

ISSN 1993-9175

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ



# **ВІСНИК**

Дніпропетровського національного  
університету залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

**Випуск 25**

Дніпропетровськ  
2008

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

# **В І С Н И К**

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

*Випуск 25*

Дніпропетровськ  
2008

Редакційна колегія:

Головний редактор д-р техн. наук *Пішійко О. М.*  
Заступник головного редактора д-р техн. наук *Мямлин С. В.*  
Члени редколегії: д-р біолог. наук *Дворецький А. С.*;  
д-ри техн. наук *Блохін Є. П., Бобровський В. І., Боднар Б. Є., Босов А. А.,*  
*Браташ В. О., Вакуленко І. О., Гетьман Г. К., Дубинець Л. В.,*  
*Жуковицький І. В., Заблудовський В. О., Загарій Г. І., Казакевич М. І.,*  
*Колесов С. М., Коротенко М. Л., Костін М. О., Курган М. Б.,*  
*Петренко В. Д., Пунагін В. М., Радкевич А. В., Разгонов А. П., Рибкін В. В.,*  
*Скалозуб В. В., Хандецький В. С., Шафіт Є. М.*;  
д-ри фіз.-мат. наук *Гаврилюк В. І., Кравець В. В.*;  
д-ри хім. наук *Біляєв М. М., Нейковський С. І., Федін О. В.*;  
д-ри екон. наук *Бараш Ю. С., Каламбет С. В., Копитко В. І.,*  
*Крамаренко В. Д., Покотілов А. А.*  
Відповідальний секретар канд. техн. наук *Корженевич І. П.*

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 7704.*  
*Видане Державним комітетом телебачення і радіомовлення України 08.08.2003 р.*

*Друкується за рішенням вченої ради Дніпропетровського національного університету*  
*залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна від 29.12.2008, протокол № 6*

В53 **Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка**  
**В. Лазаряна. – Вип. 25. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна,**  
**2008. – 267 с.**

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.

В статтях 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.

ББК 39.2

## ЗМІСТ

### ГАЛУЗЬ ТЕХНІЧНИХ НАУК

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

|   |   |
|---|---|
| <b>А. П. ФАЛЕНДИШ (УкрГАЗТ, Харків), Д. А. ИВАНЧЕНКО, Е. В. БОНДАРЕНКО</b><br>ПРИМЕНЕНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ<br>ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА..... | 7 |
|---|---|

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

|  |    |
|--|----|
| <b>Б. Є. БОДНАР, В. К. ВАРЧЕНКО, О. Б. ОЧКАСОВ, М. А. ГРИЩЕНКО (ДІТ)</b><br>ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ БОРТОВИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ<br>ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВУЗЛІВ ЛОКОМОТИВА..... | 9  |
| <b>О. И. ГИЛЕВИЧ, Р. О. ДРОНОВ, Я. П. КУШНЕРЫК, Е. В. КОРЕЦ (ДИИТ)</b><br>МОТОР-КОМПРЕССОР ЭПС КАК ОБЪЕКТ РЕГУЛИРОВАНИЯ.....   | 14 |
| <b>В. В. МЯМЛИН (ДИИТ)</b><br>СХЕМА КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОГО АГРЕГАТА КАК МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ<br>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ АСИНХРОННОГО ГИБКОГО ПОТОКА РЕМОНТА ВАГОНОВ.....        | 18 |

#### **РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ»**

|   |    |
|---|----|
| <b>В. М. БЕЗРУЧЕНКО, О. Л. МАРЕНИЧ (ДІТ)</b><br>ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У СХЕМАХ СТЕНДІВ<br>ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЛОКОМОТИВІВ.....   | 23 |
| <b>Л. В. ДУБИНЕЦЬ, Д. В. УСТИМЕНКО (ДІТ), П. О. ЛОЗА (Придніпровська залізниця)</b><br>ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОГО СТРУМУ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ ВИПРОБУВАННІ ТЯГОВИХ<br>ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ НА НАГРІВАННЯ БЕЗ ВЕНТИЛЯЦІЇ.....  | 26 |
| <b>В. Г. КУЗНЕЦОВ, М. О. ІВАНОВ, О. О. МАТУСЕВИЧ (ДІТ)</b><br>НОРМУВАННЯ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ВЛАСНІ ПОТРЕБИ ПОСТІВ СЕКЦІОНУВАННЯ<br>ТА ПУНКТІВ ПАРАЛЕЛЬНОГО З'ЄДНАННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....   | 30 |
| <b>Т. М. МІЩЕНКО, Т. О. НОСИК (ДІТ)</b><br>ПЕРСПЕКТИВНІ НАНОМАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ.....  | 34 |
| <b>А. М. МУХА, О. В. КУЗНЕЦОВ (ДІТ)</b><br>ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ОБ'ЄМУ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ<br>З ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ БАГАТОСИСТЕМНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ.....   | 37 |
| <b>Ю. Б. НАПАРА, С. А. ПЛИТЧЕНКО (ДИИТ)</b><br>ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ВЕЛИЧИНУ<br>КРИТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ МОМЕНТА И АБСОЛЮТНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ.....  | 43 |
| <b>А. А. ПАНЧЕНКО (ГОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»,<br/>Российская Федерация)</b><br>ДИАГНОСТИКА ЗАГРУЖЕННОСТИ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА<br>В ДВИЖЕНИИ И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ ПУТИ..... | 46 |
| <b>А. А. ПАНЧЕНКО, Е. Е. ТЕН (ГОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей<br/>сообщения», Российская Федерация)</b><br>ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА<br>В ДВИЖЕНИИ.....                             | 50 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Н. В. РУДЕВИЧ</b> (Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»)<br>О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА<br>НА ТОЧНОСТЬ УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ ЕГО ПОГРЕШНОСТИ ..... | 53 |
| <b>Ю. Л. САЕНКО, Т. К. БАРАНЕНКО</b> (Приазовский государственный технический университет, Мариуполь)<br>ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ<br>С МОЩНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ .....                 | 57 |
| <b>В. Г. СИЧЕНКО, В. А. ЗУБЕНКО</b> (ДІТ)<br>ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПАСИВНИХ ЗГЛАДЖУЮЧИХ ФІЛЬТРІВ ТЯГОВИХ<br>ПІДСТАНЦІЙ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ .....   | 63 |

### **РОЗДІЛ «ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ»**

|   |    |
|---|----|
| <b>И. П. КОРЖЕНЕВИЧ</b> (ДИИТ)<br>СПЕЦИАЛЬНАЯ РЕПЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУТИ В ПЛАНЕ .....  | 69 |
| <b>М. Б. КУРГАН, Н. А. МУХІНА, О. С. ЧЕРНИШОВА</b> (ДІТ)<br>ВСТАНОВЛЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ УСУНЕННЯ ОБМЕЖЕНЬ ШВИДКОСТІ,<br>ЗУМОВЛЕНИХ СТАНОМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ..... | 72 |

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

|  |    |
|--|----|
| <b>А. Н. ПШИНЬКО, Н. Н. БЕЛЯЕВ, И. В. КАЛАШНИКОВ</b> (ДИИТ)<br>ПРИМЕНЕНИЕ ПОГЛОЩАЮЩИХ СКВАЖИН ДЛЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ЗОНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ<br>В ПОДЗЕМНОМ ПОТОКЕ .....   | 76 |
| <b>А. Н. ПШИНЬКО, Н. Н. БЕЛЯЕВ, П. Б. МАШИХИНА</b> (ДИИТ)<br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАССЕЙВАНИЯ ТЯЖЕЛОГО ГАЗА В АТМОСФЕРЕ .....  | 81 |
| <b>А. Н. ПШИНЬКО, Н. Н. БЕЛЯЕВ, Л. В. ПОКУТНЕВА</b> (ДИИТ)<br>ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ .....  | 84 |
| <b>Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО</b> (ДИИТ), <b>Л. Ф. ЯЦЕНКО, Д. М. ПОПЕЛЬНИЦКИЙ</b> (Крымский инженерно-педагогический<br>университет)<br>МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ<br>МУЛЬТИКОЛЛИНЕАРНОСТИ ФАКТОРОВ В МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ<br>ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ САКСКОГО ОЗЕРА ..... | 88 |
| <b>В. Г. ЛОЗА, С. В. КУХЛІВСЬКИЙ, Б. Я. КОСЕНКО, О. М. ПІДСКРЕБАЄВ</b> (ДІТ)<br>СПОСОБИ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ .....  | 92 |

### **РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Г. Л. МОРОЗОВ, М. А. КУКЛЕВ, Б. Н. ТОВТ</b> (ДИИТ)<br>ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ МОСТОВОГО КРАНА С ВАКУУМ-ПРИСОСНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ..... | 97  |
| <b>О. М. ПШИНЬКО, Т. І. АФАНАСЬЄВА</b> (ДІТ)<br>ВПЛИВ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА С-3 НА ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕТОННОЇ СУМІШІ І БЕТОНУ .....  | 102 |
| <b>А. С. РАСПОПОВ</b> (ДИИТ)<br>РАСЧЕТ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ДЕКОМПОЗИЦИИ .....                                | 105 |
| <b>А. Л. ТЮТЬКИН</b> (ДИИТ)<br>КОНЦЕПЦИЯ СТАТУСНОСТИ В КОМПЛЕКСНОМ АНАЛИЗЕ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ<br>ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ .....       | 110 |

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

|  |     |
|--|-----|
| <b>А. А. БОСОВ, В. В. АРТЕМЧУК</b> (ДІТ)<br>МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ..... | 118 |
|--|-----|

|  |     |
|--|-----|
| <b>А. Н. ГОРЯИНОВ, А. В. АЛПЕЕВА (Харьковская национальная академия городского хозяйства)</b><br>РАБОТА ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЬНОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА<br>В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ.....   | 122 |
| <b>А. Н. ГОРЯИНОВ, Ю. В. БУГАЕВ (Харьковская национальная академия городского хозяйства)</b><br>СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВОГО ТРАНСПОРТА<br>В ГОРОДЕ.....   | 125 |
| <b>А. Н. ГОРЯИНОВ, М. В. ОЛЬХОВА (Харьковская национальная академия городского хозяйства)</b><br>ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....   | 128 |
| <b>А. Н. ГОРЯИНОВ, Т. Ф. ФЕДОРОВА (Харьковская национальная академия городского хозяйства)</b><br>ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК И ТИПОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ<br>ПРИ МЕЖДУГОРОДНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ ГРУЗОВ .....  | 132 |
| <b>М. А. ГРИГОРОВ, О. О. ЛОБАШОВ, О. В. ПРАСОЛЕНКО (Харківська національна академія міського господарства)</b><br>ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У НАЙКРУПНІШИХ МІСТАХ<br>З УРАХУВАННЯМ МЕРЕЖІ ПАРКОВКИ.....   | 137 |
| <b>М. А. ГРИГОРОВ, Я. В. САНЬКО (Харківська національна академія міського господарства)</b><br>ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНІВ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ<br>ЕВОЛЮЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ.....  | 140 |
| <b>Ю. О. ДАВІДІЧ, Д. П. ПОНКРАТОВ (Харківська національна академія міського господарства)</b><br>ВИЗНАЧЕННЯ МАРШРУТУ ПОДАЧІ ТАКСОМОТОРУ ЗАМОВНИКУ В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ<br>АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ.....   | 142 |
| <b>К. В. ДОЛЯ (Управління Головної державної інспекції на автомобільному транспорті<br/>у Харківській області)</b><br>ДИФЕРЕНЦІЙОВАНА ОЦІНКА МІСЬКОЇ ПАСАЖИРСЬКОЇ ТРАНСПОРТНОЇ РОБОТИ.....   | 146 |
| <b>В. К. ДОЛЯ, Е. И. ЛЕЖНЕВА (Харьковская национальная академия городского хозяйства)</b><br>К УПРАВЛЕНІЮ РИСКАМИ В СИСТЕМАХ ЛОГИСТИКИ .....   | 149 |
| <b>В. К. ДОЛЯ, В. Ф. ХАРЧЕНКО, Д. М. РОСЛАВЦЕВ (Харківська національна академія<br/>міського господарства)</b><br>ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГАХ .....  | 152 |
| <b>В. В. ЖУРАВЕЛЬ (ДІТ)</b><br>ТРИВАЛІСТЬ ОСАДЖУВАННЯ ВАГОНІВ І ФАКТОРИ, ЩО НА НЕЇ ВПЛИВАЮТЬ .....   | 155 |
| <b>А. В. КРАСНЮК, А. Ф. ТАТАРИНОВ, Т. В. УЛЬЧЕНКО (ДИИТ)</b><br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ AutoCAD<br>В ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАЧ.....   | 159 |
| <b>О. В. ЛАВРУХІН, І. О. ЛЕВЧЕНКО (УкрДАЗТ, Харків)</b><br>УДОСКОНАЛЕННЯ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ВАНТАЖНОЇ СТАНЦІЇ<br>В УМОВАХ НЕЧІТКОЇ ВИХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....  | 162 |
| <b>А. О. ЛОБАШОВ, Д. Л. БУРКО (Харьковская национальная академия городского хозяйства)</b><br>КРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ.....  | 165 |
| <b>В. О. ПЕРОВ, А. С. ВАКУЛЕНКО, О. К. ЯКУНІН (Корпорація «Промтелеком», Україна)</b><br>ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ГАЛУЗЕВОГО МАЙДАНЧИКА<br>ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ.....  | 168 |
| <b>Н. Н. ТИТОВ, Ю. М. БОРУШКО, С. Б. СЕМЕНОВ, Е. В. ЛЯШЕНКО (ООО «Хартэп», Харьков, Украина)</b><br>ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ «НАВИГАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ»<br>НА БАЗЕ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ И ЕЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С АСК ВП УЗ В УСЛОВИЯХ<br>ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА ЮЖД..... | 172 |
| <b>В. В. ТКАЧЕВ, С. Н. ПРОЦЕНКО (Національний горний університет України, Дніпропетровськ)</b><br>УПРАВЛЕНИЕ ГРУЗОПОТОКАМИ НА КОНВЕЙЕРНОМ ТРАНСПОРТЕ.....  | 178 |
| <b>В. Ф. ХАРЧЕНКО, Е. Е. ВАКУЛЕНКО (Харьковская национальная академия городского хозяйства)</b><br>К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ МАРКИ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ<br>ГОРОДСКИХ МАРШРУТОВ В УСЛОВИЯХ КОНКУРЕНЦИИ НА РЫНКЕ АВТОТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ.....                      | 185 |
| <b>М. Н. ЧЕПЦОВ, С. А. РАДКОВСКИЙ (ДонИЖТ УкрГАЗТ, Донецк)</b><br>ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ КРИТЕРИЕВ ОПАСНЫХ ОТКАЗОВ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ<br>РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ.....   | 189 |
| <b>Р. А. ШКІЛЬ (НМетАУ, Дніпропетровськ)</b><br>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРОННІЙ КОМЕРЦІЇ.....  | 194 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Л. М. ШУТЕНКО, Е. М. ЄРМАК (Харківська національна академія міського господарства)</b><br>ДО МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОВЖИНИ ПЕРЕГОНУ НА МАРШРУТАХ МІСЬКОГО<br>ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ФАКТОРА ЛЮДИНИ..... | 199 |
| <b>С. О. ЯКОВЛЄВ, С. І. ХРИЩЕНЮК (ДІТ)</b><br>СИСТЕМИ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ, АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ УПРАВЛІННІ<br>ПАРКОМ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН.....  | 201 |

## **РОЗДІЛ «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»**

|   |     |
|---|-----|
| <b>Л. І. ВАКУЛЕНКО, М. А. ГРИЩЕНКО (ДІТ)</b><br>ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ В ОБ'ЄМАХ ОКРЕМИХ ЗЕРЕН<br>ПОЛІКРИСТАЛІВ.....                      | 204 |
| <b>І. О. ВАКУЛЕНКО, М. А. ГРИЩЕНКО (ДІТ), О. М. ПЕРКОВ (ІЧМ НАНУ)</b><br>ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СТРУКТУРНОГО СТАНУ ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА.....                      | 207 |
| <b>Б. М. СМІРНОВ, С. О. ПЛІТЧЕНКО (ДІТ)</b><br>МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ СЕРДЕЧНИКІВ СТРІЛОЧНИХ<br>ПЕРЕВОДІВ У ДВОШАРОВІЙ ЛИВАРНІЙ ФОРМІ..... | 210 |

## **ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК**

### **РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»**

|   |     |
|---|-----|
| <b>Ю. С. БАРАШ, М. П. СНАЧОВ (ДІТ)</b><br>АНАЛІЗ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ НА ПАСАЖИРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ<br>У ДАЛЬНЬОМУ СПОЛУЧЕННІ.....   | 215 |
| <b>В. Є. ВЛАСЮК (ДІТ)</b><br>ЩОДО ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЛІ ДЕРЖАВНИХ ВИТРАТ У ПРОЦЕСАХ ФОРМУВАННЯ<br>ФІНАНСОВОЇ ПОЛІТИКИ.....  | 219 |
| <b>Н. Д. ВОЛКАНОВА (ДонІЗТ УкрДАЗТ, Донецьк)</b><br>СУТНІСТЬ І ПРИЗНАЧЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛІВ У КОНТЕКСТІ РОЗРОБЛЕННЯ МІЖНАРОДНОЇ<br>ТОРГОВО-ТРАНСПОРТНОЇ СТРАТЕГІЇ УКРАЇНИ.....                         | 221 |
| <b>О. В. ГЕТМАНЕНКО (ДонІЗТ УкрДАЗТ, Донецьк)</b><br>СУТНІСТЬ ФОРМУВАННЯ МОТИВАЦІЙНОГО МЕХАНІЗМУ ПІДПРИСМСТВА В УМОВАХ<br>ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОНОМІКИ.....  | 226 |
| <b>А. В. ГРЕЧКО (НТУУ «КПІ», Київ)</b><br>АЛЬТЕРНАТИВНІ МОДЕЛІ РЕФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ.....  | 231 |
| <b>О. О. КАРАСЬ (ДІТ)</b><br>МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ ПАРКАМИ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ.....  | 236 |
| <b>В. В. МЯМЛИН (ДИИТ)</b><br>СУЩЕСТВУЮЩАЯ ПРИБЫЛЬНО-ФИНАНСОВАЯ МОДЕЛЬ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ – ОСНОВНАЯ ПРИЧИНА<br>КРИЗИСА МИРОВОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И КРАХА ФИНАНСОВОЙ СИСТЕМЫ .....                        | 241 |
| <b>Л. В. ПРИВАЛОВА, Ю. В. БУЛГАКОВА (ДІТ)</b><br>УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКІВ ЗА МІЖНАРОДНІ ВАНТАЖНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ<br>(НА ПРИКЛАДІ КРАЇН СНД І БАЛТІЇ).....  | 248 |
| <b>В. І. СТРИЛЕЦЬ, О. А. МІНЧЕНКОВА, Г. А. ЮРЧЕНКО (ДонІЗТ УкрДАЗТ, Донецьк)</b><br>ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ФІНАНСОВОГО ЛІЗИНГУ ДЛЯ ОНОВЛЕННЯ ОСНОВНОГО КАПІТАЛУ<br>ПІДПРИЄМСТВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ГАЛУЗІ..... | 253 |
| <b>А. М. АФАНАСОВ (ДИИТ)</b><br>ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКЕ<br>ТЯГОВИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА.....  | 258 |
| <b>Г. К. ГЕТЬМАН, С. В. АРПУЛЬ (ДИИТ)</b><br>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ<br>ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ.....  | 263 |

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Надано опис можливостей розроблених обчислювальних засобів та їх використання для статистичного аналізу даних експлуатації рухомого складу

Дано описание возможностей разработанных вычислительных средств и их использование для статистического анализа данных эксплуатации подвижного состава.

The description of possibilities of the developed computer systems and their use for the statistic analysis of data of operation of the rolling stock is given.

### Постановка проблемы

Эффективная эксплуатация подвижного состава (ПС) в первую очередь обеспечивается его надежной работой. Рациональная конструкция, оптимальные параметры деталей и узлов локомотивов задаются еще при проектировании, т.е. на этапе его создания. Проведение испытаний позволяет внести свои коррективы и, после доведения характеристик до требуемых значений, локомотив готов к эксплуатации. С этого момента его техническое состояние и надежность попадают под влияние целой системы факторов, которые изменяют это состояние и как следствие снижают надежность. Эти изменения выражаются в отклонении значений параметров от заданных, то есть необходимых для эффективного функционирования.

Таким образом, отказ рассматривается как результат постепенного изменения характеристик до критических. Отсюда определяется место диагностике как рациональной форме предупреждения отказов. Диагностика состоит в установлении и изучении признаков характеризующих состояние машин и механизмов. Но, кроме технической диагностики, которая предполагает применение высокоточных дорогостоящих приборов, целесообразно проводить анализ рабочих характеристик, полученных непосредственно в процессе эксплуатации. Тем более что большинство технических систем диагностики позволяет лишь фиксировать определенные параметры, не отображая результат о состоянии объекта диагностирования.

Работа локомотивов характеризуется огромным количеством параметров, которые постоянно изменяются во времени. Поэтому для возможности их адекватной оценки необходима статистическая обработка, по результатам ко-

торой проводится анализ. Применение прикладных программ позволяет автоматизировать и повысить эффективность такой работы.

### Анализ работ по данному направлению

В наше время появилось достаточное количество компьютерных программ, которые можно использовать для обработки интересующих нас данных. Большинство из них рассчитаны на широкого пользователя и применимы практически во всех сферах научного и инженерного дела. Но эта универсальность составляет определенную сложность их применения для конкретных задач.

В описаниях таких продуктов, как MathCad, Excel, Statistica приводится достаточный перечень функций и надстроек, которые базируются на методах математической статистики и теории вероятностей [1 – 3]. Исходя из этих возможностей, необходимо создавать программные продукты прикладного характера для автоматизации расчетов и анализа данных при эксплуатации и испытании ПС.

### Основной материал

Данные, полученные в ходе испытаний или в эксплуатации, представляют собой определенный массив значений, имеющих случайный характер. В ряде случаев возникает необходимость в установлении закономерностей в распределении этих значений, чтобы в дальнейшем при анализе сопоставить их с условиями испытаний (эксплуатации). В таких случаях возникают две основные задачи: определение вида вероятностного закона, которому подчиняется исследуемый процесс, т.е. аппроксимация экспериментальной информации каким-

либо законом распределения, и проверка пригодности, т.е. адекватности этого закона экспериментальным данным.

Алгоритм реализации этих задач представлен на рис. 1.

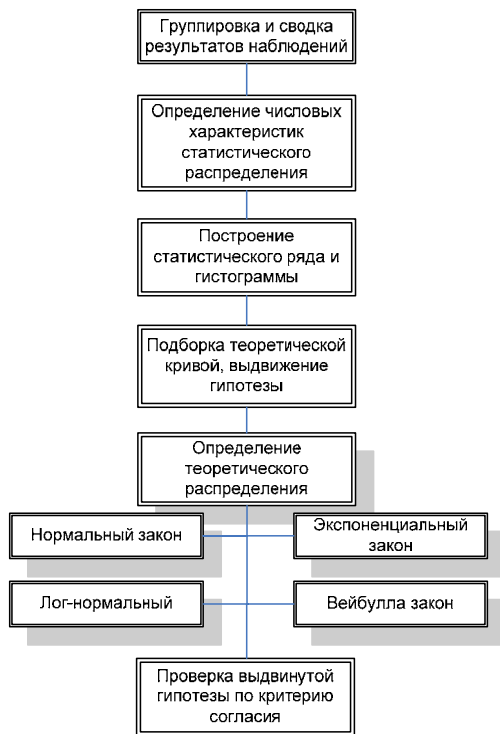


Рис. 1. Алгоритм определения вероятностного закона распределения

В результате программа выдает значения основных характеристик распределения исследуемой выборки.

Построение гистограммы производится с учетом рассчитанных величин интервалов группирования. Далее производится расчет меры расхождения  $\chi^2$  и число степеней свободы, на основании чего по критерию согласия определяется вероятность согласованности эмпирического распределения принятому теоретическому.

