєчасність надходження документів; відсутність відповідальності за документ в цілому.

Звідси випливає необхідність удосконалення системи інформаційних потоків ВФК УЗ, зміни алгоритму проходження документів, автоматизації передачі інформації.

Для запобігання протиріч у наявності, представленні та способах використання система інформаційних потоків контрольно-ревізійної роботи повинна бути органічно вбудована в загальну систему інформаційних потоків УЗ.

#### ***Заходи та засоби поліпшення якості контрольно-ревізійної роботи***

Використання інформаційних технологій при виконанні контрольних заходів стало необхідною передумовою якісної оперативної роботи та основних організаційних заходів реформування контрольно-ревізійної роботи на залізничному транспорті, а саме:

- запровадження системи управління якістю (ISO 9001:2000);
- створення єдиної ІАС ВФК УЗ, що має забезпечити інформаційне та аналітичне супроводження контрольно-ревізійної роботи на всіх стадіях її здійснення та ефективно використання всіх інформаційних ресурсів;

– розширення функціональних можливостей єдиної інформаційно-аналітичної системи ФК УЗ та її інтеграція з інформаційними ресурсами;

– створення системи оперативного обміну інформацією між суб'єктами внутрішнього фінансового контролю та забезпечення універсального використання реєстрів і баз даних;

– гармонізація внутрішнього контролю та внутрішнього аудиту;

– організація створення і підтримки електронної бази даних з питань внутрішнього контролю та внутрішнього аудиту;

– співпраця та здійснення обміну інформацією з іншими установами та організаціями з питань фінансового контролю.

Сучасні інформаційні системи дають можливість працювати по-новому, а отже, породжують новий підхід до проектування процесів контрольно-ревізійної роботи. Вони дозволяють автоматизувати існуючий процес, удосконалити інструментарій проведення розрахунків, аналізу, цілком змінити технологію обробки інформації, використовувати нові технології, вимагаючи радикальної зміни контрольно-ревізійної роботи.

Засобами використання інформаційних систем у контрольно-ревізійній роботі є:

– єдині бази даних УЗ, що дозволяють позбутися деяких проміжних етапів документообігу;

– мережеві технології, що забезпечують встановлення зв'язку з користувачами;

– експертні системи, що сприяють заміні експертів і фахівців вузької спеціалізації фахівцями широкого профілю;

– системи підтримки прийняття рішень.

Аналіз системи контрольно-ревізійної роботи виявляє недостатню ефективність існуючої моделі фінансового контролю та необхідністю подальшого реформування самої стратегії системи управління фінансами. Лише тоді, коли перед прийняттям управлінського рішення і під час його виконання застосовуватимуться адекватні процедури внутрішнього контролю, будуть створені умови для переходу від ревізії до внутрішнього аудиту, від перевірки кожної господарської операції – до контролю систем.

Поліпшенню інформаційно-аналітичного забезпечення ВФК можуть сприяти такі заходи:

– стандартизація системи ВФК, формування системи єдиних процедур контролю для зовнішнього, внутрішнього фінансового контролю;



- впровадження сучасних інформаційних технологій;
- створення єдиної інтегрованої бази даних, пов'язаної з паспортизацією результатів контрольних заходів;
- запровадження загального моніторингу ВФК зведених даних про виявлені порушення фінансової дисципліни та відшкодовані збитки.

Отже, подальший розвиток ВФК вбачається у створенні єдиної системи, яка побудована на основі уніфікованих організаційно-методологічних принципів і характеризується чіткою цілісністю. Новітні інформаційні технології документообігу дозволяють оперативно накопичувати та використовувати відповідні бази даних за підсумками всіх форм фінансового контролю.

### Висновки

Таким чином, підвищення ефективності проведення контролю вимагає зростання якості інформаційно-аналітичної роботи.