Так, для данных, полученных в ходе испытаний электронных регуляторов, была произведена статистическая обработка с получением основных параметров и вероятностного закона распределения. Данные представляли собой массив значений удельных расходов топлива на единицу работы локомотивами за единицу времени эксплуатации.

В результате были просчитаны значения среднего расхода топлива за период наблюде-

ний, который составил  $25,9 \text{ кг}/10^4 \text{ т-км}$ , дисперсия – 0,32, коэффициент вариации – 0,12. По виду распределения, представленного на рис. 2, выдвинута гипотеза о лог-нормальном законе распределения и получена мера расхождения, составляющая 4,56 по критерию Пирсона и 0,2 по критерию Романовского.

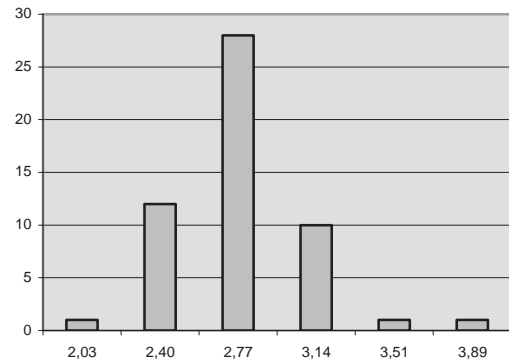


Рис. 2. Плотность распределения значений расхода топлива

## Выводы

1. Разработана модель определения закона распределения данных эксплуатации и испытания ПС, которая является составляющей программного комплекса по определению характеристик и систем обслуживания локомотивов.

2. Получены результаты обработки данных расхода топлива тепловозами с электронным регулятором дизеля.

3. Подтверждена необходимость создания комплекса прикладных программ для анализа данных эксплуатации и испытания ПС.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калугина, О. Б. Работа с электронными таблицами Microsoft Office Excel 2003 [Текст] / О. Б. Калугина, В. С. Люцарев. – М.: Интернет-ун-т информ. техн., 2006. – 222 с.
2. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]. – изд. 6-е, стер. / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1997. – 479 с.
3. Херхагер, М. MathCad 2000: полное руководство [Текст] / М. Херхагер, Х. Партолль. – 1999. – 412 с.

Поступила в редколлегию 25.11.2008.

## ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ БОРТОВИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВУЗЛІВ ЛОКОМОТИВА

Розглянуті питання підвищення ефективності обробки інформації бортових систем діагностування локомотивів. Приведені приклади обробки інформації бортової системи діагностування електровозів ДЕ1. Надавні пропозиції по удосконаленню систематизації та обробки інформації бортових систем діагностування.

Рассмотрены вопросы повышения эффективности обработки информации бортовых систем диагностирования локомотивов. Приведены примеры обработки информации бортовой системы диагностирования электровозов ДЕ1. Даны предложения по усовершенствованию систематизации и обработки информации бортовых систем диагностирования.

The issues of increase of efficiency of information processing by on-board systems of diagnostics of locomotives are considered. The examples of information processing by the on-board system of diagnostics of electric locomotives ДЕ1 are presented. The suggestions on improvement of systematization and processing of information by on-board systems of diagnostics are given.

Посилення конкуренції між різними видами транспорту вимагає від локомотивного господарства підвищення експлуатаційної надійності локомотивного парку, скорочення часу простою локомотивів в ремонті і витрат на проведення ремонту. Підвищення експлуатаційної надійності повинно досягатись з мінімальними витратами; з точки зору технічного обслуговування це означає максимальне скорочення часу простою локомотивів і зменшення ймовірності виходу локомотивів з ладу під час експлуатації. Одним із шляхів вирішення цієї задачі є впровадження на локомотивах засобів технічного діагностування.

Аналіз впровадження і використання систем діагностування на залізничному транспорті за кордоном, впровадження систем оптимізації технічного обслуговування транспортних засобів в інших видах транспорту дозволяє зробити висновок про високу ефективність використання систем діагностування при переході до системи ремонту локомотивів з урахуванням їх експлуатаційної надійності. Сучасний рівень розвитку технічних засобів дозволяє організувати спільну роботу систем управління, діагностування, системи контролю місця знаходження локомотива, систем бездротової передачі інформації на пункти технічного обслуговування локомотивів.

Досвід впровадження засобів технічного діагностування в умовах Укрзалізниці показав необхідність удосконалення обробки і використання діагностичної інформації. В першу чергу це стосується використання інформації борто-

вих систем діагностування, якими обладнані нові локомотиви. Інформація, яка збирається бортовими системи діагностування, практично не використовується, в найкращому варіанті ця інформація переноситься з бортової пам'яті до бази даних депо. Це пояснюється тим, що на сьогоднішній день не повною мірою розроблені методи прогнозування зміни технічного стану вузлів локомотивів на основі даних систем діагностування. Розробка цих методів є трудомістким завданням, виконання якого можливе лише при одночасній роботі експлуатаційників, науковців та розробників систем діагностування.

В теорії технічної діагностики задача прогнозування наробітку до відмови технічного об'єкту на основі результатів діагностування не є новою, подібні задачі вирішувались як для залізничного, так і інших видів транспорту. Вирішення цієї задачі зводиться до прогнозування термінів відмови  $t_{\text{відм}}$  деталей рухомого складу.

Відомі різні моделі [1], що дозволяють вирішувати задачу прогнозування термінів відмови. Найбільш точною з них можна вважати модель, яка використовує дані про поточний технічний стан. При вирішенні цієї задачі можна скористатися наступною моделлю [2]:

$$t_{\text{відм}} = t_0 + T_{\text{ост}}, \quad (1)$$

де  $t_0$  – напрацювання на момент проведення прогнозу;

$T_{\text{ост}}$  – прогнозний остаточний ресурс деталі.

Найбільш досконалим можна вважати підхід до визначення  $T_{\text{ОСТ}}$  з урахуванням стохастичного характеру зміни технічного стану. Цей підхід передбачає, що значення  $T_{\text{ОСТ}}$  визначається з урахуванням виду закону розподілу залишкового ресурсу  $Z$  його параметрів – математичного очікування  $M$ , коефіцієнта варіації  $v$ , а також заданою ймовірністю безвідмовної роботи  $P(t)$ .

$$T_{\text{ОСТ}} = f[Z, M, v, P(t)]. \quad (2)$$

Ці параметри визначаються на основі аналізу інформації, отриманої в результаті проведення діагностування поточного стану локомотива. Для прогнозування терміну відмови накопичена статистика по кожній  $i$ -тій реалізації відображується у вигляді функції:

$$T_{\text{ОСТ}} = f(Y_T), \quad (3)$$

де  $Y_T$  – значення поточного технічного стану на момент проведення прогнозу  $t_y$ .

При формуванні експериментальної функції (3), для кожної  $j$ -тої точки статистики використовується вираз:

$$T_{\text{ОСТ}_j} = t_{\text{відм}} - t_j, \quad (4)$$

де  $t_{\text{відм}}$  – наробіток на відмову;

$t_j$  – наробіток при проведенні  $j$ -того діагностування.

Після перетворення отримується статистика оцінки залишкового ресурсу, що характеризує залежність зміни  $T_{\text{ОСТ}}$  від поточного технічного стану.

Використовуючи значення  $T_{\text{ОСТ}}$  по кожній реалізації, яка відповідає початку експлуатації деталі при  $Y=0$  і застосовуючи традиційний апарат математичної статистики, визначають параметри: закон розподілу залишкового ресурсу  $Z$  і коефіцієнт варіації  $v$ .

Подальша обробка цієї статистики дозволяє отримати функцію для тренда залишкового ресурсу залежно від значення поточного технічного стану  $Y$ :

$$M = f(Y). \quad (5)$$

Таким чином, в результаті обробки статистики оцінки залишкового ресурсу отримуються значення параметрів:  $Z, M(Y)$  і  $v$ , необхідні при прогнозуванні.

Як бачимо, прогнозування терміну відмови вимагає неодноразового проведення діагносту-

вань кількості яких залежить від технічного стану локомотива. Якщо використовується бортова система діагностування, то момент часу  $t_y$  може розглядатися як період часу між зчитуваннями та обробкою інформації бортових систем діагностування. Кінцевим результатом визначення остаточного ресурсу вузла, в будь-якому випадку, буде висновок про необхідність проведення ремонту та його обсяг.

Розглянутий метод є одним з найпростіших методів прогнозування зміни технічного стану об'єктів. Він достатньо точно характеризує надійність локомотивів, тобто дозволяє оцінити середнє напрацювання на відмову, вірогідність відмови локомотива при певному значенні пробігу, ресурс його агрегатів та ін. Цей підхід може бути використаний на попередньому етапі розробки системи утримання локомотивів, що базується на обробці результатів діагностування.

Основною проблемою впровадження розглянутого методу є визначення критерію (3), тобто параметру, за яким буде оцінюватись зміна технічного стану кожного конкретного вузла і агрегату локомотива, та розробка спеціалізованих програмних засобів для накопичення і аналізу достатніх обсягів статистичної інформації. В літературі [4, 5] розглянуті більш складні методи, які базуються не лише на оцінці ймовірнісних характеристик, а й на оцінці параметрів відновлення вузла.

Для реалізації запропонованої методики проведено аналіз діагностичної інформації, отриманої з системи діагностування електровозів ДЕ1. При обробці інформації було виявлено суттєву різницю між параметрами вібрації мотор-вентиляторів різних електровозів. Для порівняння вибирались дані, які відповідали режиму роботи при середній швидкості вентиляторів. Для прикладу на рис. 1 наведені значення вібрацій для кожного з мотор-вентиляторів електровозу ДЕ1 № 33.

Аналіз вібраційних показників мотор-вентиляторів показав, що у мотор-вентиляторів, секція «А» вентилятор № 2 та секція «Б» вентилятор № 1 горизонтальні вібрації в декілька разів перевищують вертикальні, а для однієї з машин – перевищують допустимі значення. Таке явище може бути пояснене кількома причинами: вихід з ладу амортизатора, недоліки конструктивної схеми кріплення мотор-вентилятора; недовідбалансування електромотору. Така різниця в рівнях вібрації свідчить про необхідність додаткових досліджень причин вібрації електричних машин.

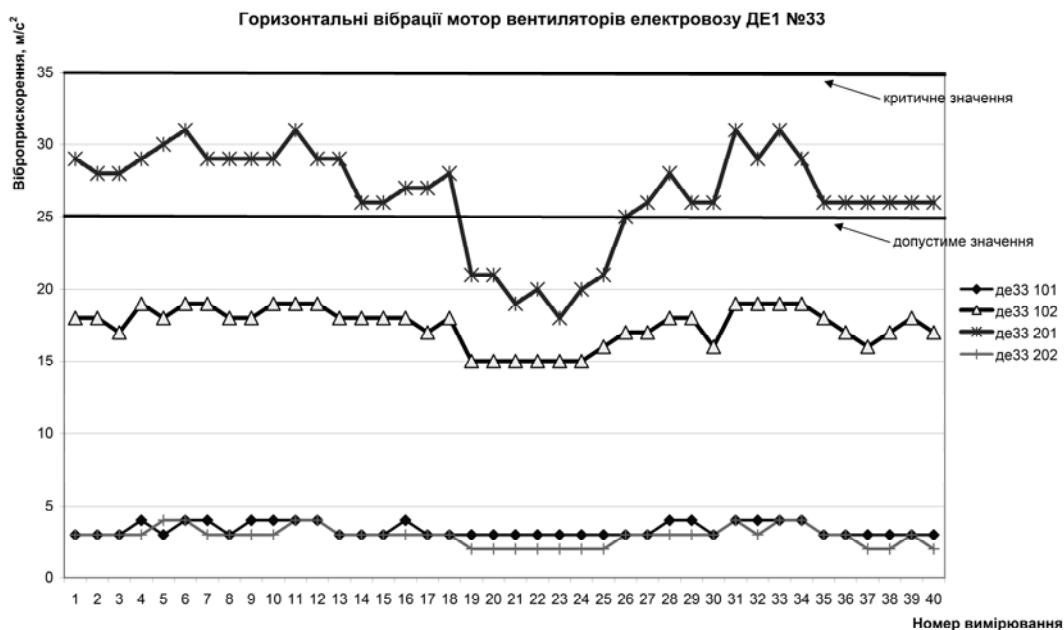


Рис. 1. Горизонтальні вібрації мотор-вентиляторів електровозу ДЕ1 № 33:  
101 – мотор вентилятор 1 секції А; 102 – мотор вентилятор 2 секції А;  
201 – мотор вентилятор 1 секції Б; 202 – мотор вентилятор 1 секції Б

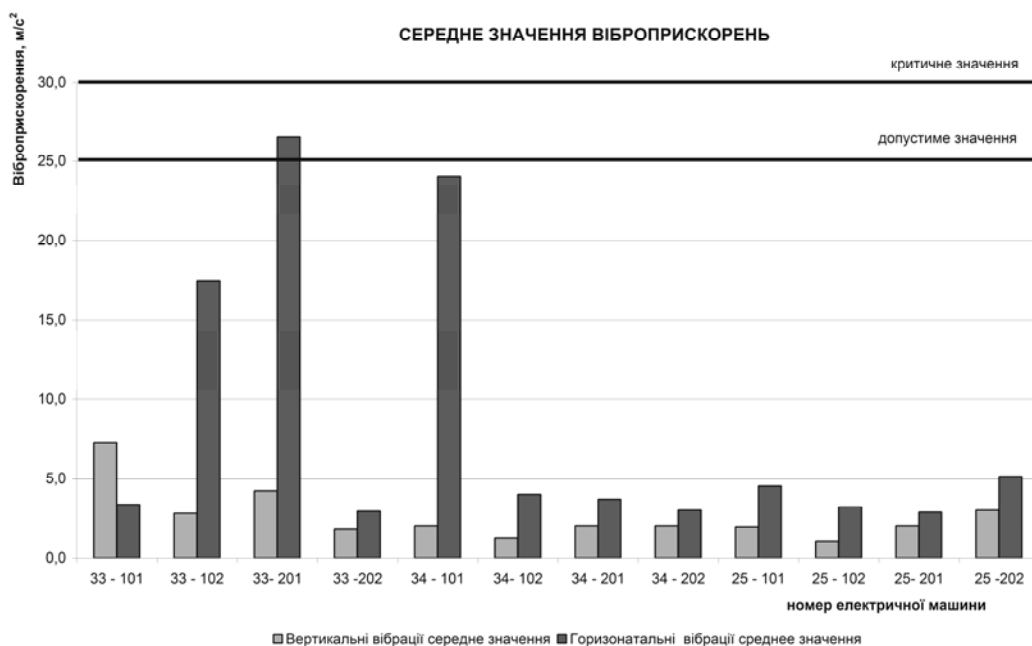


Рис. 3. Середні значення віброприскорень

Порівняння середніх значень вібрацій мотор-вентиляторів електровозів ДЕ1 №25, 33, 34 наведені на рис. 2. Як видно з наведеної інформації, горизонтальні вібрації для трьох електричних машин (33-102, 33-201, 34-101) значно перевищують вертикальні вібрації, та середні значення вібрацій для інших електричних машин. Таке порівняння вібраційних характеристик дозволяє лише за рахунок відносного порі-

вняння виявити електричні машини, які потребують проведення додаткового технічного обслуговування та ремонту. Таким чином, можна виявити електричні машини, технічні параметри яких знаходяться у встановлених межах. Для таких електричних машин періодичність проведення відповідних видів ТО може бути скорегована в сторону збільшення.

Основними джерелами вібрації електричних машин є фактори магнітного, механічного і аеродинамічного походження. Магнітні джерела вібрації пов'язані з ексцентриситетом повітряного зазору, несинусоїдальним розподілом МДС обмотки і цілим рядом інших причин [6]. До механічних факторів відносяться дисбаланс ротора і перекиє. Серед вібраційних сил механічного походження слід зазначити сили, обумовлені підшипниками кочення.

Одним з основних джерел вібрації механічного походження є залишкова невірноваженість частин електричної машини. Невірноваженість ротора порушує значні вібрації. При терті щіток та колектора, або контактних кілець в електричній машині збуджуються вібрації, що мають високочастотні складові. Сили аеродинамічного походження викликають вібрації, рівень яких залежить від стану лопаток вентилятора, правильності розташування вентиляторів щодо деталей і вузлів електричної машини.

Завдання зниження вібрації від залишкової невірноваженості ротора в даний час можна вважати практично вирішеним. Якість сучасного устаткування для динамічного та статичного балансування дозволяє виконати це завдання із заданим ступенем точності, що є умовою для

отримання вібраційних характеристик, які задовольняють заданим вимогам.

До механічних причин вібрації слід віднести і пошкодження кріплення мотор-вентилятора. На електровозі ДЕ1 використовуються амортизатори АКСС-300М і одностороння схема установки цих амортизаторів на жорстку платформу (рис. 3, а).

Статичні і динамічні характеристики амортизатора АКСС-300 наведені в табл. 1. З наведених характеристик видно, що статична та особливо динамічна жорсткості в напрямку руху електровоза (вісь *Y*) значно менші жорсткості в напрямку осі *X*. Така невірноваженість призводить до впливу на вібрації електричних машин горизонтальних сил, що виникають під час руху поїзда.

Одним з пояснень перевищення горизонтальних вібрацій над вертикальними можуть бути і пошкодження кріплення мотор-вентиляторів. В ході фактичного огляду кріплення мотор-вентиляторів на електровозах було виявлено ряд пошкоджень:

- пошкодження болтового з'єднання кріплення лап амортизатора мотор-вентилятора до жорсткої опори;
- пошкодження амортизатора АКСС-300М.

Таблиця 1

**Статичні і динамічні (вібраційні) жорсткості амортизатора АКСС-300**

| Номінальна статична маса в напрямку осей, кг |     |    | Статичні жорсткості, які відповідають деформаціям в напрямку осей, Н/см |       |      | Динамічні жорсткості, які відповідають деформаціям в напрямку осей, Н/см |       |       |
|--|-----|----|---|-------|------|--|-------|-------|
| X  | Y   | Z  | X   | Y     | Z    | X  | Y     | Z     |
| 300  | 210 | 90 | 52000   | 32000 | 8000 | 110000   | 30000 | 18000 |

Виходячи з вище викладеного, пропонується удосконалити схему встановлення амортизаторів типу АКСС, що в свою чергу дасть можливість збалансувати вібрації по осях за рахунок вирівнювання жорсткості кріплення по осях.

Порівняння діагностичної інформації щодо вібрації електричних машин дозволяє лише за рахунок відносного порівняння виявити електричні машини, які потребують проведення додаткового технічного обслуговування та ремонту. Також таким чином можна виявити електричні машини, технічні параметри яких знаходяться у встановлених межах. Для таких електричних машин періодичність проведення

відповідних видів ТО та ТР може бути скорегована в сторону збільшення.

Використання такого підходу є досить приблизним і не дозволяє в першу чергу прогнозувати зміну технічного стану вузлів електровоза, але його реалізація є першим кроком при переході до системи ремонту рухомого складу з урахуванням його технічного стану. Як показує аналіз накопиченої діагностичної інформації в системі діагностування електровозів ДЕ1 «Магістраль ДЕ1м», необхідне удосконалення організації роботи цієї системи в напрямку визначення періодичності запису інформації в модулі пам'яті та корегування обсягу інформації, яка зберігається.

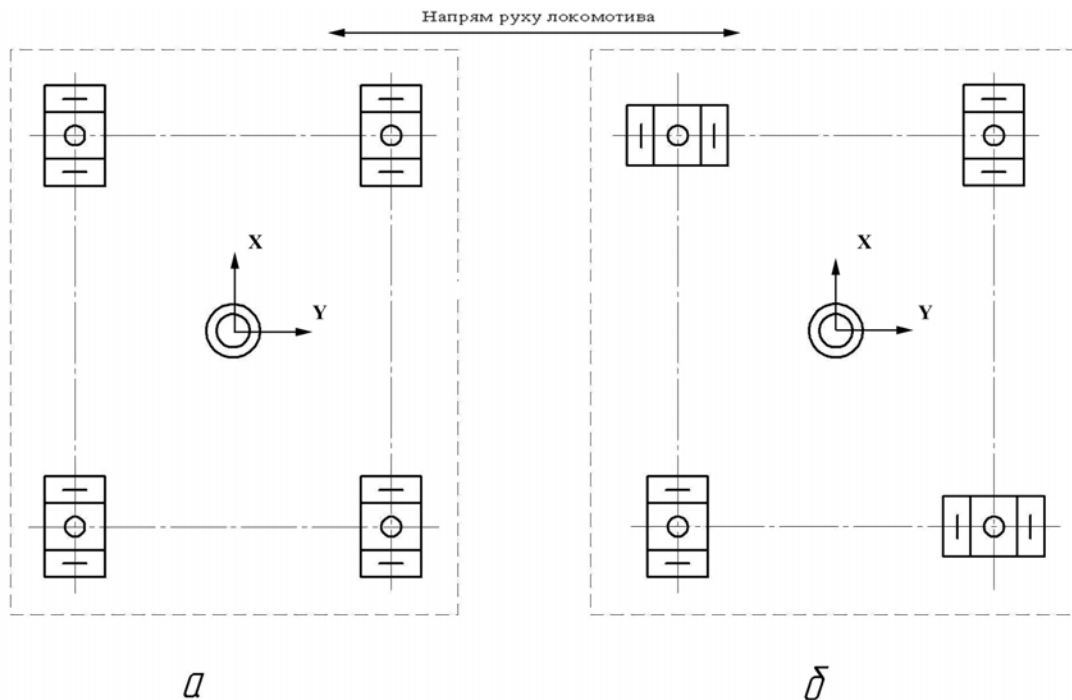


Рис. 3. Схеми розташування амортизаторів: *a* – існуюча; *b* – запропонована

Основними пропозиціями по вдосконаленню роботи системи діагностування «Магістраль ДЕ1м» є:

1. Доповнення системи реєстрацією пробігу (напрацювання) електровоза, як за весь період експлуатації, так і пробіг на момент виникнення відмови. Така пропозиція пояснюється тим, що вся інформація про надійність вузлів рухомого складу аналізується в залежності від напрацювання. В існуючій системі діагностування фіксується астрономічний час і дата відмови.

2. У зв'язку з великим обсягом інформації, що фіксується системою, необхідно оптимізувати алгоритми її роботи. Визначити раціональну періодичність опитування датчиків, удосконалити алгоритми запису даних до енергонезалежної пам'яті, необхідний обсяг пам'яті.

3. Розробити технологію зчитування інформації в локомотивних депо та технологію її подальшого аналізу.

Удосконалення системи діагностування «Магістраль ДЕ1м» дозволить виконати роботи з підвищення контролепридатності вузлів та агрегатів електровоза та уточнити перелік вузлів, що діагностуються. Інформація, отримана від системи діагностування, повинна використовуватись для розрахунку системи утримання електровозів з урахуванням їх фактичного технічного стану.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Михлик, В. М. Прогнозирование технического состояния машин [Текст] / В. М. Михлик. – М.: Колос, 1976. – 288 с.
2. Ченців, М. О. Загальний вид моделі прогнозування терміну відмови деталей машин на стадії експлуатації [Текст] / М. О. Ченців, В. М. Ручко // Межд. сб. науч. тр.: Прогресивные технологии машиностроения. – Донецк: ДонГТУ, 1998. – № 5. – С. 121-124.
3. Болотин, В. В. Ресурс машин и конструкций [Текст] / В. В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1990. – 447 с.
4. Галкин, В. Г. Надежность тягового подвижного состава [Текст]: учебн. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. Г. Галкин, В. П. Парамзин, В. А. Четвергов – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.
5. Фалидин, А. П. Розрахунок показників надійності рухомого складу [Текст] / А. П. Фалидин, П. О. Харламов, Н. Д. Чигирин // Тр. 7 Міжн. наук.-практ. конф. – Т. 6. – Д.: Наука і освіта, 2004. – С. 76-78.
6. Бакшиш, А. К. Исследование вибраций электрических машин статистическими методами [Текст] / А. К. Бакшиш, К. М. Рагульскис, Ю. К. Томанюшас // Науч. тр. вузов ЛитССР. – Рига: Вибротехника. – 1972. – Т. 16, № 3. – С. 43-44.

Надійшла до редколегії 25.12.2008.

## МОТОР-КОМПРЕССОР ЭПС КАК ОБЪЕКТ РЕГУЛИРОВАНИЯ

У статті проводиться аналіз роботи мотор-компресора в перехідних режимах, що значною мірою впливає на його надійність та визначає готовність локомотива до виконання його функцій.

В статье проводится анализ работы мотор-компрессора в переходных режимах, что в значительной степени влияет на его надежность и определяет готовность локомотива к выполнению его функций.

In the article the analysis of work of motor-compressor is conducted in transient modes, which considerably influences on its reliability and determines the readiness of a locomotive to function.

Со времени изобретения в 30-х годах прошлого века винтового компрессора трудно назвать любую из последующих новинок революцией в компрессоростроении. Но в связи с особенностями на железнодорожном транспорте Украины и СНГ используются поршневые компрессоры.

При выборе компрессорного оборудования на предприятиях учитывается его энергопотребление, но сейчас этот показатель аналогичных по своим параметрам винтовых и поршневых компрессоров отличается незначительно. Преимуществом винтового компрессора является более высокий КПД, достигаемый за счет уменьшения трущихся деталей в конструкции и за счет отсутствия механических преобразователей вращательного движения электродвигателя в возвратно-поступательное рабочего органа (поршня).

Однако, обычные поршневые компрессоры из-за простоты технической реализации являются наиболее распространенными среди установленных компрессоров с производительностью до 100 м<sup>3</sup>/мин. По этой же причине поршневые компрессоры до сих пор имеют широкое распространение, в том числе и на железнодорожном транспорте. Основными достоинствами поршневых компрессоров являются их заметная дешевизна по сравнению с компрессорами других типов, относительная простота производства, высокая ремонтпригодность.

Поршневые компрессоры по своим характеристикам и ценовым параметрам предпочтительнее компрессоров других типов в следующих случаях:

1. Большие перепады в потреблении сжатого воздуха. Промышленные поршневые компрессоры одинаково хорошо работают в повторно-кратковременном режиме, они намного экономичнее, чем винтовые компрессоры.

2. Неблагоприятные условия эксплуатации компрессора. При неблагоприятных условиях эксплуатации, например, при больших колебаниях температуры, поршневые компрессоры обеспечивают более длительный срок службы и требуют меньших затрат на обслуживание.

3. Требуется относительно малая производительность (до 100 м<sup>3</sup>/мин).

Но необходимость проведения частого технического обслуживания и ремонта является и основным недостатком поршневых компрессоров, так как требует полной его разборки для дефектации и замены изношенных деталей, стоимость которого составляет 10...15 % от стоимости нового компрессора.

При выборе компрессора нужно учесть, что стоимость его эксплуатации в течение всего срока службы в несколько раз превосходит первоначальные капитальные затраты. Это определяет необходимость анализа режимов работы мотор-компрессоров, которые определяют их надежность.

Надежность мотор-компрессора в значительной степени определяет готовность локомотива к выполнению его функции. Поэтому оценка факторов, определяющих работоспособность мотор-компрессора, является важной задачей проектирования, изготовления и эксплуатации тягового подвижного состава.

На электроподвижном составе постоянного тока наибольшее распространение имеют мотор-компрессоры с электродвигателями постоянного тока последовательного возбуждения. Напряжение в контактной сети может изменяться в пределах от 2200 В до 400 В, причём весьма часто имеет место скачкообразное изменение напряжения в пределах  $\pm 500$  В.

Эти обстоятельства определяют необходимость анализа работы мотор-компрессора в переходных режимах. Компрессор должен иметь необходимую производительность при всех

значениях напряжения контактной сети. Двигатель компрессора должен устойчиво работать при скачках питающего напряжения.

Использование метода ослабления возбуждения при низком напряжении контактной сети для сохранения производительности компрессора не может быть признано рациональным, т.к. требует увеличение тока обмотки якоря, увеличивает нагрузку на коллектор и щеточный аппарат. Кроме того, применение метода шунтирования главных полюсов электродвигателя резисторами создает повышенную опасность переброса по коллектору при скачкообразном повышении напряжения в контактной сети и требует подбора индуктивных шунтов.

Перечисленные факторы определяют необходимость анализа характера переходных процессов в цепях привода компрессора с учётом электрических и механических характеристик узлов системы. Этот анализ возможен путём рассмотрения привода компрессора как системы регулирования на основе составления передаточных функций элементов и системы в целом.

Функциональная схема привода компрессора показана на рис. 1.

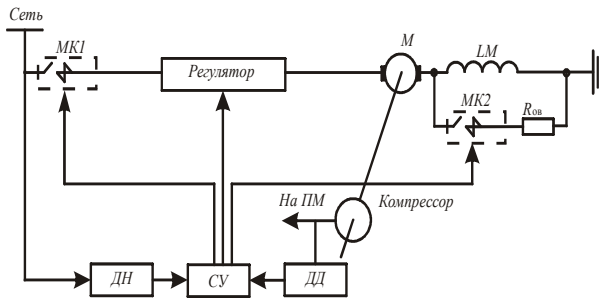


Рис. 1. Функциональная схема привода компрессора:

- КМ1 – включающий контактор;
- КМ2 – контактор ослабления возбуждения;
- ДН – датчик напряжения контактной сети;
- ДД – датчик давления воздуха питающей магистрали;
- СУ – система управления;
- ПМ – пневматическая магистраль;
- R<sub>ов</sub> – резистор ослабления возбуждения

Регулятор может быть выполнен в виде демпферных резисторов с контакторами (ДР), изменяющими величину сопротивления ДР, либо в виде полупроводникового широтно-импульсного регулятора (ШИР) напряжения.

Система управления обеспечивает формирование команды на регулятор и на МК2 в зависимости от сигналов ДН и ДД.

Таким образом, электропривод компрессора представляет собой систему регулирования,

содержащую электрический, электромеханический и механический элементы.

Динамика привода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения описывается системой уравнений [1]:

$$U_{я} = k\Phi\omega + i_{я}R_{я} + L \frac{di_{я}}{dt}; \quad (1)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = k\Phi i - M_c; \quad (2)$$

$$k\Phi = f(i_{я}). \quad (3)$$

где  $i_{я}$  – ток якоря;

$R_{я}$  – суммарное сопротивление цепи якоря;

$L$  – суммарная индуктивность цепи якоря;

$U_{я}$  – напряжение на якорной цепи;

$J$  – приведённый к валу якоря момент инерции механических частей привода;

$\omega$  – частота вращения якоря;

$k$  – постоянная двигателя;

$\Phi$  – магнитный поток возбуждения;

$M_c$  – статический момент на валу якоря.

Переходя к операторной форме, получим передаточные функции привода.

По току якоря:  $W_I(p) = \frac{k_d}{T_3 p + 1}, \quad (4)$

где  $k_d = \frac{1}{R_{я}}$  – коэффициент передачи;

$T_3$  – электрическая постоянная времени системы.

$p$  – оператор Лапласа.

По частоте вращения:  $W_{\omega}(p) = \frac{1}{Jp}. \quad (5)$

Структурная схема системы представлена на рис. 2.

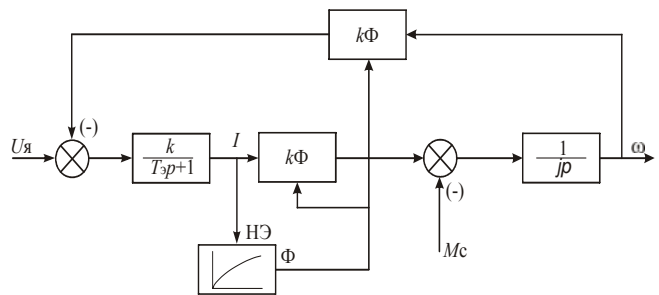


Рис. 2. Структурная схема ДПТ ПВ

На схеме НЭ – нелинейный элемент, характеристика которого определяется зависимостью  $\Phi(i_{я})$ .

Решение системы уравнений возможно производить методом малых приращений, при которых зависимость  $\Delta\Phi(\Delta i_{я})$  может быть принята линейной (рис. 3).

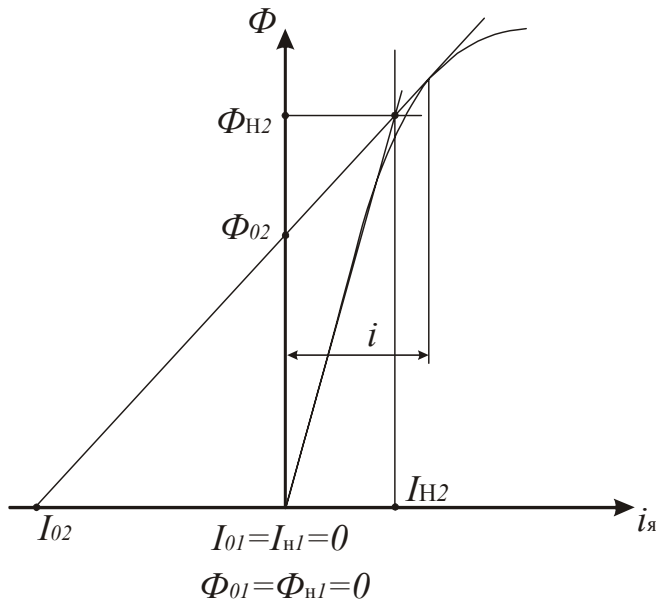


Рис. 3. Кривая намагничивания  $\Phi(i_{я})$

Задавшись малым приращением потока возбуждения  $\Delta\Phi$  и пренебрегая членами высшего порядка малости, получаем передаточные функции системы, описывающие динамику системы «в малом». При этом зависимость  $\Phi(i_{я})$  представляется в виде отрезков прямых, имеющие разные углы наклона к оси абсцисс, определяемые отклонением:

$$\Psi_j = \frac{\Phi_{нj}}{I_{0j} + I_{нj}} = \frac{\Phi_{0j}}{I_{0j}}; \quad (6)$$

$$\Phi = \Psi_j (I_{0j} + i). \quad (7)$$

Значение  $I_{0j}$  находится для данного двигателя по зависимости  $E(\omega)$ , где  $E$  – противо-электродвижущая сила. При выбранных значениях  $\Delta\Phi_j$  определяются значения  $\Delta I_j$  и остальные параметры линеаризации ( $I_{нj}; I_{0j}; I_j; \Phi_{нj}; \Phi_{0j}; \Phi_j$ ). При этом  $I_{01} = I_{н1} = 0$ ;  $\Phi_{01} = \Phi_{н1} = 0$ .

В результате может быть получена электрическая постоянная времени для передаточных функций системы «в малом»:

$$T_{эj} = \frac{L_j}{R_{я} + \Psi_j \omega}. \quad (8)$$

Для поршневого компрессора необходимо учесть тот факт, что момент на валу якоря двигателя изменяется в зависимости от положения поршня и штока, которое определяет величину силы, действующей вдоль шатуна.

Величина этой силы может определяться по методике, изложенной в [2].

На основе соотношений (1 – 8) был исследован мотор-компрессор в составе двигателя ДТ-409 с параметрами:

число пар полюсов  $p - 2$ ;

номинальное напряжение питания  $U_{ном}$ , В – 1500;

номинальный ток якорной цепи  $I_{ном}$ , А – 4,65;

номинальная скорость вращения вала двигателя  $\omega_{ном}$ , 1/с – 106,8;

активное сопротивление цепи обмоток возбуждения  $R_{об}$ , Ом – 12,1;

активное сопротивление якорной цепи  $R_{я}$ , Ом – 7,66;

демпферное сопротивление в якорной цепи  $R_{д}$ , Ом – 14,

и компрессора ЭК-7Б с параметрами:

диаметр поршня  $D_{п}$ , м – 0,112;

расстояние между центрами отверстия шатунных головок  $L$ , м – 0,208;

вес поршня со штоком (2 цилиндра)  $G$ , кг – 8,84;

ход поршня  $R_{хп}$ , м – 0,14.

На рис. 4 и 5 приведены результаты моделирования переходных процессов мотор-компрессора при провале питающего напряжения от 1700 В до 1300 В и его набросе от 1300 В до 1700 В.

Данные моделирования показывают возможность их использования для оценки реальных величин кратности пусковых токов, времени пуска.

Таким образом, предложенный метод линеаризации кривой намагничивания позволяет получить достаточно простые зависимости и реализовать математическую модель, позволяющую исследовать различные режимы работы мотор-компрессора, оптимизировать величины демпферных резисторов в цепи якоря двигателя и выбрать параметры пусковых защитных устройств.

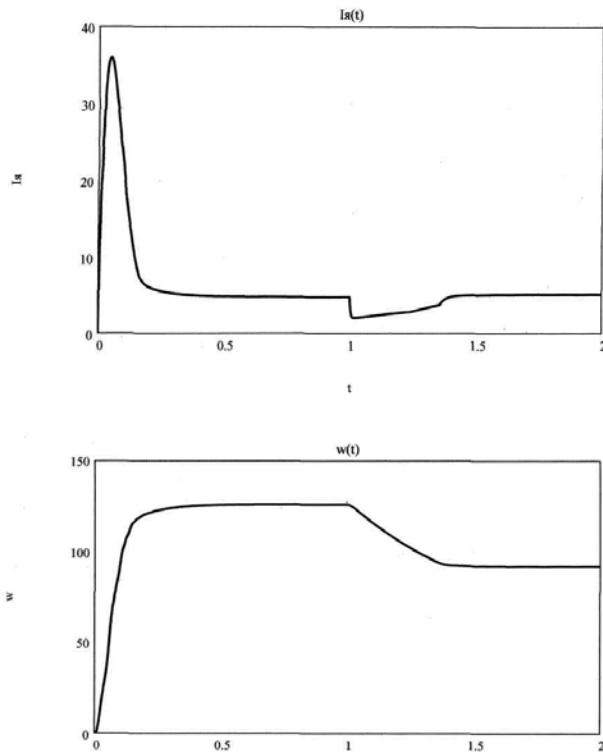


Рис. 4. Переходные процессы при скачкообразном провале напряжения:  
а – по току, б – по частоте вращения

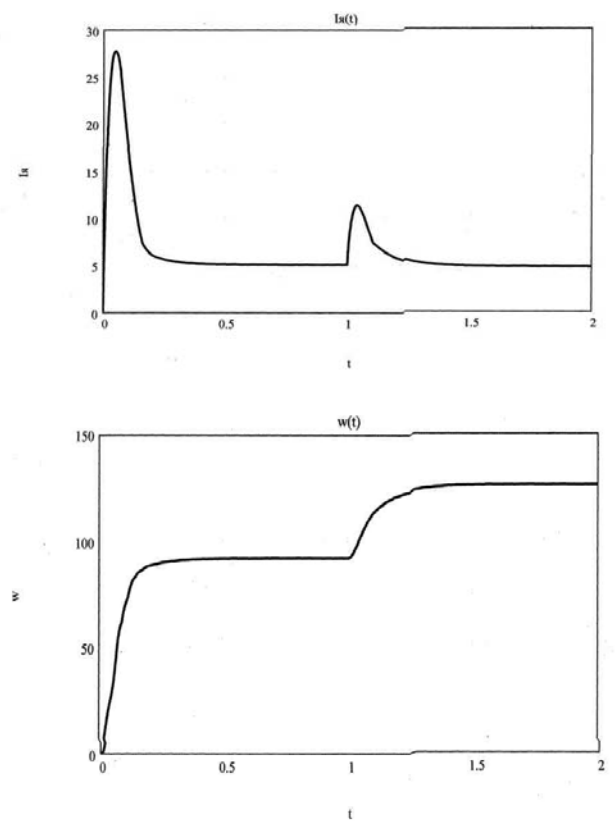


Рис. 5. Переходные процессы при скачкообразном увеличении напряжения:  
а – по току, б – по частоте вращения

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чорний, О. П. Моделювання електромеханічних систем [Текст]: підручник / О. П. Чорний. – Кременчук, 2001.
2. Милер, Е. В. Электрооборудование и автоматизация общепромышленных механизмов [Текст] / Е. В. Милер. – М.: Высш. шк., 1965.

Поступила в редколлегию 22.09.2008.

## **СХЕМА КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОГО АГРЕГАТА КАК МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ АСИНХРОННОГО ГИБКОГО ПОТОКА РЕМОНТА ВАГОНОВ**

Запропоновано варіант компоновки підприємства, яке використовує асинхронний гнучкий потік ремонту вагонів. Розглянуто метод формалізації процесу функціонування технологічних модулів асинхронного гнучкого потоку ремонту вагонів. В якості математичної схеми функціонування технологічних модулів запропонована загальна схема шматочно-лінійного агрегату. Ця математична схема може бути в подальшому покладена в основу розробки різних імітаційних моделей, використовуваних при проектуванні та дослідженні асинхронних гнучких потоків ремонту вагонів.

Предложен вариант компоновки предприятия, использующего асинхронный гибкий поток ремонта вагонов. Рассмотрен метод формализации процесса функционирования технологических модулей асинхронного гибкого потока ремонта вагонов. В качестве математической схемы функционирования технологических модулей предложена общая схема кусочно-линейного агрегата. Данная математическая схема может быть в дальнейшем положена в основу разработки различных имитационных моделей, используемых при проектировании и исследовании асинхронных гибких потоков ремонта вагонов.

A variant of configuration of an enterprise using the asynchronous flexible stream of repair of wagons is suggested. A method of formalization of a process of functioning the technologic modules of asynchronous flexible stream of repair of wagons is considered. A general scheme of segment-linear aggregate as a mathematical scheme of functioning the technologic modules is proposed. The given mathematical scheme can be further a basis for development of various imitation models used in design and study of the asynchronous flexible stream of repair of wagons.

Основная проблема, возникающая при организации поточно-конвейерных линий (ПКЛ) для ремонта вагонов в существующих депо, связана с соблюдением жёсткого такта. Для этого необходимо, чтобы выполнение ремонтных операций на всех позициях оканчивалось одновременно. Поэтому требуется точная синхронизация времени выполнения ремонтных работ между отдельными позициями линии.

Вместе с тем вагоноремонтная среда, даже при одном и том же типе ремонтируемых вагонов, весьма разнообразна. Трудоёмкости ремонтируемых вагонов варьируют в очень широких пределах. Это сказывается на работе существующих «жёстких» ПКЛ, которые очень чувствительны к любому нарушению принятого такта линии. Как показывает многочисленный опыт, добиться чёткой синхронизации работ из-за огромного количества случайных факторов, присущих ремонтной среде и влияющих на трудоёмкости ремонта вагонов, не представляется возможным. Это приводит к тому, что на одних позициях работы ещё не закончены, а на других – рабочие и оборудование уже простаивают. Поэтому многие вагонные депо возвращаются к стационарному методу ремонта вагонов.

Тем не менее, подчеркнём, что альтернативы поточному методу нет. Поточный метод – это не просто одна из форм организации технологического процесса, а закономерный результат эволюции производственных систем. Он является более производительным, т.к. способствует разделению труда и широкому внедрению средств механизации и автоматизации производственных процессов.

Известно, что чем выше уровень системности, тем система более стабильна и лучше приспособлена к выполнению возложенных на неё функций [1].

Согласно принципу разнообразия [2], противостоят разнообразию среды, которую ремонтируют, может только разнообразие среды, которая ремонтирует. Одним из таких решений для среды, которая ремонтирует, является асинхронный гибкий поток.

Асинхронный гибкий поток ремонта вагонов (АГПРВ) представляет собой следующий, более эффективный этап в совершенствовании и развитии поточного ремонтного производства, обладающий громадными потенциальными возможностями. При его создании требуется использование более точных методов проектирования и строительства. АГПРВ может быть

получен в результате трансформации «классических» поточных линий за счёт изменения их структуры и связей между элементами. АГПРВ имеет более высокий уровень системности по сравнению с существующими поточно-конвейерными линиями (ПКЛ).

До настоящего времени при проектировании вагонных депо основные параметры ПКЛ рассчитывались при помощи небольшого количества простых «классических» формул, которые совершенно не учитывали вероятностную природу ремонтного производства.

Сейчас же единственным методом исследования и синтеза поточного вагоноремонтного производства, как сложной организационно-технической системы, на стадии его проектирования, является имитационное моделирование. Качество результатов имитационного моделирования напрямую зависит от адекватности имитационной модели исследуемому процессу. Поэтому вопросам разработки и совершенствования имитационных моделей следует уделять самое пристальное внимание.

Асинхронный поток с гибкой системой транспортировки вагонов представляет собой следующий уровень эволюции вагоноремонтного поточного производства, требующий ещё более совершенных методов его проектирования, исследования и управления им.

Известно, что каждая сложная система состоит из отдельных элементов, взаимодействующих между собой определённым образом [1]. В качестве элементов поточных линий для ремонта вагонов (с жёсткими или полужёсткими связями) обычно принято выбирать ремонтные позиции.

При размещении элементов поточной линии иным образом и изменении связей между ними изменяется и сама структура системы, что влечёт за собой появление новых свойств системы [3 – 5]. Эти свойства открывают новые возможности, которые проявляются в лучшей адаптации к ремонтной среде по сравнению с «классическими» поточными линиями.

АГПРВ, как и любой поток, состоит из ряда производственных участков (фаз), на каждом из которых, согласно технологическому процессу, выполняются определённые комплексы операций. Но, в отличие от обычных ПКЛ, при АГПРВ используются некоторые вспомогательные элементы, которые самым непосредственным образом способствуют повышению гибкости системы и увеличению её надёжности, что сказывается на её производительности.

Представим каждый элемент системы в виде соответствующего технологического модуля.

Все технологические модули, которые входят в структуру ремонтного потока, по функциональному назначению можно разделить на три группы. Первая группа – это ремонтные модули (РМ), которые непосредственно осуществляют ремонт вагонов. Вторая группа – это буферные модули или модули для ожидания (ОМ), которые служат для выравнивания неравномерности движения объектов ремонта между РМ.

Третья группа – это транспортные модули (ТМ), которые служат для транспортировки объектов ремонта между остальными модулями.

На рис. 1 представлен один из возможных вариантов схематичной компоновки предприятия, использующего асинхронный гибкий поток ремонта вагонов. При этом варианте АГПРВ размещён в трёх параллельных пролётах. В отличие от обычных вагонных депо, в которых объекты ремонта расположены вдоль пролётов цеха, здесь вагоны расположены поперёк цеха. В крайних пролётах шириной по 24 м расположены РМ и ОМ. В среднем пролёте шириной 18 м расположены ТМ. Такое компактное расположение позволяет ТМ одновременно обслуживать модули, находящиеся в разных пролётах. Стрелками показано направление входа и выхода вагонов из цеха.

Под ремонтным модулем (РМ) будем понимать обособленный производственный комплекс, занимающий часть территории специализированного участка, необходимой для размещения одного вагона, оснащённый специальным технологическим оборудованием, укомплектованный производственным персоналом и предназначенный для выполнения определённого перечня технологических операций. Ремонтные модули отдельных производственных участков различаются между собой комплексами, выполняемых технологических операций, составом оборудования и персонала. Ремонтные модули одного участка полностью идентичны между собой.

Под модулем для ожидания (ОМ) будем понимать специальное место, предназначенное для временного размещения одного вагона. Эти модули являются «запасным вариантом» в случае «сбоя» технологического процесса. Они выступают как бы в роли буфера, смягчающего неравномерное движение объектов ремонта между участками, вследствие значительного разброса объёмов ремонтных работ. Например, в случае, если один из РМ  $j$ -й фазы закончил обслуживание требования и необходимо освободить место для нового требования, стоящего

в очереди, а все РМ следующей ( $j+1$ )-й фазы заняты, то в этом случае требование, обслуженное в  $j$ -й фазе, может поступить в свободный ОМ. В отличие от РМ, ОМ не оснащён никаким технологическим оборудованием, не укомплектован никаким производственным персоналом и никакие работы в нём не предусмотрены.