Основні рекомендації з поліпшення інформаційно-аналітичної роботи з ВФК передбачають:

- розробку чітких методичних рекомендацій щодо проведення контролю із визначенням методів і принципів основних аналітичних процедур, які важливо здійснювати;
- розробку спеціального програмного забезпечення, яке дозволить автоматизувати аналітичні процедури проведення економічного аналізу та адаптувати його до існуючих автоматизованих робочих місць і баз даних, якими користуються НКРС та ЦКРУ УЗ;
- розширення аналітичних підрозділів або зменшення навантаження шляхом ліквідації контролю, який не має змістовного навантаження та не впливає на ефективність прийняття управлінських рішень;
- покращення взаємодії підрозділів, ліквідація та розробка шляхів усунення суперечностей та дублювання у сфері проведення контролю;

- розробку найбільш доцільної схеми проведення галузевого контролю;

- покращення взаємодії між підрозділами та створення єдиної циклічної системи інформації.

Реалізація визначених завдань повинна забезпечити: зміцнення фінансової дисципліни в галузі, оперативне реагування на виникнення або загрозу виникнення фактів неефективного використання державних ресурсів та фінансових шахрайств; отримання обґрунтованої інформації щодо ефективності та законності використання державних ресурсів; розвиток програмно-технічної інфраструктури інформаційної системи; вдосконалення діяльності, підвищення ефективності управління ресурсами; оптимізацію фінансових витрат на забезпечення функціонування системи внутрішнього фінансового контролю шляхом підвищення ефективності використання наявних можливостей.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Яковлев, Ю. П. Контролінг на базі інформаційних технологій [Текст] / Ю. П. Яковлев. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 318 с.
2. Іванюта, П. В. Управлінські інформаційні системи в аналізі та аудиті [Текст] : навч. посіб. / П. В. Іванюта. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 180 с.
3. Белуха, Н. Т. Аудит [Текст] / Н. Т. Белуха. – К.: «Знання», 2000. – 769 с.
4. Каранфілов, М. С. Інформаційні системи в державному менеджменті [Текст] : навч. посіб. / М. С. Каранфілов. – 2-е вид. – К.: КНЕУ, 2006. – 456 с.
5. Ніконова, О. В. Системи СААТ – новий інструментарій у проведенні аудиту [Текст] / О. В. Ніконова // Фінансовий контроль. – 2007. – № 6 (41). – С.60–64.

Надійшла до редколегії 04.11.2011.

Прийнята до друку 07.11.2011.

В. И. ШИНКАРЕНКО, О. Ю. ГРЕСОВА, Е. Г. ГРЕСОВА

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО ФИНАНСОВОГО КОНТРОЛЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ УКРАИНЫ

Рассматриваются организационные вопросы внутреннего финансового контроля, требования и существующие возможности его информационного обеспечения. Выделены требования, особенности, проблемы разработки аналитической составляющей информационных систем внутреннего финансового контроля. Раз-

работаны рекомендации по совершенствованию контрольно-ревизионной работы на основе информационно-аналитического обеспечения.

*Ключевые слова:* внутренний финансовый контроль, информационно-аналитическое обеспечение, контрольно-ревизионная работа

V. I. SHYNKARENKO, O. Yu. GRESOVA, Yg. G. GRESOVA

## **ANALYSIS OF THE MODERN STATE OF INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT OF INTERNAL FINANCIAL MONITORING FOR THE RAILWAYS OF UKRAINE**

Organizational matters of internal financial control requirements and existing capabilities to provide information are considered. Requirements were identified, features and problems of developing analytical component of the information systems of internal financial control. Recommendations are made to improve the control and audit work on the basis of information and analytical support.

*Keywords:* internal financial control, information and analytical support, control and audit work

Наукове видання

# В І С Н И К

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

Випуск 40

(українською, російською та англійською мовами)

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 7704  
від 08.08.2003 р. видане Державним комітетом телебачення і радіомовлення України*

Відповідальний за випуск *І. П. Корженевич*  
Комп'ютерне верстання *В. В. Кузьменко*

*Статті в збірнику друкуються в авторській редакції*

Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Ум.друк.арк. 37,32. Тираж 100 пр. Зам. № 1013.

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

*Адреса редакції, видавця та ділянки оперативної поліграфії:*

*вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ-10, 49010, Україна*

*Тел.: +38 (0562) 47-19-66, факс: +38 (0562) 47-19-83*

*E-mail: visnik@diit.edu.ua*

*Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003.*