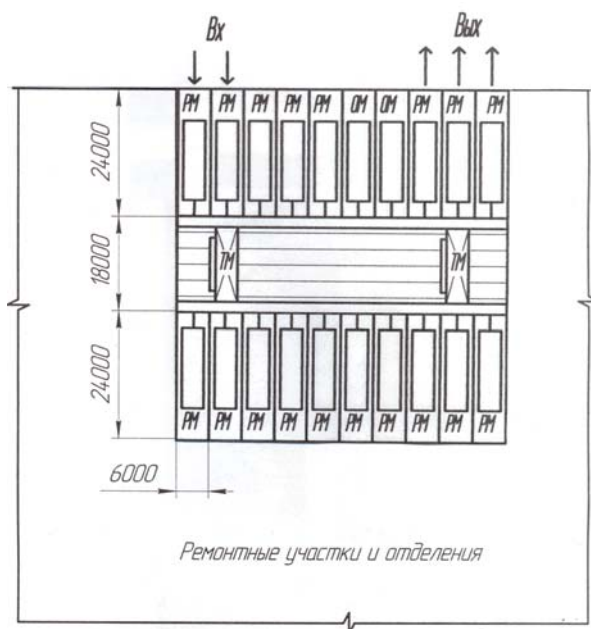


Рис. 1. Схематичный вариант компоновки предприятия, использующего асинхронный гибкий поток ремонта вагонов

Под транспортным модулем (ТМ) понимается мобильное транспортное средство (транспортная тележка), предназначенное для перемещения одного вагона между РМ и ОМ.

Все эти модули одновременно участвуют в технологическом процессе. В любом модуле может находиться только один вагон. Если пользоваться терминологией теории массового обслуживания [6], то по сути дела, каждый ремонтный модуль является одноканальной системой массового обслуживания. Весь же асинхронный гибкий поток ремонта вагонов представляет собой многофазную многоканальную систему массового обслуживания. В процессе обслуживания каждое требование (вагон) проходит последовательно через одни и те же ремонтные участки (фазы), но через разные РМ (каналы).

Рассмотрим процесс функционирования АГПРВ при помощи теории агрегатов и представим каждый модуль в виде кусочно-линейного агрегата (КЛА) [7 – 9]. В работах [10, 11] автор уже ранее обращался к этой теме.

КЛА является динамической дискретно-непрерывной системой и постоянно участвует в определённом процессе. Динамика КЛА, в общем случае, определяется скачками состояний в моменты поступления входных сигналов и внутренними изменениями состояний самого КЛА. Моменты достижения системой граничного состояния будем называть критическими моментами времени, так как в эти моменты времени система переходит из одного состояния в другое (происходит скачок) и будем их обозначать  $t^*$ .

Для элементов, входящих в состав АГПРВ, из общей схемы агрегата может быть выделена схема кусочно-линейного агрегата (КЛА), представляющая собой вариант динамической системы с дискретным казуальным вмешательством.

Дадим более подробное описание КЛА. Под КЛА будем понимать информационный преобразователь, который имеет вход и выход. КЛА функционирует во времени  $t \in T$ . На вход он получает сигналы  $x$  со значениями из некоторого множества  $X$ ,  $x \in X$ . С выхода посылает сигналы  $y$ ,  $y \in Y$ . В определённые моменты времени  $t$  находится в некотором состоянии  $z$  из некоторого множества  $Z$ ,  $z \in Z$ .

Все события, которые воспринимает КЛА, можно разделить на две группы – внешние и внутренние. Внешние события заключаются в получении входящего сигнала, а внутренние – в достижении траекториями КЛА определённого подмножества состояний  $Z^* \in Z$ . Таким образом, динамике КЛА характерен «событийный» принцип функционирования. Все сигналы происходят в дискретные моменты времени. В промежутке между сигналами КЛА находится в одном из возможных состояний  $z \in Z$ . Состояние КЛА в некоторый момент времени  $t \in T$  будем обозначать  $z(t) \in Z$ . При этом будем считать, что переход КЛА из одного состояния, например,  $z_1(t)$  в состояние, например,  $z_2(t)$  происходит мгновенно, т.е. скачкообразно. Время скачка  $t^*$  определяется параметрами входных сигналов  $x(t) \in X$  и параметрами внутренних процессов, происходящих в самом КЛА.

Всё множество возможных состояний КЛА является фиксированным набором отдельных непересекающихся подмножеств  $Z_v$ , где  $Z_v$  – многогранник в  $v$ -мерном евклидовом пространстве. Состояние КЛА  $z(t)$  условно можно изобразить в виде точки в многомерном пространстве, которая имеет множество координат. Изменение любой координаты моментально

изменяет положение точки и, тем самым, состояние всей системы.

Состояние КЛА будем рассматривать в виде  $z = (v, z_v)$ , где  $v$  – дискретная составляющая состояния, а  $z_v$  – вектор вспомогательных координат (точка многогранника  $Z_v$  с координатами  $z_{v1}, z_{v2}, \dots, z_{vn}$ ), т.е.  $z_v = (z_{v1}, z_{v2}, \dots, z_{vn})$ .

Схема функционирования РМ как КЛА представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема функционирования РМ как кусочно-линейного агрегата

Перед каждым РМ  $j$ -й фазы имеется очередь, состоящая из требований, нуждающихся в обслуживании. Специфика данного подхода состоит в том, что не сами требования посылают сигналы, а их посылают соответствующие технологические модули, в которых находятся требования, уже прошедшие обслуживание в предыдущей  $(j - 1)$ -й фазе. Кроме того, как будет показано в дальнейшем, сигналы от всех требований воспринимают только ТМ, а затем сами они посылают сигналы, которые уже непосредственно воспринимают РМ и ОМ.

Когда РМ свободен, он подаёт выходной  $y_1(t)$ , свидетельствующий о том, что он готов принять к обслуживанию новое требование.

Входящий сигнал  $x(t)$  поступает в КЛА в момент прибытия очередного требования на обслуживание. В этот же момент КЛА посылает выходной сигнал  $y_2(t)$ , говорящий о том, что РМ занят. Продолжительность обслуживания требования  $\tau_{обсл}$  является случайной величиной с заданным законом распределения  $f(\tau)$ . В формуле состояния КЛА она представляет дополнительную координату  $z_v$  – время, оставшееся до окончания обслуживания. В тот момент, когда требование будет обслужено, КЛА подаёт выходной сигнал  $y_3(t)$ , оповещающий о том, что требование уже обслужено, но канал ещё занят. В этот момент дискретный параметр  $v$  не изменяется, так как требование ещё не покинуло систему. Только после того, как требование покинет агрегат, дискретный параметр уменьшается на единицу  $v = v - 1$ .

Схема функционирования ОМ отличается от РМ практически только тем, что он не выдаёт сигнал  $y_3(t)$  и  $\tau_{обсл} = 0$ .

Схема функционирования ОМ как КЛА представлена на рис. 3.

В ОМ требование поступает в том случае, если РМ  $j$ -й фазы закончил обслуживание тре-

бования, в очереди к нему уже стоит новое требование, а РМ следующей  $(j + 1)$ -й фазы ещё не освободились. Поэтому из этого РМ  $j$ -й фазы обслуженное требование поступает в ОМ для кратковременного ожидания, пока не освободится РМ  $(j + 1)$ -й фазы, а на освободившееся место поступает требование, прошедшее обслуживание в РМ  $(j - 1)$ -й фазы. Каждый ОМ может поочерёдно принимать для «обслуживания» требования, находящиеся в любой стадии технологического процесса. Поступление требований в ОМ является вынужденным, а не обязательным условием.

Состояние ОМ определяется параметром  $v$ , который принимает два значения:  $v = 1$ , когда в ОМ находится требование, и  $v = 0$ , когда требования в нём нет (канал свободен). ОМ воспринимает входные сигналы и посылает выходные сигналы. Входной сигнал он получает в момент поступления в него требования. В этот же момент он посылает выходной сигнал о том, что он занят. Можно считать, что продолжительность обслуживания требования в ОМ равна нулю. После того, как «обслуживание» требования закончено, оно остаётся в ОМ до тех пор, пока не освободится необходимый РМ.



Рис. 3. Схема функционирования ОМ как кусочно-линейного агрегата

Ещё раз подчеркнём, что ни РМ, ни ОМ не определяют, какое из требований будет поступать к ним на обслуживание. Эту функцию целиком выполняет ТМ на основе поступающих к нему сигналов от РМ и ОМ. В случае, когда сигнал одного модуля совпадает в технологическом аспекте с сигналом другого модуля, то ТР принимает требование на обслуживание. Обслуживание состоит в перемещении требования либо из РМ в РМ, либо из РМ в ОМ, либо из ОМ в РМ.

Одним словом, ТМ, формализованный в виде КЛА, должен из всего множества, поступающих на его вход сигналов, отыскать некую пару сигналов от модулей, также представленных в виде КЛА, между которыми выполнялось бы определённое условие.

В первую очередь. ТМ должен реагировать на соответствующие сигналы пары  $PM_j^+ - PM_{(j+1)}^-$ , во вторую – на сигналы пары  $OM_j^+ - PM_{(j+1)}^-$ , в третью – на сигналы пары

$PM_j^+ - OM^-$ . Здесь:  $PM_j^+$  – сигнал от ремонтного модуля  $j$ -го участка о том, что он закончил обслуживание требования;  $PM_{(j+1)}^-$  – сигнал от ремонтного модуля  $(j + 1)$ -го участка о том, что он свободен и готов приступить к обслуживанию нового требования;  $OM_j^+$  – сигнал от модуля для ожидания, в котором находится требование, которое было обслужено на  $j$ -м участке;  $OM^-$  – сигнал от модуля для ожидания о том, что он свободен. В общем случае, в момент времени, когда требование покидает модуль, сигнал «+» меняется на сигнал «-». Когда требование поступает в модуль, сигнал «-» меняется на сигнал «+».

Схема функционирования ТМ как КЛА представлена на рис. 4.

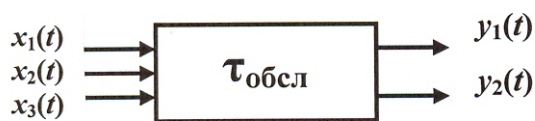


Рис. 4. Схема функционирования ТМ как кусочно-линейного агрегата

На вход ТМ, представленного в виде КЛА, поступает общий поток сигналов  $x(t)$  от других технологических модулей. Среди этого общего потока можно выделить три самостоятельных потока. Так, поток входящих сигналов  $x_1(t)$  сообщает о свободных модулях, поток  $x_2(t)$  – о занятых модулях и поток  $x_3(t)$  – о модулях, окончивших обслуживание требований. На основании этих сигналов ТМ принимает решение, от какого модуля принять требование и, на какой модуль его передать. В момент принятия решения КЛА посылает выходной сигнал  $y_2(t)$ , оповещающий о том, что ТМ занят. Этот сигнал нужен для другого ТМ. Продолжительность обслуживания требования  $\tau_{обсл}$  является случайной величиной с заданным законом распределения  $f(\tau)$ . После того, как требование будет обслужено, КЛА посылает выходной сигнал  $y_1(t)$ , свидетельствующий о том, что он свободен. После этого всё повторяется.

Таким образом, мы можем сделать вывод, что схема кусочно-линейного агрегата адекватно отражает суть процессов, которые могут происходить при функционировании перспективного вагоноремонтного производства и может найти широкое применение при исследовании с помощью имитационного моделирования асинхронных гибких потоков ремонта вагонов ещё на стадии их проектирования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ [Текст] / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.
2. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику [Текст] / У. Р. Эшби. – М.: Изд-во ин. лит., 1959. – 432 с.
3. Мямлин, В. В. Использование ЭВМ для анализа функционирования различных поточных линий для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Железнодорожный транспорт. Серия «Вагоны и вагонное хозяйство». Ремонт вагонов. – Вып. 1. – М.: ОИ/ЦНИИ ТЭИ МПС, 1989. – С. 1-11.
4. Мямлин, В. В. Совершенствование поточного метода ремонта вагонов за счёт гибкости транспортной системы между технологическими модулями [Текст] / В. В. Мямлин // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 4. – С. 15-17.
5. Мямлин, В. В. Повышение эффективности поточного метода ремонта вагонов путём использования специальных архитектурно-технологических решений, обеспечивающих гибкую связь между позициями [Текст] / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития вагоностроения: Материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. (Брянск, 09.10-10.10.2008). – Брянск, 2008. – С. 76-78.
6. Новиков, О. А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания [Текст] / О. А. Новиков, С. И. Петухов. – М.: Советское радио, 1969. – 400 с.
7. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
8. Бусленко, Н. П. Лекции по теории сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко, В. В. Калашник, И. Н. Коваленко. – М.: Советское радио, 1973. – 440 с.
9. Бусленко, В. Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем [Текст] (Серия «Библиотечка программиста») / В. Н. Бусленко. – М.: Наука, 1977. – 240 с.
10. Мямлин, В. В. Использование теории кусочно-линейных агрегатов для формализации работы ремонтных модулей поточной вагоноремонтной линии с гибкой транспортной системой [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вып. 24. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 44-48.
11. Мямлин, В. В. Использование математической схемы агрегата для формализации процесса функционирования ремонтной позиции гибкой поточной линии для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: Материалы II Межд. науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ, 2008. – С. 172-173.

Поступила в редколлегию 23.12.2008.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У СХЕМАХ СТЕНДІВ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЛОКОМОТИВІВ

У статті наведений метод розрахунку параметрів статичних перетворювачів, якими пропонується замінити електромашинні лінійний генератор та вольтододаткову машину у схемі традиційного стенду для випробування тягових двигунів локомотивів.

В статье приводится метод расчета параметров статических преобразователей, которыми предлагается заменить электромашинный линейный генератор и вольтодобавочную машину в схеме традиционного стенда для испытания тяговых двигателей локомотивов.

In the article the method of static converters parameters calculation is resulted. It is proposed to replace the electromachine linear generator and balancing booster with static converters in the scheme of the traditional stand for test of locomotives traction engines.

### Вступ

Відомо, що протягом останніх декількох десяти років для випробування тягових двигунів локомотивів застосовується система взаємного навантаження двигуна і генератора з вольтододадковою машиною (ВДМ) і лінійним генератором (ЛГ), яка забезпечує потрібні процеси регулювання. У «традиційній схемі», тобто тій, яка була зроблена декілька десяти років тому, для забезпечення потрібних процесів під час випробувань тягових двигунів застосовуються електричні обертальні машини. Але разом з цим сучасний стан напівпровідникової перетворювальної техніки дозволяє замінити електромеханічні перетворювачі статичними, тобто ВДМ та ЛГ відповідно на ВДП (вольтододатковий перетворювач) та ЛП (лінійний перетворювач). При цьому і зникає необхідність в приводних асинхронних двигунах, і підвищується коефіцієнт корисної дії установки, і зменшуєть-

ся шум, і т.д. Але при цьому виникає питання про визначення параметрів ВДП та ЛП.

### Матеріали та результати досліджень

Розглянемо розрахунок параметрів універсального стенду взаємного навантаження для випробувань тягових двигунів як електровозів, так і тепловозів.

Основні пристрої, що входять у схему стенду, є так звані «лінійні генератори» – ЛГ і «вольтододаткові машини» – ВДМ, що компенсують відповідно втрати холостого ходу і електричні втрати.

У запропонованій схемі ці машини замінюються статичними перетворювачами, які у подальшому будуть позначені ВДП та ЛП.

Параметри двигунів, що випробовуються, наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Основні параметри двигунів, що випробовуються на стенді

| Параметр<br>Двигун | Годинна потужність, кВт | Напруга, В | Струм, А | Опір обмоток, при 20°C, Ом                      | ККД, % |
|--------------------|-------------------------|------------|----------|---|--------|
| AL4846dT           | 770                     | 1500       | 545      | 0.0332 – як.<br>0.0232 – г.п.<br>0.0127 – д.п.  | 94.3   |
| ЭД118              | 305                     | 463/700    | 720/476  | 0.0135 – як.<br>0.0105 – г.п.<br>0.00821 – д.п. | 91.6   |

У схемі стенду задіяні дві однакові машини, що випробуються. При цьому одна – М1 – працює у режимі двигуна, а інша – М2 – у режимі генератора, у коло якого послідовно підключено ВДП.

Параметри ВДП і ЛП можуть бути визначені, виходячи з наступних міркувань.

Рівняння балансу напруг для кіл двигуна М1 та генератора М2 має наступний вигляд:

– для лінійного генератора:

$$U_{\text{ЛП}} = E_1 + I_{\text{д}} \cdot (r_{\text{я}} + 2r_{\text{Г.п.}} + r_{\text{д.п.}}); \quad (1)$$

$$U_{\text{ЛП}} = E_2 + E_{\text{ВДП}} - I_{\text{Г}} \cdot (r_{\text{я}} + r_{\text{Г.п.}} + r_{\text{я.ВДМ}}), \quad (2)$$

де ЕРС машини М1:  $E_1 < E_2 + E_{\text{ВДП}}$ .

Для цього випадку  $E_2$  та  $E_{\text{ВДП}}$  – ЕРС машини М2 та ВДП відповідно;

$I_{\text{д}}$  та  $I_{\text{Г}}$  – струми двигуна та генератора відповідно;

$r_{\text{я}}, r_{\text{Г.п.}}, r_{\text{д.п.}}$  – опори якоря, головних та додаткових полюсів.

Оскільки машини М1 та М2 однакові, обертаються з однаковими кутовими швидкостями, то можна вважати їх ЕРС рівними, тобто  $E_1 = E_2$ .

У цьому випадку, прирівнявши праві частини рівнянь (1) та (2), отримаємо вираз для напруги ВДП:

$$\begin{aligned} U_{\text{ВДП}} &= E_{\text{ВДП}} - I_{\text{Г}} \cdot r_{\text{я.ВДП}} = \\ &= I_{\text{д}} \cdot (r_{\text{я}} + r_{\text{Г.п.}} + r_{\text{д.п.}}) + I_{\text{Г}} \cdot (r_{\text{я}} + r_{\text{д.п.}}). \end{aligned} \quad (3)$$

Але струми обох ввімкнених послідовно машин М1 та М2  $I_{\text{д}} = I_{\text{Г}} = I$ , тому, перетворивши рівняння (3), отримаємо:

$$U_{\text{ВДП}} = 2I \cdot (r_{\text{я}} + r_{\text{Г.п.}} + r_{\text{д.п.}}). \quad (4)$$

Помноживши обидві частини рівняння (4) на величину струму  $I$ , визначимо необхідну потужність ВДП.

$$P_{\text{ВДП}} = U_{\text{ВДП}} \cdot I = 2I^2 \cdot (r_{\text{я}} + r_{\text{Г.п.}} + r_{\text{д.п.}}). \quad (5)$$

Варто звернути увагу на необхідність, згідно з ГОСТ 2582-81, звести усі опори, що приведені у табл. 1, до температури 115 °С. Для цього значення опорів необхідно помножити на коефіцієнт 1.38.

З урахуванням вищезазначеного, згідно рівняння (5), напруга, потужність і струм ВДП набувають для тягових двигунів, що розглядаються, наступних значень, наведених у табл. 2.

Основні параметри ВДП

| Параметр / Двигун | Напруга, В | Потужність, кВт | Струм, А |
|-------------------|------------|-----------------|----------|
| AL4846dT          | 104        | 57              | 550      |
| ЭД118             | 64         | 46              | 720      |

Близькість наведених у табл. 2 параметрів для різних тягових двигунів дозволяє використовувати одну й ту саму ВДП, але з урахуванням необхідних за ГОСТ 2582-81 перевантажень за струмом, рівних подвійному часовому струму.

Таким чином, параметри ВДП у схемі стенда взаємного навантаження, що використовуються, повинні бути наступними:

$$\text{Напруга } U_{\text{ВДП}} = 208 \text{ В (220 В);}$$

$$\text{Струм } I_{\text{ВДП}} = 1440 \text{ А (1450 А);}$$

Варто оговорити, що дані параметри є максимальними і обраними з тих міркувань, що напівпровідникові прилади не припускають таких перевантажень за струмом, на відміну від використання електромеханічних перетворювачів.

Напруга ЛП визначається за рівнянням (1) у припущенні, що ЕРС  $E_1 \approx 0.96 \cdot U = 1440 \text{ В}$  для двигуна AL4846dT. Тоді  $U_{\text{ЛП}} = 1510 \text{ В}$ .

Сумарні втрати у двигуні:

$$\sum p = \frac{P_2}{\eta} (1 - \eta) = \frac{770}{0.943} (1 - 0.943) = 46.5 \text{ кВт.} \quad (6)$$

Оскільки ВДП та ЛП компенсують усі втрати потужності машин М1 та М2, що випробовуються, потужність ЛП може бути визначена як різниця суми втрат в обох машинах і потужність ВДП з табл. 2.

Варто зазначити, що ЛП для двигуна AL4846dT повністю забезпечить також випробування двигуна ЭД118.

$$P_{\text{ЛП}} = 2 \sum p - P_{\text{ВДП}} = 2 \cdot 46.5 - 57 = 36 \text{ кВт,} \quad (7)$$

а струм

$$I_{\text{ЛП}} = \frac{P_{\text{ЛП}}}{U_{\text{ЛП}}} = \frac{36000}{1510} \cong 25 \text{ А.} \quad (8)$$

Визначені з рівнянь (7) та (8) величини для двигуна ЭД118 відповідно дорівнюють 10 кВт і 20 А при мінімальній нарузі на колекторі.

Згідно ГОСТ 2582-81, тягові двигуни повинні бути розраховані на напругу, встановлену для режиму електричного гальмування, тобто

на напругу 2000 В, яку варто прийняти за номінальну напругу ЛП. З урахуванням цього параметри ЛП повинні бути наступними:

Напруга:  $U_{\text{ЛП}} = 2000 \text{ В}$ ;

Струм:  $I_{\text{ЛП}} = 30 \text{ А}$ ;

Потужність:  $P_{\text{ЛП}} = 60 \text{ кВт}$ .

*Примітка:* ці параметри, як і параметри ВДП повинні бути уточнені з урахуванням правил ремонту.

### **Висновки**

Запропонований спосіб визначення параметрів ВДП та ЛП може бути застосований при

визначенні параметрів стенду, призначеного для випробування двигунів будь-якого типу або декількох типів (універсальний стенд).

### **БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК**

1. Безрученко, В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу [Текст] / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак. – Д.: Вид-во ДНУЗТ. 2003. – 252 с.
2. Гольдберг, О. Д. Испытания электрических машин [Текст] / О. Д. Гольдберг. – М.: Высш. шк., 1990. – 255 с.

Надійшла до редколегії 28.11.2008.

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОГО СТРУМУ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ ВИПРОБУВАННІ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ НА НАГРІВАННЯ БЕЗ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Запропоновано методику теоретичного визначення еквівалентного струму навантаження при випробуванні тягових електродвигунів на нагрівання без примусової вентиляції. Наведено результати розрахунку вказаного струму для тягового двигуна типу ЕД-118А та експериментально підтверджено точність методу.

Предложена методика теоретического определения эквивалентного тока нагрузки при испытаниях тяговых электродвигателей на нагревание без вентиляции. Приведены результаты расчета эквивалентного тока для тягового двигателя ЭД-118А, а также экспериментально подтверждена точность метода.

The theoretical determination procedure of an equivalent loading current in tests of traction electric motors on heating without ventilation is offered. The results of calculation of an equivalent current for traction engine ED-118A are presented, as well as the method accuracy is experimentally confirmed.

Програми типових випробувань електричних машин всіх видів містять випробування на нагрівання. В загальному випадку випробування на нагрівання зводиться до визначення перевищень температури різних частин машини, під якими розуміють різниці між температурою цих частин і температурою навколишнього середовища, що отримані в результаті її роботи в номінальному або іншому заданому режимі.

Найбільш природним є фактичне здійснення даного режиму роботи, тобто створення відповідного навантаження для випробуваної машини. Таке випробування носить назву випробування на нагрівання при безпосередньому навантаженні. Але чим більша потужність машини, тим складніше здійснити її випробування методом безпосереднього навантаження: габарити установки, додаткове обладнання для створення вентиляції у двигунів з примусовою вентиляцією, значні витрати електроенергії і т.д. У той же час, наприклад, правилами ремонту електричних машин локомотивів дозволяється випробувати тягові електродвигуни без примусової подачі охолоджуючого повітря протягом однієї години при струмі, що дає перевищення температури, яке відповідає перевищенню температури при номінальному режимі [1, 2]. Назвемо цей струм еквівалентним. Випробування на нагрівання двигунів без примусової подачі охолоджуючого повітря протягом однієї години значно скорочує час випробувань у порівнянні з номінальним режимом, значно зменшує витрати електроенергії та виробничі площі, які займає обладнання. Тому розробка методики визначення еквівалентного

струму для типів двигунів, для яких цей струм невідомий, є актуальною задачею.

Якщо якір електричної тягової машини розглядати, як однорідне суцільне тверде тіло, то крива нагрівання  $\tau = f(t)$  буде мати вигляд на рис. 1.

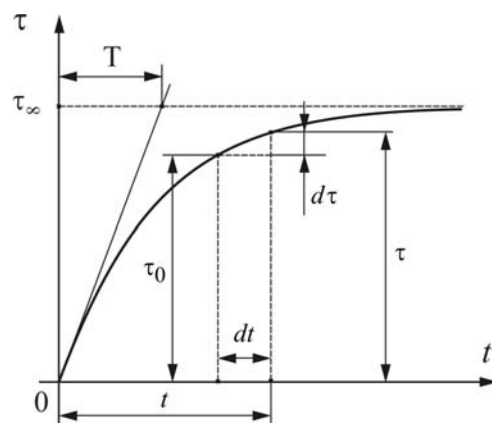


Рис. 1. Крива нагрівання  $\tau = f(t)$

Втрати потужності в якорі за час  $dt$  нагрівають його, і перевищення температури збільшиться від значення  $\tau_0$  до  $\tau$ , тобто на величину  $d\tau$  (рис. 1). Якщо частина тепла, що виникає за час  $dt$  і дорівнює  $cGdt$ , залишилась в якорі й пішла на підвищення його температури, а частина  $\alpha S\tau dt$  розсіялась у навколишнє середовище, то рівняння теплового балансу матиме вигляд [3]:

$$\sum p dt = cGd\tau + \alpha S\tau dt, \quad (1)$$

де  $\sum p$  – втрати потужності в якорі, Вт;

$c$  – питома теплоємність,  $\frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$ ;

$G$  – маса тіла, кг;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі тіла,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}}$ ;

$S$  – площа поверхні, що віддає тепло,  $\text{м}^2$ .

Для усталеного теплового режиму, коли  $d\tau = 0$ , а  $\tau = \tau_\infty$ , отримаємо [3]:

$$\sum p dt = \alpha S \tau_\infty dt, \quad (2)$$

де  $\tau_\infty$  – перегрів в усталеному режимі,  $^\circ \text{C}$ .

З формули (2) перевищення температури  $\tau_\infty$  в усталеному тепловому режимі [3]:

$$\tau_\infty = \frac{\sum p}{\alpha S}. \quad (3)$$

Величина перегріву, тобто перевищення температури даної частини машини над температурою навколишнього середовища, в довільний момент часу [3]:

$$\tau = \tau_\infty \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}, \quad (4)$$

де  $\tau_0$  – початковий перегрів,  $^\circ \text{C}$ .

Теплова постійна часу якоря визначається за формулою [3]:

$$T = \frac{cG}{\alpha S} = \frac{cG\tau_\infty}{\sum p}. \quad (5)$$

Втрати потужності в якорі  $\sum p$  складаються з двох складових – втрати в міді обмоток  $p_{ma}$  та в сталі сердечника якоря  $p_c$ .

Втрати в міді якоря визначаються за наступною формулою [4]:

$$p_{ma} = I_a^2 (r_a + r_d + r_{ko} + \beta r_3), \quad (6)$$

де  $I_a$  – струм якорного кола, А;

$r_a$ ,  $r_d$ ,  $r_3$ ,  $r_{ko}$  – опори відповідно обмотки якоря, обмотки додаткових полюсів, обмотки збудження, компенсаційної обмотки, Ом;

$\beta$  – коефіцієнт збудження.

Сумарні втрати в сталі даної частини машини за будь-якої частоти й індукції можна визначити за формулою [4]:

$$p_{ca} = K_{xx} (m_a p_a + m_z p_z), \quad (7)$$

де  $K_{xx} \approx 0,8\sqrt{p_{1,5/50}}$  – емпіричний коефіцієнт, що враховує підвищення втрат у сталі з-за неідеальності шихтовки, а також всі види додаткових втрат холостого ходу;

$p_{1,5/50}$  – питомі втрати в електротехнічній сталі при  $B = 1,5$  Тл,  $f = 50$  Гц, Вт/кг;

$m_z$ ,  $m_a$  – маса сталі відповідно зубців та ярма якоря, кг;

$p_z$ ,  $p_a$  – питомі втрати відповідно в зубцях та ярмі якоря, Вт/кг.

Величина питомих втрат у сталі зубців якоря може бути отримана за виразом [4]:

$$p_z = \left[ 0,044f + 5,6 \left( \frac{f}{100} \right)^2 \right] B_z^2, \quad (8)$$

де  $f$  – частота перемагнічування сталі, Гц;

$B_z$  – індукція в зубцях, Тл.

Питомі втрати в ярмі якоря можуть бути визначені за формулою [4]:

$$p_a = \left[ 0,044f + 5,6 \left( \frac{f}{100} \right)^2 \right] B_a^2, \quad (9)$$

де  $B_a$  – індукція в ярмі, Тл.

Закон нагрівання ідеального однорідного тіла в загальному випадку можна застосовувати до окремих частин електричних машин, однак лише з обумовленою мірою точності.

Швидкість охолоджуючого повітря, що визначає величину коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$ , можна приблизно визначити [4]:

– відносно поверхонь охолодження катушок головних та додаткових полюсів:

$$V_k = \frac{Q_{ном}}{S_k}, \quad (10)$$

де  $S_k = \pi n_k \frac{d_k^2}{4} + 0,12(D_0^2 - D_a^2)$  – сумарна площа перерізу аксіальних каналів для проходу повітря,  $\text{м}^2$ ;

$n_k$  – кількість аксіальних вентиляційних каналів в якорі;

$d_k$  – діаметр каналу, м;

$D_0$ ,  $D_a$  – внутрішній діаметр остова і зовнішній діаметр якоря, м;

$Q_{ном}$  – витрата повітря,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

– відносно охолоджуваних поверхонь якоря і компенсаційної обмотки:

$$V_{екв} = \sqrt{V_a^2 + V_k^2}, \quad (11)$$

де  $V_a = \frac{\pi D_a n_{\text{НОМ}}}{60}$  – лінійна швидкість якоря в

тривалому режимі, м/с;

$n_{\text{НОМ}}$  – номінальна швидкість обертання якоря, об/хв.

Середнє значення коефіцієнта тепловіддачі

$$\alpha [4], \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}} : \quad (12)$$

$$\begin{cases} 30 + 2,4V, & \text{якщо } V < 54 \text{ м/с;} \\ 160, & \text{якщо } V \geq 54 \text{ м/с.} \end{cases}$$

За відсутності примусової вентиляції повітря в машину зовні додатково не подається, тому  $V_k = 0$  м/с. В цьому випадку рух деякого об'єму повітря створюється при обертанні якоря, швидкість якого визначається за формулою (11), в якій  $V_k = 0$ . Якщо машина вентилюється в повному об'ємі, то у виразі (11) присутні обидві складові. Видно, що у випадку повної вентиляції значення  $V_{\text{екв}}$  буде більшим, ніж у випадку відсутності примусової подачі охолоджуючого повітря.

Таким чином, коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  за відсутності примусової вентиляції буде меншим від коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha_V$  при повній вентиляції машини.

Тому для того, щоб отримати усталене значення перегріву  $\tau_\infty$  в режимі випробувань без вентиляції на протязі однієї години, рівне допустимому перегріву при роботі машини в тривалому режимі, необхідно зменшити втрати в міді обмотки  $p_{ma}$ , оскільки втрати в сталі не залежать від струму і залишаються незмінними  $p_c = \text{const}$ .

Проілюструємо це за допомогою рис. 2:

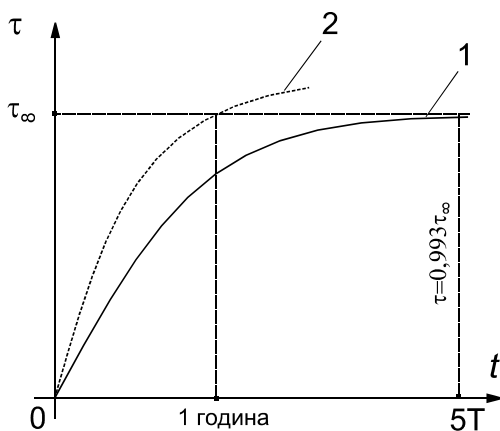


Рис. 2. Криві нагрівання якоря в різних умовах

1. Машина вентилюється примусово, режим роботи тривалий. Струм якоря в цьому випадку дорівнює номінальному.
2. Примусова вентиляція відсутня, машина навантажена еквівалентним струмом  $I_{\text{екв}}$  на протязі однієї години.

Оскільки величина  $\tau_\infty$  визначається класом ізоляції, а параметри  $\alpha$ ,  $S$  розраховуються, то з урахуванням виразу (3) та  $p_c = \text{const}$  можна визначити втрати в міді обмотки, які забезпечують дану величину  $\tau_\infty$ :

$$p_{ma} = \sum p - p_{ca} = \tau_\infty \alpha S - p_{ca}, \quad (13)$$

де  $p_{ca}$  – величина втрат в сталі, розрахована за формулою (7) для тривалого режиму, Вт.

Підставивши у формулу (6) значення  $p_{ma}$  з виразу (13), можна визначити еквівалентний струм  $I_{\text{екв}}$ , який забезпечить задану величину перегріву  $\tau_\infty$  якорної обмотки на протязі однієї години випробувань без примусової подачі охолоджуючого повітря:

$$I_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{p_{ma}}{(r_a + r_d + r_{ko} + \beta r_3)}}. \quad (14)$$

Згідно отриманої методики авторами розроблено програму розрахунку величини еквівалентного струму.

В якості прикладу наведено результати розрахунку еквівалентного струму для тягового двигуна типу ЭД-118А. Паспортні дані цього двигуна наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Паспортні дані тягового двигуна ЭД-118А

|  |             |
|--|-------------|
| Потужність, кВт                                  | 305         |
| Номінальна напруга живлення, В                   | 463         |
| Номінальний струм, А                             | 720         |
| Частота обертання, с <sup>-1</sup>               | 9,75        |
| Витрата охолоджуючого повітря, м <sup>3</sup> /с | 1,25...1,33 |

Величина перегріву в усталеному режимі:  $\tau_\infty = 135,9$  °С (клас ізоляції F).

Величина еквівалентного струму аналітично отримана за приведеною методикою:  $I_{\text{екв}} = 587,5$  А.

Величина еквівалентного струму, що встановлена експериментальним шляхом, складає  $I_{\text{екв}} = 575$  А [1].

Різниця між аналітично отриманим та експериментально встановленим значеннями струмів складає приблизно 2,1 %. Це доводить точність та прийнятність запропонованої методики визначення значення еквівалентного струму якоря.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Правила ремонту електричних машин тепловозів ЦТ 0064 [Текст]. – 2003. – 122 с.

2. Правила ремонту електричних машин електро-  
возів ЦТ 0063 [Текст]. – 2003. – 286 с.
3. Находкин, М. Д. Электрические машины постоянного тока [Текст] / М. Д. Находкин. – М.: Энергия, 1960.
4. Курбасов, А. С. Проектирование тяговых электродвигателей [Текст] / А. С. Курбасов. – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.

Надійшла до редколегії 28.11.2008.

## НОРМУВАННЯ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ВЛАСНІ ПОТРЕБИ ПОСТІВ СЕКЦІОНУВАННЯ ТА ПУНКТІВ ПАРАЛЕЛЬНОГО З'ЄДНАННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Запропоновано методи визначення норм витрати електроенергії на власні потреби постів секціонування та пунктів паралельного з'єднання постійного струму

Предложены методы определения норм расхода электроэнергии на собственные нужды постов секционирования и пунктов параллельного соединения постоянного тока

The authors proposed the methods of determination of norms of electric power expenses on the own needs of sectionizing posts and direct-current parallel connection points.

Нормування витрат електроенергії на власні потреби постів секціонування та пунктів паралельного з'єднання має свої характерні особливості.

В ідеальному випадку фактичні втрати електроенергії на ПСК та ППЗ постійного струму представляють собою виключно витрати електроенергії на власні потреби, які необхідні для забезпечення роботи технологічного устаткування і життєдіяльності обслуговуючого персоналу. Але за діючою схемою функціонування ППЗ та ПСК ці витрати не обліковуються безпосередньо у місці підключення споживача. Облік здійснюється за допомогою лічильників, встановлених на фідерах продольного електропостачання 10 кВ (ПЕ) та автоблокування 6 – 10 кВ (АБ), та лічильників на фідерах тягового електропостачання тягових підстанцій. Тому під час нормування витрат електроенергії необхідно приймати до уваги [1 – 3]:

- технічні втрати електроенергії, обумовлені фізичними процесами, що відбуваються при передачі електроенергії по електричних мережах. Їх значення можна отримати розрахунковим шляхом на основі відомих законів електротехніки;

- втрати електроенергії, обумовлені інструментальними похибками її виміру (інструментальні втрати). Ці втрати одержують розрахунковим шляхом на основі даних про метрологічні характеристики й режими роботи приладів;

- комерційні втрати, обумовлені розкраданнями електроенергії, невідповідністю показань лічильників оплаті за електроенергію побутовими споживачами й іншими причинами у сфері організації контролю за споживанням енергії. Ці втрати не можна виключити, тому що від фідерів ПЕ живляться сторонні споживачі.

Особливості живлення ПСК та ППЗ постійного струму можна побачити на узагальненій схемі живлення власних потреб ППЗ та ПСК (рис. 1).

В даній статті авторами запропоновано підхід по визначенню витрат електроенергії тільки на власні потреби ПСК та ППЗ. Тому нижче не будуть розглядатися технічні, комерційні та втрати, обумовлені похибками приладів обліку.

Витрати на власні потреби є структурованими та типовими для всіх типів ПСК та ППЗ, як тих, що використовуються з початку електрифікації, так і найсучасніших аналогів (рис. 2).

Таким чином, визначимо поетапно норми витрат електроенергії на власні потреби ПСК і ППЗ:

1) втрати в трансформаторах ОМ-10(6) кВ. Ці втрати легко визначити, виходячи з паспортних даних трансформаторів та часу роботи. Нормальна схема живлення передбачає живлення від лінії ПЕ, тому беремо за розрахункові втрати в трансформаторах ОМ-10 кВ.

2) Обігрів, вентиляція (кондиціонування) РП-3,3 кВ. Існують деякі відмінності між ППЗ та ПСК. Ці відмінності та особливості розрахунку потребують більшої уваги та будуть розглянуті нижче.

3) Обігрів, вентиляція (кондиціонування) низьковольтного відсіку. Пропонуємо виконувати розрахунок виходячи з середньої кількості годин перебування персоналу на місяць, встановленої потужності обігрівальних чи кондиціонуючих пристроїв. Передбачається, що за відсутності обслуговуючого персоналу температура, необхідна для нормального функціонування приладів РЗА та Г, підтримується за рахунок теплообміну з РП-3,3 кВ.

$$W_{\text{НВ}} = P_{\text{НВ}} \cdot \tau_{\text{рНВ}}, \quad (1)$$

де  $W_{\text{НВ}}$  – витрати електроенергії на обігрів низьковольтного відсіку, кВт·год;

$P_{\text{НВ}}$  – сумарна встановлена потужність при-

строїв обігріву та кондиціонування низьковольтного відсіку, кВт;

$\tau_{\text{рНВ}}$  – середня тривалість перебування обслуговуючого персоналу за рік. Дорівнює 212 год/рік.

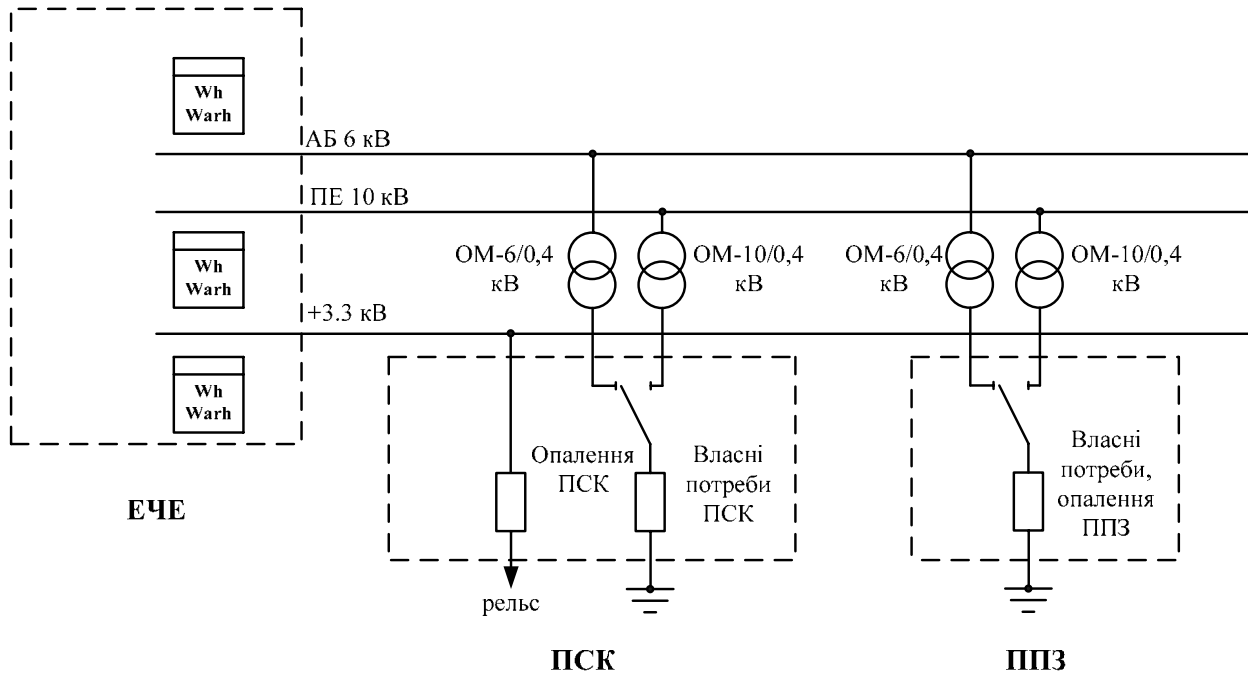


Рис. 1. Узагальнена схема живлення власних потреб ПСК та ППЗ постійного струму

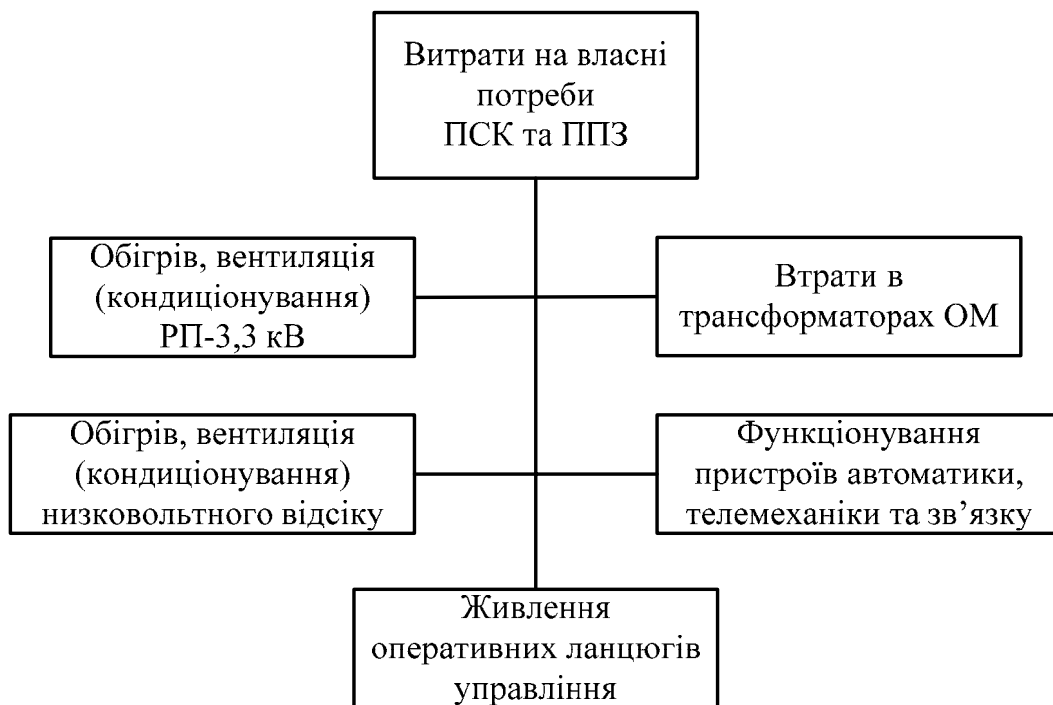


Рис. 2. Структура витрат на власні потреби ПСК та ППЗ постійного струму

4) Функціонування пристроїв автоматики та зв'язку. Норма витрат розраховується, виходячи зі потужності, що споживає сукупність пристроїв на годину за паспортом:

$$W_A = P_{\Sigma A} \cdot \tau_{pA}, \quad (2)$$

де  $W_A$  – витрати електроенергії на пристрої автоматики та зв'язку, кВт·год;

$P_{\Sigma A}$  – сумарна встановлена потужність пристроїв автоматики та зв'язку, кВт;

$\tau_{pA}$  – середня тривалість роботи обладнання автоматики та зв'язку за рік. Приймаємо – 8736 год/рік.

5) Живлення оперативних ланцюгів управління. Розраховується аналогічно п. 3, додається споживання тримаючих котушок високовольтних вимикачів.

$$W_{OL} = P_{OL} + P_{TKB} \cdot \tau_{pO}, \quad (3)$$

де  $W_{OL}$  – витрати електроенергії на оперативні ланцюги, кВт·год;

$P_{OL}$  – сумарна встановлена потужність пристроїв автоматики та зв'язку, кВт. Визначається в залежності від встановленого обладнання;

$P_{TKB}$  – сумарна встановлена потужність тримаючих котушок швидкодіючих вимикачів, кВт. Визначається в залежності від типів вимикачів за паспортом;

$\tau_{pO}$  – середня тривалість роботи обладнання оперативних ланцюгів за рік. Дорівнює 8736 год/рік.

Розглянемо детально п. 2. Живлення приладів обігріву поста секціонування постійного струму, що встановлювалися при електрифікації, відбувається за схемою, наведеною на рис. 3.

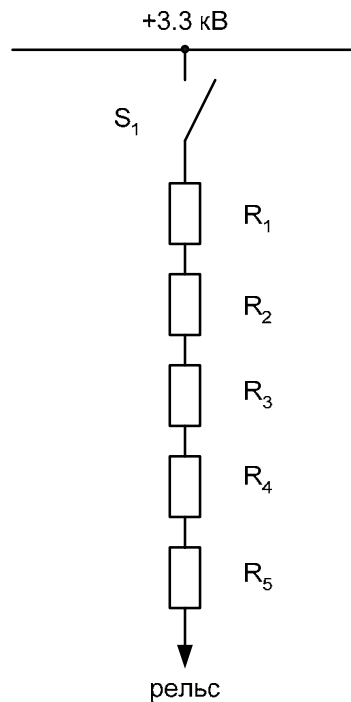


Рис. 3. Схема живлення приладів обігріву ПСК постійного струму

До головної шини 3,3 кВ послідовно підключені 5 печей  $R_1 \dots R_5$  потужністю 750 Вт кожна через блок-контакти терморегулятора  $S_1$ . Електропічки встановлені у високовольтному відсіку ПСК, термодатчик терморегулятора розташований у низьковольтному відсіку. Терморегулятор у заводському виконанні встановлений на ввімкнення пічок при температурі нижче  $+15^\circ\text{C}$ , але в процесі експлуатації встановлено,

що працездатність апаратури забезпечується при температурі не нижче  $+10^\circ\text{C}$ , тому з метою енергозбереження усі термодатчики переведені на спрацювання при  $+10^\circ\text{C}$ .

В ППЗ, навпаки, піч опалення, як правило, одна, живиться від мережі змінного струму 220 В власних потреб. Піч потужністю 1000 Вт встановлена у відсіку 3,3 кВ, терморегулятор встановлений у тому ж відсіку (рис. 4).

Витрати електроенергії на обігрів РП-3,3 кВ можна розрахувати за встановленою потужністю та коефіцієнтом сезонності:

$$W_o = P_o \cdot k_{cc} \cdot \tau_p, \quad (1)$$

де  $W_o$  – витрати електроенергії на обігрів приміщень, кВт·год;

$P_o$  – встановлена потужність електропечей обігріву приміщень, кВт; для ПСК дорівнює 3,75 кВт, для ППЗ – 1,0 кВт;

$k_{cc}$  – коефіцієнт сезонності для обігріву приміщень, значення якого наведені в табл. Б1 [4].

$\tau_p$  – середня тривалість роботи електропечей обігріву за рік.

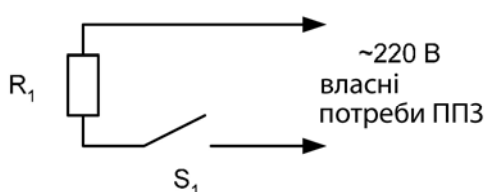


Рис. 4. Схема живлення опалення ППЗ постійного струму

Досвід експлуатації дозволяє виділити 4 режими роботи електропічок для підтримки температурного режиму ПСК та ППЗ:

1. Температура навколишнього середовища вище +10 °С – пічки вимкнені.

2. Температура навколишнього середовища 0 ... +10 °С – пічки ввімкнені приблизно 10 % часу на добу (2,5 години).

3. Температура навколишнього середовища -15 ... 0 °С – пічки ввімкнені 30 % часу на добу (7,2 години).

4. Температура навколишнього середовища нижче -15 °С – пічки ввімкнені 50 % часу на добу (12 годин).

Середню тривалість роботи електропечей за рік по Донецькій залізниці отримано за допомогою статистичних методів обробки даних. За 5 років (2003-2007) розраховуємо середньодобову температуру по місяцях. Розподіливши температурні показники згідно чотирьох режимів роботи, було отримано середню тривалість роботи електропечей – 1971 год/рік.

Виконавши розрахунки за [4], заповнюємо табл. 1.

### Висновки

1. Запропонована методика визначення витрат електроенергії на власні потреби постів се-

кціонування та пунктів паралельного з'єднання постійного струму.

2. Виконаний розрахунок норм витрат електроенергії на обігрів ПСК та ППЗ постійного струму, які введені в експлуатацію під час електрифікації.

Таблиця 1

**Значення нормативних витрат електроенергії на обігрів РП-3,3 кВ ПСК та ППЗ на місяці розрахункового періоду**

| Назва розрахункового періоду | Значення нормативних витрат електроенергії на обігрів РП-3,3 кВ, тис. кВт·год |             |
|------------------------------|---|-------------|
|                              | ПСК   | ППЗ         |
| Січень                       | 1,89  | 0,50        |
| Лютий                        | 1,70  | 0,45        |
| Березень                     | 0,07  | 0,02        |
| Квітень                      | 0,00  | 0,00        |
| Травень                      | 0,00  | 0,00        |
| Червень                      | 0,00  | 0,00        |
| Липень                       | 0,00  | 0,00        |
| Серпень                      | 0,00  | 0,00        |
| Вересень                     | 0,00  | 0,00        |
| Жовтень                      | 0,06  | 0,02        |
| Листопад                     | 1,77  | 0,47        |
| Грудень                      | 1,89  | 0,50        |
| <b>Рік</b>                   | <b>7,39</b>   | <b>1,97</b> |

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ГНД 34.09.104-2003. Методика складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0,38 – 150 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних витрат електроенергії [Текст].
2. Основні положення з нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів в суспільному виробництві [Текст]: Затв.: Наказ Держкоенергозбереження 22.10.2002 № 112.
3. ГНД 34.09.203-2004. Нормування витрат електроенергії на власні потреби підстанцій 35 – 750 кВ і розподільчих пунктів 6 – 10 кВ. Інструкція [Текст].
4. Інструкція з нормування витрат електроенергії на власні потреби підстанцій 6 – 220 кВ і розподільчих пунктів 6 – 10 кВ залізниць України [Текст]: Затв.: Наказ 08.11.2007 р. № 526-Ц.

Надійшла до редколегії 25.12.2008.

## ПЕРСПЕКТИВНІ НАНОМАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Пропонується застосування перспективних нанобетону та наноматеріалів для використання на залізничному транспорту.

Предлагается использование перспективных нанобетона и наноматериалов для использования на железнодорожном транспорте.

The use of promising nanoconcrete and nanomaterials for needs of railway transport is offered.

Транспорт – одна з найважливіших галузей матеріального виробництва, яка забезпечує потреби народного господарства і населення в усіх видах перевезень. Більша частина національного вантажообігу припадає на залізничний транспорт. Також треба зауважити, що досягнення в області обчислювальної техніки та інформаційних технологій дозволять упровадити логістичні принципи в процесах перевезень вантажів залізничним транспортом, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності залізниць на ринку транспортних послуг. Але розвиток технологічного аспекту українських залізниць порівняно з іншими країнами ще не на достатньому рівні, що пов'язано з тим, що в нашій державі поки що приділяють мало уваги новітнім технологіям, зокрема нанотехнологіям.

Нанотехнологія – це галузь прикладної науки та техніки, яка займається вивченням властивостей та розробкою пристроїв, розміри яких близькі до нанометра ( $10^{-9}$  м) і яка оперує речовинами на рівні окремих атомів та молекул і створює нові речовини із запрограмованими властивостями. Об'єкти нанотехнології – подрібнені до нанорозмірів метали, нові сполучення вуглецю, вирощені у спеціальних умовах пластмаси. Нанотехнології знаходяться зараз на початковій стадії свого розвитку, це пов'язане з тим, що їх теоретичні основи поки що не розроблені, але проведені дослідження вже дають результати [1]. Зараз вже існують розробки, використання яких вже за короткий проміжок часу може дати залізничному транспорту доволі великий техніко-економічний та соціальний ефекти, підвищити рівень практично на всіх стадіях процесу перевезень. Розглянемо деякі розробки.

Насамперед, це розробка нанобетону, який являє собою класичний бетон, модифікований вуглецевими нанотрубками. При цьому треба

відмітити дві найважливіші технологічні особливості виготовлення нанобетонів. Перша полягає в тому, що в усіх нанобетонах в якості армуючого матеріалу використовують промислові відходи базальтової фібри, яка виготовляється з розплаву базальтових порід і подрібленої на спеціальному пелюстковому млині.

Друга – це та, що перед упакуванням подрібненої базальтової фібри в паперові мішки в її склад вводять їдкий натр 0,05...0,1 %, воду 0,3...0,5 % та фулероїдний матеріал, який отримав назву «Астрален». В залежності від того, який нанобетон треба виготовити, концентрація астралена змінюється від 0,0001 до 0,01 % від маси фібри (рис. 1).

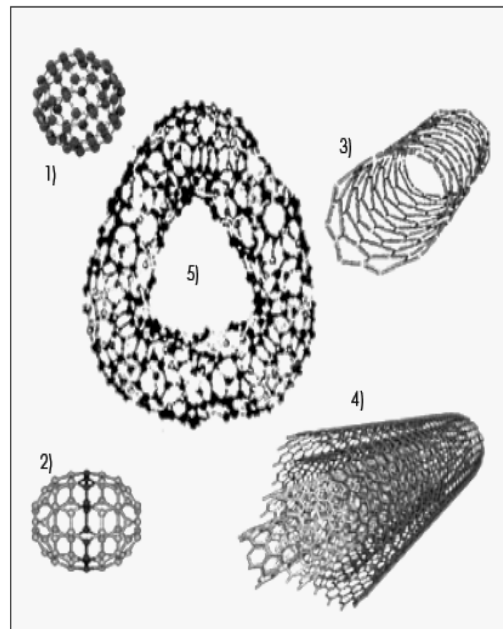


Рис. 1. Структури найбільш поширених фулероїдів: 1 – фуллерен C-60; 2 – фуллерен C-70; 3 – одностінна нанотрубка; 4 – багатостінна нанотрубка; 5 – багатослойна поліедральна наночастинка-астрален

Термін «нанобетон» поєднує в собі цілий клас спеціалізованих бетонів (табл. 1):

- легкі нанобетони для індивідуального будівництва;
- нанобетони середньої густини, які мають підвищений рівень механічної міцності та інші властивості, які роблять їх перспективними в будівництві залізничних мостів;
- нанобетони високої та надвисокої міцності для всіх несучих конструкцій.

Таблиця 1

**Класифікація бетонів**

| Клас                         | Густина, т/м <sup>3</sup> | Міцність на стиск, МПа | Додаткові характеристики                                 | Рівень ціни дол./м <sup>3</sup> (листопад 2007 р.) |
|------------------------------|---------------------------|------------------------|--|--|
| Легкі нанобетони             | 0,4... 0,9                | 2,0..3,5               | Стійкість до утворень тріщин та вогнестійкість до 800 °С | 100  |
|                              | 1,0                       | 30                     |  | 450  |
| Нанобетони середньої густини | 1,5... 1,8                | 30                     | Стійкі до утворень тріщин                                | 60   |
|                              | 2,3                       | 50                     |  | 65   |
|                              | 2,1                       | 60                     |  | 80   |
|                              | 2,1                       | 90                     |  | 130  |
| Густі нанобетони             | 2,5                       | 150                    | Куленепробивність та вогнестійкість                      | 700  |

Вже у найближчому майбутньому буде введено використання нанобетонів і на Укрзалізниці, яке дозволить значно покращити економічний ефект, оскільки при збільшенні споживчих характеристик нанобетонів у 4...6 разів їх вартість більша звичайних не більш, ніж на 10...20 % [2]. Зокрема, використання в транспортному будівництві бетонів, модифікованих вуглецевими нанотрубками, дає можливість покращити міцність та теплоізоляційні характеристики споруд на 15...30 %.

Використання при будівництві рухомого складу нових конструкційних матеріалів покращить швидкість руху потягів, підвищить безпеку руху. Виготовлення якісно нових рейок та колісних пар на основі нанодисперсного перліту з підвищеною міцністю з одночасним збереженням потрібної в'язкості продовжить термін служби верхньої будови колії. Використання в депо ремонтівідновлюючих порошків

дозволяє покращити характеристики вузлів тертя локомотивів та вагонів в два та більше разів, підвищити їх міжремонтний ресурс, а в деяких випадках – замінити капітальний ремонт планово-попереджувальною обробкою нанопорошками. Спеціальні технології підвищують зносостійкість металоріжучого інструменту в 5...7 разів. Нарешті, питання забезпечення біологічної безпеки, особливо актуальне для місць масової концентрації людей (пасажирські вагони, вокзали), можливо успішно вирішити, обробивши ці місця наночастками срібла, які володіють високими бактерицидними властивостями [3].

Що стосується нанопокриттів, то їх висока твердість та зносостійкість відкриває також широкі можливості для використання на залізницях. При нанесенні нанопокриттів значно покращуються термодинамічні характеристики двигунів. В бензинових та дизельних двигунах внутрішнього згоряння відбувається збільшення та вирівнювання компресії в усіх циліндрах, значно зменшується токсичність вихлопних газів, а також шум від роботи двигуна.

Високодисперсний нанопорошок надійно захищає від зносу машини, обладнання та двигуна. В ньому повністю відсутні компоненти і мінерали природного походження, а також органічні сполуки. Це дозволяє ефективно використовувати його для антифрикційних покриттів тертьових поверхонь любих кінематичних пар [4].

Треба зазначити, що склад та властивості зносостійких покриттів значною мірою залежать від технологій їх нанесення, які за видом осадження поділяються на фізичні та хімічні.

При фізичному осадженні матеріал покриття переходить з твердої в газову фазу в результаті випаровування під дією теплової енергії або в результаті розплаву за рахунок кінетичної енергії зіштовхування частинок матеріалу. Цей метод дозволяє селективно наносити покриття, чого не дозволяє хімічний метод.

Метод хімічного осадження практично не має меж по хімічному складу покриттів: усі частки можуть бути осаджені на поверхню матеріалу. Які покриття при цьому утворюються, залежить від комбінації матеріалів та параметрів процесу. Таким чином, завжди можливо підібрати установку, яка реалізує той метод отримання покриття, який є найбільш оптимальним для заданих умов використання і заданого матеріалу покриття.

Як відомо, тертя – це проблема кожної машини, бо деталі, які труться, мають тенденцію

знос з плином часу. Ось у такому випадку і слід використовувати такі нанопокриття, як, наприклад, бор-алюміній-магнієві керамічні шари (AlMgB<sub>14</sub>) [5].

Ще однією розробкою, яка може знайти використання для ліквідації карстових пустот під полотном залізниці, є гель. Частки полімерного нанопорошку набухають під дією води і перетворюються на гель, який щільно прилягає до стінок, зупиняючи розростання порожнин. Заповнення карстових пустот, за думкою деяких спеціалістів, простіше, ефективніше та дешевше технологій, що сьогодні використовуються.

### Висновок

Практичне використання на залізничному транспорті розробок наноматеріалів може дати значний ефект в галузі збільшення ресурсу техніки, енергозбереження та підвищення міцнісних характеристик матеріалів, що використовуються.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Зубко, А. П. Тематический обзор возможности внедрения высоких технологий на железнодорожном транспорте [Текст] / А. П. Зубко //

Залізн. трансп. України. – 2007. – № 5. – С. 16-17.

2. Пабрикеев, Л. Нанобетоны [Электрон. ресурс] / Л. Пабрикеев // Наноиндустрия. – 2008. – № 2. – Режим доступа: <http://www.nanoindustry.su/issue/2008/2>.
3. Гриднева, Е. Технология точности и чистоты [Электрон. ресурс] / Е. Гриднева // Наноиндустрия. – 2007. – № 1. – Режим доступа: <http://www.nanoindustry.su/issue/2007/1>.
4. Гульбин, В. Наноконпоненты покрытия для снижения трения [Электрон. ресурс] / В. Гульбин, В. Попов, И. Севастьянов // Промышленные нанотехнологии – 2007. – № 1. – Режим доступа: <http://www.nanoindustry.su/issue/2007/1>.
5. Кондратьев, Д. Применение нанотехнологий для создания композитных упругих элементов [Электрон. ресурс] / Д. Кондратьев, В. Жуковский, В. Гольдин // Наноматериалы. – 2007. – № 6. – Режим доступа: <http://www.nanotech.ru/journal/word/cont07-6.pdf>.

Висловлюємо вдячність за увагу до роботи та практичну допомогу КОЛЕСОВУ Святославу Миколайовичу.

Надійшла до редколегії 14.12.2008.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ОБ'ЄМУ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ БАГАТОСИСТЕМНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

У статті порушені питання визначення питомого об'єму статичних перетворювачів для багатосистемного електрорухомого складу залізниць.

В статті затронуті питання визначення удельного об'єму статических преобразователей для многосистемного электроподвижного состава железных дорог.

The issues of determination of specific volume of static converters for multisystem railway electric rolling stock are touched on in the article.

### Вступ

Основою сучасного тягового електроприводу є статичні перетворювачі, структура яких визначається видом тягового двигуна. Основні структури і схеми технічні рішення для традиційного електрорухомого складу (ЕРС) досить повно представлені у літературі [1, 2, 3, 4 та ін.]. Але ж загально відомі недоліки системи тягового електропостачання напругою 3 кВ постійного струму [5 та ін.] та необхідність забезпечення процесу перевезень на електрифікованих залізницях незалежно від роду струму та значення напруги у контактній мережі без заміни електровозів на станціях стикування вимагає використання тягового електрорухомого складу який може працювати як при постійному так і змінному струмах при різних рівнях напруги у контактній мережі. Такий тяговий електрорухомий склад називаємо багатосистемним.

Створення багатосистемних електровозів стало можливим дякуючи успіхам силової напівпровідникової техніки – появі повністю керованих вентилів, підвищення класу приладів та їх робочих струмів.

Поява нової елементної бази призвела до удосконалення існуючих та створення нових схемних та конструктивних рішень для перетворювачів. Ведучими фірмами-виробниками статичних перетворювачів зокрема були створені загальнопромислові приводи з двигунами постійного та змінного струмів та перетворювачі іншого функціонального призначення.

Безумовно, такі зміни не обминули й тягові статичні перетворювачі, які живлять тягові двигуни електровозів та електропоїздів.

Але ж питання визначення взаємного зв'язку між потужністю тягового приводу та масо-габаритними показниками статичного пе-

ретворювача, що є невід'ємною його частиною, не порушувалось, тому автором проведено аналіз промислових перетворювачів для розробки рекомендацій по раціональних конструктивних показниках перетворювачів тягового приводу.

### Мета роботи

Дослідити питання визначення питомого об'єму статичних перетворювачів для багатосистемного електрорухомого складу залізниць з тяговими двигунами постійного струму.

### Матеріал і результати дослідження

Традиційно питомий об'єм визначаємо як:  $V_p = \frac{V}{P} [\text{м}^3/\text{кВт}]$ , де  $V$  – об'єм статичного перетворювача,  $\text{м}^3$ ;  $P$  – потужність перетворювача, кВт [6].

Вихідними даними є: потужність, габарити, елементна база та вид охолодження напівпровідникових ключів існуючих перетворювачів.

У представленій роботі проаналізовані основні показники перетворювачів таких фірм та підприємств: Siemens, ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь» (Запоріжжя, Україна), ВАТ НДІ «Преобразователь» (Запоріжжя, Україна), ВО «Электровыпрямитель» (Саранськ, Росія), «Харківський електромеханічний завод» (Харків, Україна) та інших підприємств країн СНД (колишнього СРСР).

Загалом проаналізовано 322 перетворювача, з них: фірми Siemens (60), ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь» (163), підприємств колишнього СРСР (99).

Було проведено аналіз статичних перетворювачів електроприводу постійного струму з номінальними напругами з ряду 230, 460, 660,

825 (низьковольтні) та високовольтні перетворювачі з напругами 1050, 2500, 3000, 3300 В.

До уваги приймалися перетворювачі з потужністю понад 75 кВт включно, оскільки аналіз конструкцій існуючих перетворювачів ведучих фірм виробників показав, що саме з цієї потужності починається ряд конструктивного виконання всіх потужних перетворювачів.

Представлені надалі залежності питомого об'єму  $V_p = f(P)$  від потужності перетворювачів враховують тип елементної бази, вид охолодження.

По-перше, розглянемо конструктивні показники перетворювачів виробництва країн СНД, оскільки вони мають ту ж саму інженерну школу, а тому схожі технічні рішення.

На рис. 1 представлена залежність  $V_p = f(P)$ , побудована за експериментальними даними для перетворювачів ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь» (елементна база – тиристор, охолодження – примусове повітряне) з діапазоном робочих напруг до одного кВ.

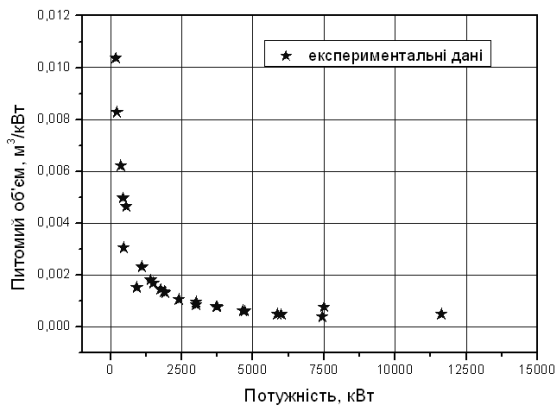


Рис. 1. Залежність питомого об'єму перетворювачів ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь» (елементна база – тиристор, охолодження – примусове повітряне) з діапазоном робочих напруг до одного кВ, від потужності перетворювачів

Для отримання аналітичних залежностей для питомого об'єму від їх потужності проведемо апроксимацію експериментальних значень (рис. 2).

Залежність питомого об'єму перетворювачів від потужності апроксимувались за допомогою наступних виразів (у загальному вигляді):

$$y(x) = y_0 + A_1 e^{\left(\frac{-x}{t_1}\right)} + A_2 e^{\left(\frac{-x}{t_2}\right)} \quad (\text{експоненціальна другого порядку}).$$

При цьому коефіцієнти апроксимації мають наступні значення:  $y_0 = 0$ ;  $A_1 = 0,00223$ ;  $t_1 = 3942,92663$ ;  $A_2 = 0,01657$ ;  $t_2 = 239,70193$ .

Тоді вираз для апроксимованої залежності  $V_p = f(P)$  має вигляд:

$$V_p(P) = 0 + 0,00223 \cdot e^{\left(\frac{-P}{3942,92663}\right)} + 0,01657 \cdot e^{\left(\frac{-P}{239,70193}\right)}.$$

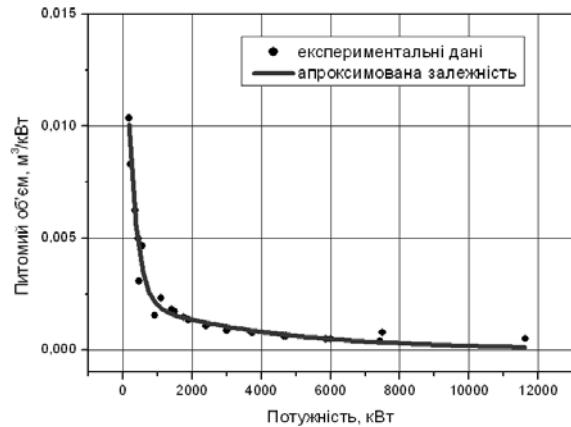


Рис. 2. Результати апроксимації залежності питомого об'єму перетворювачів ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь» (елементна база – тиристор, охолодження – примусове повітряне) з діапазоном робочих напруг до одного кВ, від потужності перетворювачів

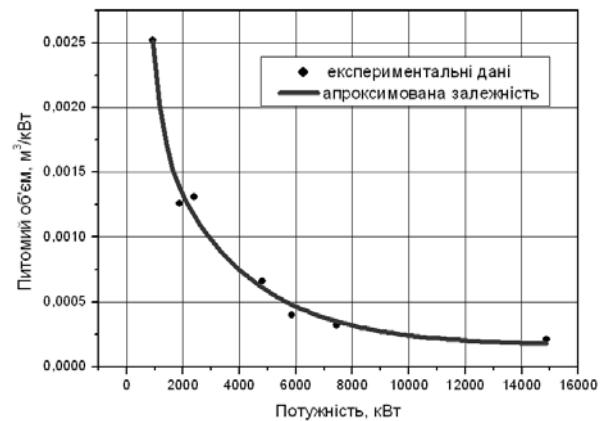


Рис. 3. Результати апроксимації залежності питомого об'єму перетворювачів ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь» (елементна база – тиристор, охолодження – водяне) з діапазоном робочих напруг до одного кВ, від потужності перетворювачів

Аналогічно отримуємо аналітичні залежності питомого об'єму для інших перетворювачів.

Представимо коефіцієнти апроксимації за експоненціальною залежністю другого порядку для залежності  $V_p = f(P)$  по кожному з типів перетворювачів у вигляді табл. 1.

Отримані залежності дозволяють у першому наближенні оцінити вплив системи охолодження перетворювача на його габаритні розміри, для цього представимо апроксимовані залежно-

сті з рис. 2 та рис. 3 в одній системі координат (рис. 4).

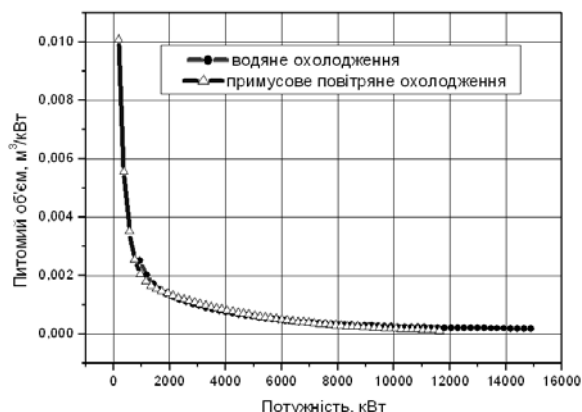


Рис. 4. Вплив виду охолодження на габаритні розміри перетворювачів ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь» (елементна база – тиристор) з діапазоном робочих напруг до одного кВ

Аналіз представлених на рис. 4 залежностей та використання представлених у табл. 1 коефіцієнтів апроксимації дозволяє порівняти, у відсотках, виграш від використання водяного охолодження в перетворювачах, які живлять двигуни постійного струму.

Так, використання водяного (рідинного) охолодження для перетворювачем потужністю 4000 кВт дозволяє виграти приблизно 7,4 % від загального об'єму перетворювача, у порівнянні з таким самим за потужністю перетворювачем, який побудовано з використанням примусового повітряного охолодження.

Представимо цей розрахунок.

Питомий об'єм перетворювача потужністю 4000 кВт, на базі тиристорів з примусовим охолодженням дорівнює:

$$V_{\text{РПП}}(4000) = 0 + 0,00223 \cdot e^{\left(-\frac{4000}{3942,92663}\right)} + 0,01657 \cdot e^{\left(-\frac{4000}{239,70193}\right)} = 8,086 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{\text{М}^3}{\text{кВт}} \right].$$

Питомий об'єм перетворювача потужністю 4000 кВт на базі тиристорів з водяним охолодженням дорівнює:

$$V_{\text{РВод}}(4000) = 0,000158 + 0,01263 \cdot e^{\left(-\frac{4000}{331,48236}\right)} + 0,00218 \cdot e^{\left(-\frac{4000}{3063,27429}\right)} = 7,488 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{\text{М}^3}{\text{кВт}} \right].$$

Приймаючи показники системи з примусовим повітряним охолодженням за 100 %, отримуємо наступну відносну зміну питомого об'єму перетворювача:

$$\Delta V_p = \frac{V_{\text{РПП}} - V_{\text{РВод}}}{V_{\text{РПП}}} \cdot 100 \% = \frac{8,086 \cdot 10^{-4} - 7,488 \cdot 10^{-4}}{8,086 \cdot 10^{-4}} \cdot 100 \% = 7,39 \%$$

Проаналізуємо конструктивні показники інших перетворювачів виробництва підприємств колишнього СРСР [7]. На рис. 5 представлені результати апроксимації залежності питомого об'єму перетворювачів виробництва підприємств колишнього СРСР (елементна база – тиристор, охолодження – примусове повітряне) з діапазоном робочих напруг до одного кВ.

На рис. 6. представлено порівняння результатів апроксимації залежності питомого об'єму перетворювачів підприємств колишнього СРСР та перетворювачів ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь».

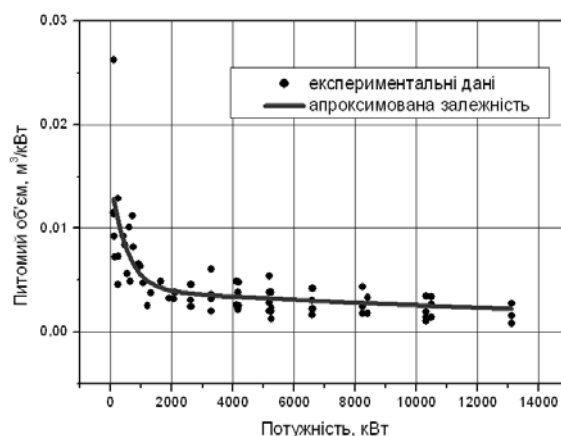


Рис.5. Результати апроксимації залежності питомого об'єму перетворювачів виробництва підприємств колишнього СРСР (елементна база – тиристор, охолодження – примусове повітряне) з діапазоном робочих напруг до одного кВ, від потужності перетворювачів

При аналізі розглянуто перетворювачі для живлення двигунів постійного струму напругою до одного кВ.

Як бачимо (рис. 6), показники питомого об'єму перетворювачів ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь» є кращими у порівнянні з аналогічними показниками перетворювачів інших підприємств колишнього СРСР.

Саме тому для подальшого дослідження впливу типу елементної бази та призначення перетворювачів (загальнопромислового або тягового виконання) за базові показники приймаємо показники перетворювачів ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь».

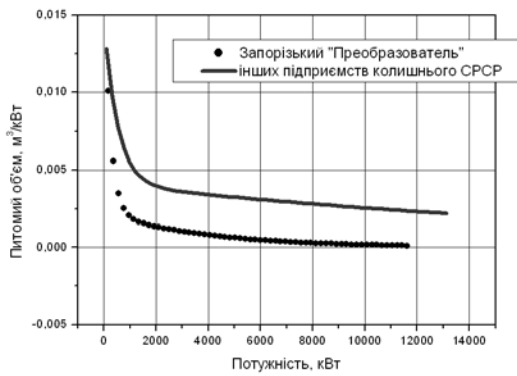


Рис. 6. Порівняння результатів апроксимації залежності питомого об'єму перетворювачів підприємств колишнього СРСР та перетворювачів ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь»

Розглянемо вплив тягового виконання на конструктивні показники перетворювачів, побудованих з використанням тиристорів та примусового повітряного охолодження (яке використовується на тягових перетворювачах рухомого складу виробництва колишнього СРСР, що експлуатується на залізницях України).

На рис. 7 та у табл. 1 представлені результати апроксимації показників питомого об'єму тягових перетворювачів для рухомого складу виробництва колишнього СРСР (елементна база – тиристор, охолодження – примусове повітряне).

На рис. 8 представимо порівняння питомого об'єму перетворювачів тягового виконання та загальнопромислового (на прикладі перетворювачів ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь» (елементна база – тиристор, охолодження – примусове повітряне).

Використовуючи методику визначення кількісної оцінки вигаду від використання водяного охолодження, визначимо на скільки відсотків відрізняються габаритні розміри загальнопромислових та тягових перетворювачів на прикладі перетворювача потужністю 4000 кВт.

Питомий об'єм загальнопромислового перетворювача потужністю 4000 кВт, на базі тиристорів з примусовим охолодженням дорівнює:

$$V_{PЗарПром}(4000) = 0 + 0,00223 \cdot e^{\left(-\frac{4000}{3942,92663}\right)} + 0,01657 \cdot e^{\left(-\frac{4000}{239,70193}\right)} = 8,086 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{M^3}{kWh} \right].$$

Питомий об'єм тягового перетворювача потужністю 4000 кВт на базі тиристорів з примусовим охолодженням дорівнює:

$$V_{PТяг}(4000) = 0 + 0,00273 \cdot e^{\left(-\frac{4000}{2778,60249}\right)} - 7,18075 \cdot 10^{-4} \cdot e^{\left(-\frac{4000}{4378,89879}\right)} = 3,59 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{M^3}{kWh} \right].$$

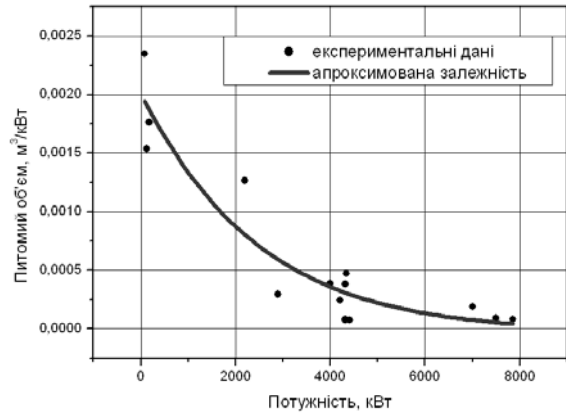


Рис. 7. Результати апроксимації показників питомого об'єму тягових перетворювачів для рухомого складу виробництва колишнього СРСР (елементна база – тиристор, охолодження – примусове повітряне)

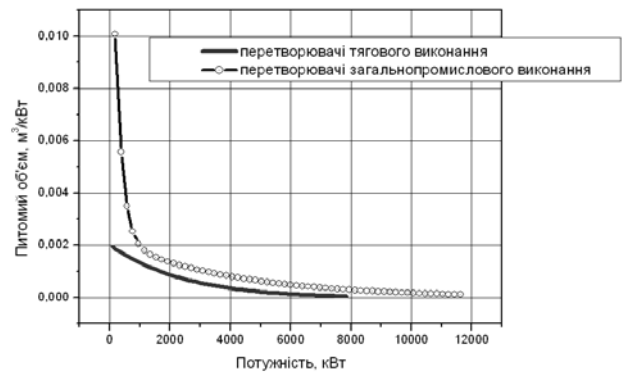


Рис. 8. Порівняння питомого об'єму перетворювачів тягового виконання та загальнопромислового (елементна база – тиристор, охолодження – примусове повітряне)

Приймаючи показники загальнопромислового перетворювача з примусовим повітряним охолодженням за 100 %, отримаємо наступну відносну зміну питомого об'єму перетворювача:

$$\Delta V_p = \frac{V_{PЗарПром} - V_{PТяг}}{V_{PЗарПром}} \cdot 100 \% = \frac{8,086 \cdot 10^{-4} - 3,59 \cdot 10^{-4}}{8,086 \cdot 10^{-4}} \cdot 100 \% = 55,6 \%.$$

Тобто тягові перетворювачі займають приблизно на 50...60 % менший об'єм у порівнянні з загальнопромисловими перетворювачами, що

обумовлено обмеженістю кузовного простору електровозу.

Слід відмітити, що перетворювачі, конструктивні показники яких досліджував автор, побудовані за класичною структурою: трансформатор – керований випрямляч (з відповідними фільтрами), живлення цих перетворювачів, в т.ч. тягових, здійснюється від мережі змінного струму.

Тому при використанні некласичної структури перетворювача або при живленні від мережі постійного струму конструктивні показники можуть змінюватися.

Перетворювачі вітчизняного виробництва та виробництва країн колишнього СРСР, проаналізовані автором, побудовані з використанням елементної бази свого часу.

На сучасному рівні розвитку силової напівпровідникової техніки параметри приладів дозволяють будувати перетворювачі без використання групового з'єднання приладів. Крупні світові компанії, наприклад Siemens, мають готові технічні рішення з використанням найсучасніших силових напівпровідникових вентилів. Виходячи з вищезазначеного, доцільним є проаналізувати, яким чином тип елементної бази впливає на конструктивні показники перетворювачів.

Для виконання цього завдання порівняємо питомі об'єми загальнопромислових перетворювачів ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь» та перетворювачів серії Simoreg DC Master фірми Siemens (елементна база – тиристор, охолодження – примусове повітряне).

На рис. 9 представлена залежність  $V_p = f(P)$  для перетворювачів серії Simoreg DC Master фірми Siemens (елементна база – тиристор, охолодження - примусове повітряне) з діапазоном робочих напруг до одного кВ.

Провести порівняння показників питомого об'єму між перетворювачами заводу «Преобразователь» та перетворювачами серії Simoreg DC Master фірми Siemens на підставі отриманих залежностей можливо тільки в обмеженому діапазоні потужностей (Simoreg тільки до 2000 кВт). Але ж якщо розташувати отримані апроксимовані залежності в одній системі координат (рис. 10), то підтверджується загальновідомий факт доцільності використання сучасних потужних напівпровідникових елементів.

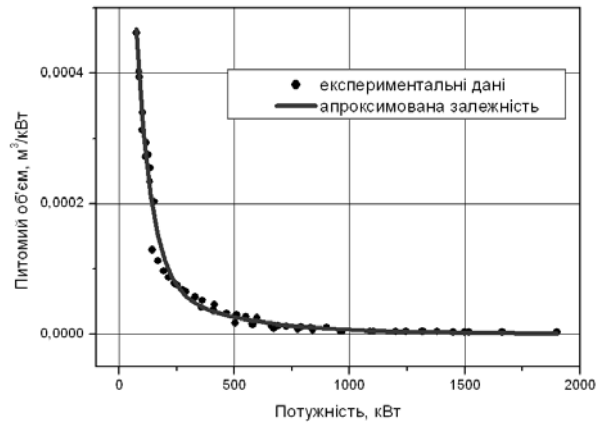


Рис. 9. Результати апроксимації показників питомого об'єму перетворювачів серії Simoreg DC Master фірми Siemens (елементна база – тиристор, охолодження – примусове повітряне) з діапазоном робочих напруг до одного кВ

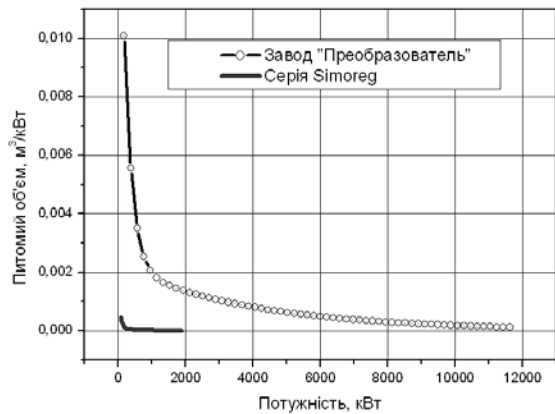


Рис. 10. Порівняння питомого об'єму перетворювачів загальнопромислових перетворювачів ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь» та перетворювачів серії Simoreg DC Master фірми Siemens

### Загальні висновки

1. Проведений аналіз габаритних показників перетворювачів різної потужності для тягового електроприводу з двигунами постійного струму дозволив визначити аналітичні залежності питомого об'єму тягового перетворювача від потужності.
2. При проведенні аналізу перетворювачі групувались за наступними критеріями: виробник, діапазон робочих напруг, елементна база, система охолодження.
3. Проведений аналіз конструктивних показників показав, що тягові перетворювачі займають приблизно на 50...60 % менший об'єм, у порівнянні з загальнопромисловими перетворювачами, що обумовлено обмеженістю кузовного простору електровозу.

Коефіцієнти апроксимації для залежності  $V_p = f(P)$  для різних перетворювачів

| Тип перетворювача  | Коефіцієнти |           |           |            |           |
|--|-------------|-----------|-----------|------------|-----------|
|  | $y_0$       | $A_1$     | $t_1$     | $A_2$      | $t_2$     |
| Перетворювачі ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь» (тиристор, примусове повітряне охолодження), до одного кВ                 | 0           | 0,00223   | 3942,9266 | 0,01657    | 239,70193 |
| Перетворювачі ВАТ «Запорізький завод «Преобразователь» (тиристор, водяне охолодження), до одного кВ                              | 1,580E-4    | 0,01263   | 331,48236 | 0,00218    | 3063,2712 |
| Перетворювачі підприємств колишнього СРСР (тиристор, примусове повітряне охолодження), до одного кВ                              | 0           | 0,01041   | 525,68619 | 0,00412    | 20755,954 |
| Тягові перетворювачі підприємств колишнього СРСР (тиристор, примусове повітряне охолодження), до одного кВ                       | 0           | 0,00273   | 2778,6024 | -7,1807E-4 | 4378,8987 |
| Перетворювачі серії Simoreg DC Master фірми Siemens (елементна база – тиристор, охолодження – примусове повітряне), до одного кВ | 0           | 1,0221E-4 | 361,08463 | 0,00127    | 62,8627   |

4. Вплив елементної бази перетворювача на залежність питомого об'єму перетворювача від потужності пояснюється, в першу чергу, залежністю габаритних розмірів системи охолодження від втрат потужності на силових елементах перетворювача. Так, перетворювачі виробників країн колишнього СРСР характеризуються гіршими показниками у порівнянні з перетворювачами західних виробників, оскільки елементною базою цих перетворювачів є прилади з меншим класом та номінальним струмом.

5. Перетворювачі, конструктивні показники яких досліджував автор, побудовані за класичною структурою: трансформатор – керований випрямляч (з відповідними фільтрами), живлення цих перетворювачів, в тому числі тягових, здійснюється від мережі змінного струму.

6. При використанні неklasичної структури перетворювача або при живленні від мережі постійного струму отримані конструктивні показники є базовими для визначення відповідних показників нетрадиційних перетворювачів.

7. Отримані результати досліджень є базою для визначення конструктивних показників перетворювачів тягового електроприводу на базі тягових двигунів постійного струму.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Захарченко, Д. Д. Тяговые электрические машины [Текст]: учебник для вузов ж.-д. трансп. / Д. Д. Захарченко, Н. А. Романов. – М.: Транспорт, 1991. – 343 с.
2. Калинин, В. К. Электровозы и электропоезда. [Текст] / В. К. Калинин. – М.: Транспорт, 1991. – 480 с.
3. Безрученко, В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу [Текст]: навч. посібник / В. М. Безрученко, В. К. Марченко, В. В. Чумак. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2003. – 252 с.
4. Преобразовательные устройства электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями. [Текст] / А. М. Солодунов и др.; под ред. А. М. Солодунова. – Рига: Зинантне, 1991. – 351 с.
5. Котельников, А. В. Электрификация железных дорог. Мировые тенденции и перспективы [Текст] / А. В. Котельников. – М.: Интекст, 2002. – 104 с.
6. Зиновьев, Г. С. Основы силовой электроники [Текст]: учебник. – Ч. 1 / Г. С. Зиновьев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. – 199 с.
7. Чиженко, И. М. Справочник по преобразовательной технике [Текст] / И. М. Чиженко, П. Д. Андриенко; под ред. И. М. Чиженко. – К.: Техніка, 1978. – 447 с.

Надійшла до редколегії 30.11.2008.

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ВЕЛИЧИНУ КРИТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ МОМЕНТА И АБСОЛЮТНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ

Стаття присвячена дослідженню впливу нагріву обмоток асинхронного двигуна на величину критичних значень моменту і абсолютного ковзання.

Статья посвящена исследованию влияния нагрева обмоток асинхронного двигателя на величину критических значений момента и абсолютного скольжения.

The article is devoted to study of influence of the heating of asynchronous engine coils on the size of critical values of moment and absolute sliding.

В системы управления тяговыми асинхронными двигателями, кроме датчиков тока и скорости вращения, вводится еще и датчик температуры. Это необходимо, т.к. температура влияет как на величину критического момента  $M_{кр}$ , так и на величину абсолютного критического скольжения  $f_{2кр}$ . А это изменяет жесткость характеристик и, следовательно, требует коррекции в управлении.

Покажем влияние температуры обмоток на примере расчета механических характеристик тягового двигателя АД 914 электровоза ДСЗ, используя известные параметры этого двигателя.

Поскольку Международная электротехническая комиссия (МЭК) рекомендует делать расчет потерь и характеристик тяговых асинхронных двигателей для температуры 150 °С, то приведем значения активных сопротивлений для этой температуры:

$r_1$  – активное сопротивление обмотки статора,  $r_1 = 0,0344$  Ом;

$r'_2$  – приведенное активное сопротивление алюминиевой обмотки ротора,  $r'_2 = 0,0308$  Ом.

При номинальной частоте  $f_{1н} = 55,9$  Гц:

$x_1$  – индуктивное сопротивление обмотки статора,  $x_1 = 0,23$  Ом;

$x'_2$  – индуктивное сопротивление обмотки ротора,  $x'_2 = 0,21$  Ом.

Критический момент для асинхронного двигателя [1]:

$$M_{кр} = \frac{m_1 \cdot p}{2\pi \cdot f_1} \cdot \frac{U_{1ф}^2}{2 \cdot \left[ r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2} \right]}, \quad (1)$$

где  $m_1$  – число фаз статора,  $m_1 = 3$ ;  $p$  – число пар полюсов,  $p = 3$ ;  $f_1$  – текущее значение частоты питающего напряжения, Гц;  $U_{1ф}$  – текущее значение фазного напряжения, В.

Величина критического относительного скольжения:

$$s_{кр} = \frac{r'_2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}}. \quad (2)$$

Абсолютное критическое скольжение:

$$f_{2кр} = f_1 \cdot s_{кр}. \quad (3)$$

Расчеты произведены для частот тока статора:  $f_1 = 1$  Гц; 55,9 Гц; 146 Гц и температур  $t = 20; 60; 100; 150$  °С, так как двигатель может работать при температурах охлаждающего воздуха от –40 °С до +40 °С.

Пересчет величин сопротивлений для принятых значений температуры производился по формуле [2]:

$$r_{гор} = r_{хол} \cdot \left[ 1 + \alpha_t \cdot (t_{гор}^\circ - t_{хол}^\circ) \right], \quad (4)$$

где  $r_{хол}$  – сопротивление проводника в холодном состоянии (обычно принимается температура 20 °С);  $\alpha_t$  – температурный коэффициент сопротивления, для алюминия  $\alpha_t = 0,00426$ , для меди  $\alpha_t = 0,00433$ ;  $t_{гор}, t_{хол}$  – известные, расчетные или принимаемые величины температур.

Примем в диапазоне изменения частот от  $f_{1min}$  до  $f_{1н}$  величину  $\frac{E}{f_1} = const$ , а в диапазоне

от  $f_{1н}$  до  $f_{1м}$   $U_{1ф} = \text{const}$ .

Известно, что при частотном регулировании по закону  $\frac{E}{f_1} = \text{const}$  будет иметь место постоянный магнитный поток  $\Phi = \text{const}$ . А при одинаковых значениях магнитного потока на разных частотах  $f_1$  значения критических моментов также будут практически одинаковыми. Исходя из вышеизложенного, можно, используя формулу (1), решить обратную задачу – по известному критическому моменту найти для любой частоты  $f_1$  необходимую величину напряжения  $U_{1ф}$ , что позволит рассчитать величину момента для соответствующих частот.

Задавая величину абсолютного скольжения  $f_2$ , можно построить зависимость  $M = \varphi(f_2)$ , предварительно рассчитав абсолютное критическое скольжение  $f_{2кр}$ .

Характеристики, рассчитанные для температур 20 °С и 150 °С, изображены на рис. 1.

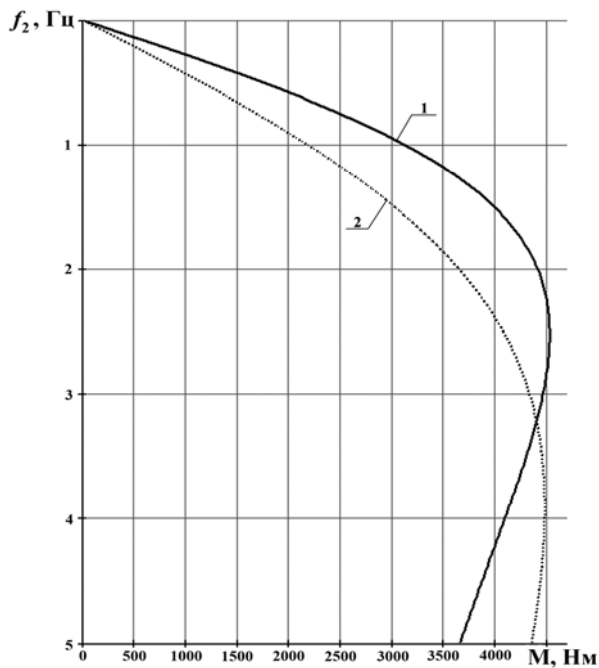


Рис. 1. Влияние температуры на зависимость  $M = \varphi(f_2)$  при  $f_1 = 146$  Гц:  
1 – при  $t = 20$  °С; 2 – при  $t = 150$  °С

При нагревании обмоток двигателя увеличение  $r_2'$  приводит к существенному увеличению  $s_{кр}$  и  $f_{2кр}$ . Т.к. при частоте 146 Гц  $r_1 \ll (x_1 + x_2')$ , то сопротивление статорной обмотки  $r_1$  практически не влияет на величины  $s_{кр}$  и  $f_{2кр}$ . Это приводит к значительному смягчению характеристики при той же частоте

$f_1$  (кривая 2).

На рис. 2 показан график зависимости  $M = \varphi(f_2)$  для пусковой частоты  $f_1 = 1$  Гц. В этом случае, как и при частоте  $f_1 < 1$ , величина  $f_{2кр}$  практически неизменна, т.к.  $r_1 \gg (x_1 + x_2')$ , в то же время величина критического момента уменьшается существенно.

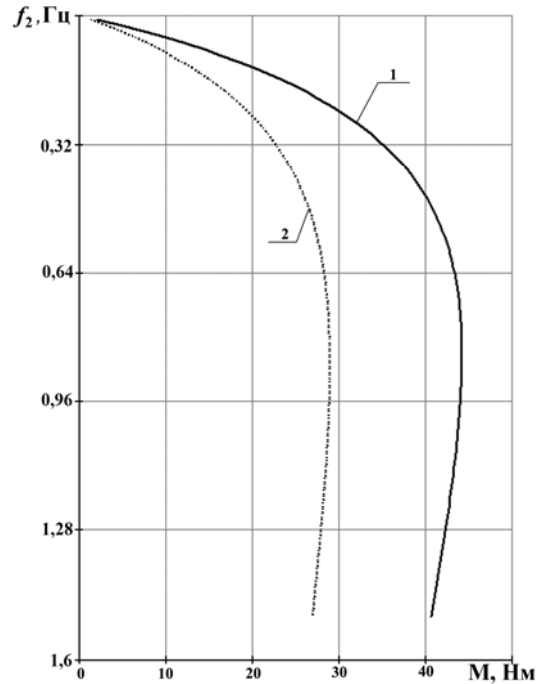


Рис. 2. Влияние температуры на зависимость  $M = \varphi(f_2)$  при  $f_1 = 1$  Гц:  
1 – при  $t = 20$  °С; 2 – при  $t = 150$  °С

Далее были рассчитаны значения критических моментов  $M_{кр}$  и абсолютных критических скольжений  $f_{2кр}$  для ранее принятых величин частот  $f_1$  и температур. По результатам расчета построены графики зависимости  $M_{кр} = \varphi(t)$  и  $f_{2кр} = \psi(t)$  (соответственно рис. 3 и 4).

Проанализировав график зависимости  $M_{кр} = \varphi(t)$ , можно сказать, что с увеличением температуры обмоток двигателя критический момент уменьшается, и тем значительно, чем ниже частота питающего напряжения  $f_1$ .

Величина  $f_{2кр}$  не зависит от величины питающего напряжения, а только от соотношения активных и индуктивных сопротивлений. Величина индуктивных сопротивлений не зависит от температуры, а активных – зависит существенно. Поэтому при увеличении температуры обмоток значение абсолютного критического

скольжения  $f_{2кр}$  возрастает тем больше, чем выше температура и частота питающего напряжения  $f_1$  (см. рис. 4).

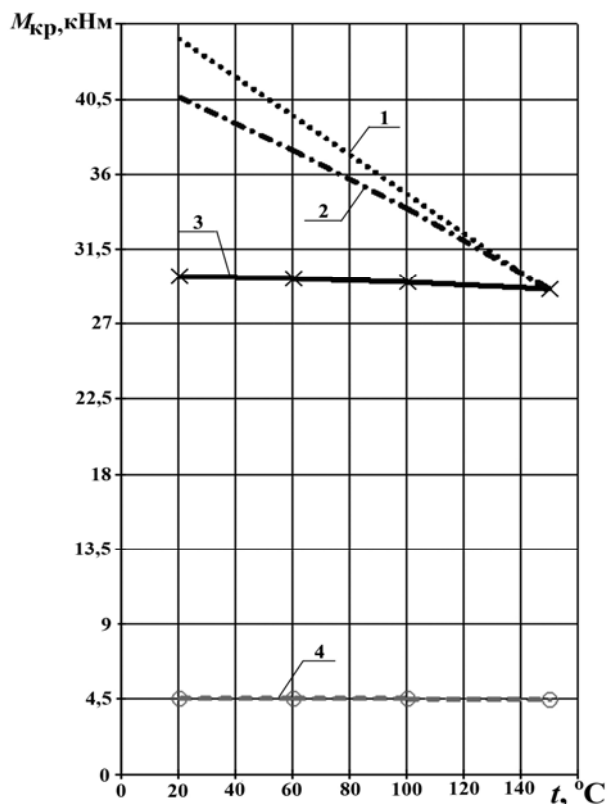


Рис. 3. Зависимость  $M_{кр} = \varphi(t^\circ)$  при  $f_1 = \text{var}$  :

1 – при  $f_1 = 1$  Гц; 2 – при  $f_1 = 3$  Гц;

3 – при  $f_1 = 55,9$  Гц; 4 – при  $f_1 = 146$  Гц ( $U_{1ф} = U_{1н}$ )

Зависимости  $f_{2кр} = \psi(t^\circ)$  (рис. 4) показывают, что при увеличении температуры обмоток значение абсолютного критического скольжения увеличивается, и тем значительнее, чем больше величина частоты питающего напряжения  $f_1$ .

### ВЫВОДЫ

1. Увеличение температуры обмоток двигателя от 20 °С до 150 °С приводит к уменьшению критического момента  $M_{кр}$  и тем больше, чем ниже частота питающего напряжения. При самых низких пусковых частотах, например 1 Гц, критический момент для двигателя АД 914 снижается примерно на 30%. При 146 Гц – не более 3%.

2. Абсолютное критическое скольжение  $f_{2кр}$  с повышением температуры возрастает, что приводит к существенному смягчению характеристик, за исключением самых низких пусковых частот, при которых изменения незначительные. При этих частотах характеристики сильно смягчаются из-за значительного уменьшения критического момента.

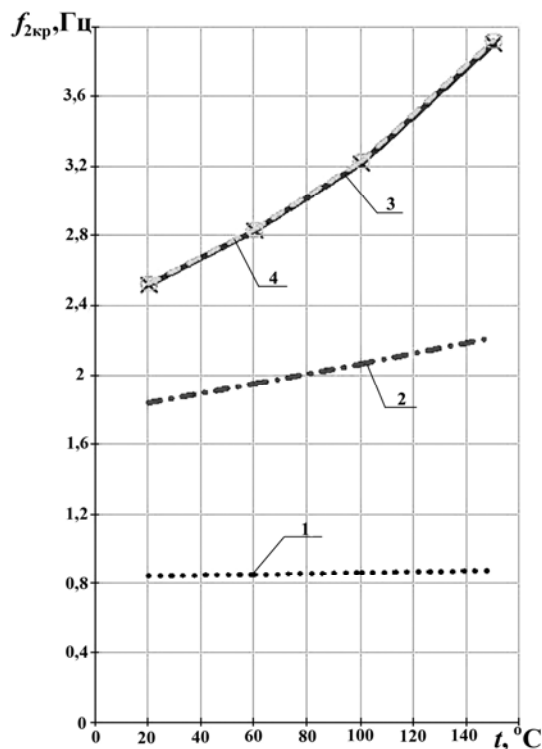


Рис. 4. Зависимость  $f_{2кр} = \psi(t^\circ)$  :

1 – при  $f_1 = 1$  Гц; 2 – при  $f_1 = 3$  Гц;

3 – при  $f_1 = 55,9$  Гц; 4 – при  $f_1 = 146$  Гц

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пиотровский, Л. М. Электрические машины: учебник для техн. [Текст] / Л. М. Пиотровский. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 504 с.
2. Ротанов, Н. А. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями [Текст] / Н. А. Ротанов. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.

Поступила в редколлегию 03.12.2008.

А. А. ПАНЧЕНКО (ГОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Российская Федерация)

## ДИАГНОСТИКА ЗАГРУЖЕННОСТИ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ДВИЖЕНИИ И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ ПУТИ

Пропонується метод комплексного визначення ваги локомотива і його динамічних впливів на верхню будову залізничної колії на основі автоматизованих вимірювальних систем, що не мають вантажоприймальних пристроїв.

Предлагается метод комплексного определения веса локомотива и его динамических воздействий на верхнее строение железнодорожного пути на основе автоматизированных измерительных систем, не имеющих грузоприёмных устройств.

The method of complex determination of locomotive weight and its dynamic effects on superstructure of railway track on the basis of automated measuring systems having no cargo platform devices is offered.

Увеличение пропускной способности участков железной дороги – это один из качественных показателей перевозочного процесса железнодорожного транспорта. Улучшение этого показателя возможно за счет увеличения скорости прохождения и/или массы поезда по участкам пути. Сдерживающим фактором увеличения пропускной способности движения подвижного состава (ПС) являются участки железнодорожного пути с кривыми малого радиуса, а также стрелочные переводы. Эта проблема носит как региональный, так федеральный характер. Снятие ее возможно при решении комплексной задачи, стоящей перед научными работниками железнодорожного транспорта, которая включает в себя:

- повышение устойчивости верхнего строения пути кривого участка железной дороги,
- способы совершенствования эксплуатационно-технических характеристик тележек ПС,
- контроль технико-эксплуатационного состояния подвижного состава и верхнего строения пути.

Существенную помощь в определении динамических свойств «рельс-колесо» при движении ПС на скоростных участках железной дороги для оценки устойчивости верхнего строения пути и эксплуатационных характеристик экипажной части ПС может оказать применение информационно-измерительных систем, основу которых составляет весоизмерительное устройство [1, 2]. Предлагаемая ве-

соизмерительная система, отличительной особенностью которой является:

- отсутствие грузоприемного устройства,
- встраиваемость в стандартное межшпальное расстояние,
- отсутствие ограничения скорости движения состава при измерении,
- многоканальная обработка данных.

Состав оборудования весоизмерительного устройства показан на рис. 1. Оно состоит из датчиков, устройства сопряжения и измерительной ЭВМ. Для стационарных весоизмерительных устройств используется высокопроизводительная ЭВМ, дополненная PCI-платой многоканального устройства сбора данных (МУСД). Для работы в полевых условиях используется МУСД, связанное с ноутбуком через порт USB. Устройство сопряжения предназначено для усиления и фильтрации сигнала с датчиков, поступающих на МУСД. Масштабируемые усилители, имеющие в плате МУСД, не используются. Устройство сопряжения – четырехканальное модульного типа и имеет возможность наращивания каналов от 4-х до 32-х.

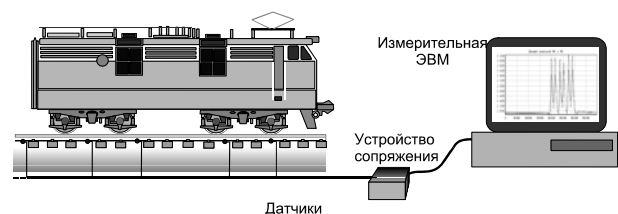


Рис. 1. Состав оборудования весоизмерительного устройства

Число каналов, равно как и число датчиков, зависит от выбора задачи экспресс-диагностики.

Таким образом, на основе весоизмерительного устройства можно строить различные наборы сканирующих информационно-измерительных комплексов, ориентированных на решение задач транспортной экспресс-диагностики.

Каждая задача экспресс-диагностики требует разработки соответствующих методов измерения. Условно эти методы можно разделить на следующие группы:

- по способу определения физических величин – суммарные и разностные,
- по способу обработки информации со сканирующих датчиков – последовательные, параллельные, последовательно- параллельные,
- по способу определения динамических характеристик объекта измерения – амплитудно-фиксированные, амплитудно-плавающие и фиксированно-плавающие.

Сочетание методов нескольких групп образуют *комбинированные методы* измерения, реализация которых возможна с помощью специального программного обеспечения (СПО). СПО дает возможность визуального представления нагрузок на рельс. Оно включает в себя препроцессорную и постпроцессорную обработку данных. Препроцессорная обработка данных является типичной для всех практических применений данного весоизмерительного устройства и информационно-измерительных комплексов на его основе и служит для визуализации исходных данных, полученных при измерении. Постпроцессорная обработка данных включает в себя алгоритмы, реализующие комбинированные методы измерения.

Все это говорит о том, что она может быть использована не только как измеритель веса ПС в движении, но и для других целей. В частности, измерительная система может быть использована для измерения боковых сил, возникающих при прохождении кривого участка каждой оси тележек, для оценки динамического воздействия экипажной части локомотива при испытаниях новой модели и др.

Рассмотрим эти цели более подробно применительно к испытаниям экипажной части локомотива.

Суть способа измерения боковых нагрузок на рельсовые нити, возникающих при прохождении локомотива в кривых малого радиуса, заключается в следующем. Перед вхождением в кривой участок ПС взвешивается «поколесно» на прямом участке пути. Вес (давление) от каждого колеса тележки локомотива на рельс принимается как эталон. При движении колеса

по кривому участку пути выполняется его взвешивание в 5-ти и более точках. Из значений веса, полученных в этих точках, вычитается «эталонный вес» и определяются «веса» динамических боковых нагрузок. Данный способ назван *комбинированным* в силу того, что он является составным и включает измерение веса ПС в движении с точностью до статического и фиксацию динамики его на кривом участке пути. Для реализации этого способа необходимо расположить тензометрические датчики особым образом, как показано на рис. 2.

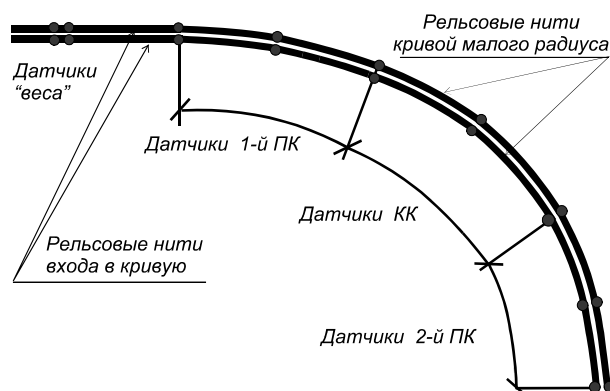


Рис. 2. Расположение тензометрических датчиков на кривом участке пути

Измерительный комплекс позволяет определить напряжения в наружной и внутренней кромках подошвы рельсов, а также в наружной кромке остряков и давление на шпалу в целом на прямых или кривых участках пути. Для этой цели используются специальная конструкция сдвоенных датчиков, которые устанавливаются в определенном порядке. На участке кривой малого радиуса (350 или 600 м) можно установить под каждой нитью рельса семь сдвоенных датчиков и четыре на входе в кривую. Соотношение поперечной и вертикальной сил ( $L/V$ ) определяются программной обработкой результатов измерения. Сдвоенные измерительные датчики устанавливаются под подошвами рельсов и имеют малые габариты, что делает их возможными в работе на стрелочных переводах. Весоизмерительное устройство может с успехом применяться для оценки динамической загруженности колесных пар локомотива, как на стадии изготовления, так и в процессе эксплуатации локомотива.

Промышленное предприятие, выпускающее локомотивы, всегда стремится, чтобы любая модель и каждый экземпляр локомотива имели равномерно распределенную нагрузку на рельсовое полотно.

Задачей любого локомотиворемонтного предприятия является обеспечение работоспо-

собности локомотивного парка при сохранении эксплуатационных показателей каждого конкретного локомотива. Одна из проблем эксплуатации – наиболее полное использование сцепного веса локомотива, который не всегда может соответствовать его массе. Если учесть, что тяговые свойства локомотива определяются по наименее загруженной колесной паре, а загруженность колесной пары обеспечивается элементами индивидуального рессорного подвешивания, то правильная регулировка этих элементов играет важную роль. Неправильное распределение масс по осям отрицательно сказывается на ресурсе ТЭД и бандажей колесных пар, влияет на согласованную работу секций локомотива. Выполнить регулировку в локомотивном депо без специального оборудования практически невозможно.

Существенную помощь в определении правильной регулировки элементов индивидуального рессорного подвешивания в условиях динамической работы колесной пары может оказать применение весоизмерительных устройств на основе программно-аппаратных комплексов (ПАК).

Суть способа оценки загруженности локомотивных колесных пар заключается в следующем. Локомотив взвешивается «поколесно» на прямом участке пути. Вес (давление) от каждого колеса тележки локомотива фиксируется тензометрическими датчиками и сигналы, поступающие с них, оцифровываются и обрабатываются с помощью оборудования (см. рис. 1).

Применяя *амплитудно-фиксированный* метод [2] для визуализации измерений, можно получить двумерную или трёхмерную диаграмму распределения динамической загруженности колесной пары, тележки и локомотива и состава.

Геометрическая интерпретация идеальной загруженности колесных пар тележек локомотива может быть представлена в виде горизонтальных компланарных плоскостей при статическом развешивании. В динамическом режиме при идеальной загруженности колесных пар такие плоскости имеют наклон в направлении движения локомотива, что обусловлено реактивными моментами. Назовем условно эти плоскости реактивными. Согласно нормативным документам, допускается возвышение одной нити рельса над другой на горизонтальном участке пути на величину  $\pm 5$  мм. Следовательно, реактивные плоскости могут иметь также и поперечный наклон. В условиях динамической

работы реактивные плоскости представляют собой косые плоскости для двухосных тележек и линейчатые поверхности 6-го порядка для трехосных. Поясним по рис. 6 загруженность колесных пар электровоза ЭП1.

Самой незагруженной осью в локомотиве оказалась вторая колесная пара второй тележки, которая отличается на 300 кгс, что является допустимой величиной эксплуатационной характеристики электровоза ЭП1. Подгрузив эту колесную пару, разгрузятся первые колесные пары второй и третьей тележек, а развеска локомотива будет близка к идеальной (см. рис. 3).

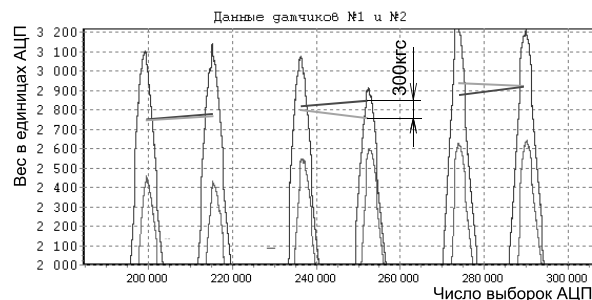


Рис. 3. Диаграмма определения развески колесных пар электровоза ЭП1 в динамическом режиме

Пример наглядного отображения нагрузок на рельсовое полотно при прохождении шестиосного электровоза ВЛ60К со скоростью 14 км/ч показан на рис. 4. Вертикальная шкала, как и на рис. 3, выражена в условных единицах АЦП, на горизонтальной шкале показано число выборок АЦП. «Вес» разряда АЦП составляет 5,5 кг. Неточный развес имеет средняя колесная пара второй тележки электровоза, которая оказалась «легче» загружена на 9 %, что составляет примерно 600 кгс. Как эти проценты отразятся на тяговых свойствах электровоза, и сколько будет экономиться песка на буксовании или юзе? На эти вопросы ответят специалисты данной области. Задача диагностики заключается в том, чтобы выявить допустимые пределы отклонений эксплуатационных характеристик локомотива от нормативных. Для данного локомотива, на наш взгляд, необходима статическая регулировка элементов рессорного подвешивания в условиях деповского ремонта на основе весоизмерительной системы.

С помощью весоизмерительной системы проводилась проверка загруженности колесных пар тележек и диагностика рессорного подвешивания в условиях динамической работы маневровых локомотивов серии ТЭМ. Были проверены шесть тепловозов этой серии. Среднестатистическое отклонение загруженности колесной пары этих локомотивов составило

$\pm 100$  кгс, что говорит о правильной регулировке рессорного подвешивания маневровых тепловозов. Диагностика подобного рода проводилась и для электровозов серии ВЛ80с. При расчете загруженности колесных пар этого локомотива учитывалась работа противоразгрузочного устройства.

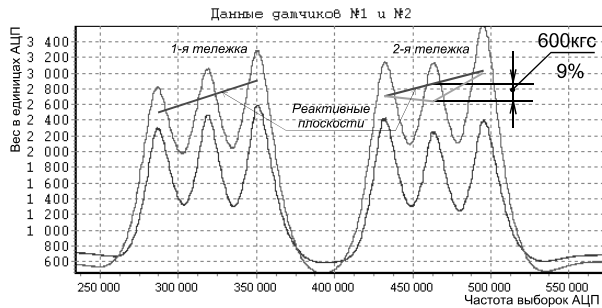


Рис. 4. Визуализация нагрузок колес электровоза ВЛ60К

Другим достоинством весоизмерительной системы является возможность оценки некруглости бандажей колесных пар подвижного состава. Пример оценки некруглости колес тепловоза ТЭМ2 № 6476 показан на рис. 5. При прохождении тепловоза по весоизмерительному устройству со скоростью 9 км/ч отмечались ударные нагрузки на рельс, которые достигали до 500 кгс. Хотя «виновником» является ползун на одном колесе, удар передается и второму колесу пары.

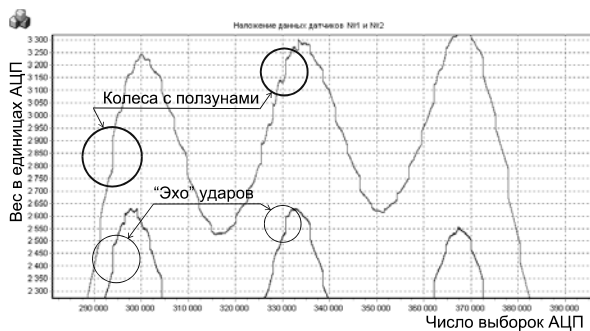


Рис. 5. Визуализация ударных воздействий колес тепловоза ТЭМ2

На рис. 5 два удара выделены окружностями, причем источник указан утолщенным контуром. Анализируя результаты измерений подвижного состава на предмет некруглости колес, можно сделать вывод о том, что этот уровень ударных нагрузок при скорости движения 9 км/ч будет намного выше на более высоких скоростях, что

может привести к возможному риску аварии ПС [3].

Таким образом, применяя предлагаемую автоматизированную измерительную систему для исследований проблем железнодорожного транспорта, можно ожидать следующие результаты:

- отсутствие грузоприемного устройства весоизмерительной системы позволяет встраивать ее в железнодорожные прямые, кривые и стрелочные переводы;
- отсутствие ограничения скорости прохождения подвижного состава по исследуемому участку является основным условием их применения на главных магистралях;
- программно-аппаратный комплекс предполагает его использование в полевых условиях;
- наличие визуализации измерительных данных в совокупности определяет новый инструментарий для специалистов-исследователей;
- совокупность измерительных данных служит основой для выработки технологических условий эксплуатации железной дороги конкретного региона.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Весоизмерительное устройство [Текст]: пат. № 62699 / Панченко А. А., Власьевский С. В., Дё Ден Бок. – 20.10.2006.
2. Панченко, А. А. Программно-аппаратный комплекс для измерения боковых сил, возникающих при движении подвижного состава в кривых малого радиуса [Текст] / А. А. Панченко, С. В. Власьевский // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2006. – № 2. – С. 64-68.
3. Власьевский, С. В. Автоматизированные весоизмерительные комплексы как инструментарий обеспечения комплексной безопасности [Текст] / С. В. Власьевский, А. А. Панченко // Сб. науч. тр. по материалам науч.-практ. конф. «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2007» (1 – 15 июня 2007 г.). – Т. 1. Транспорт. Физика и математика. – С. 47-54.

Поступила в редколлегию 24.09.2008.

А. А. ПАНЧЕНКО, Е. Е. ТЕН (ГОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Российская Федерация)

## ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ДВИЖЕНИИ

У статті висвітлюються питання класифікації та діагностики дефектів, що виникають у колісних парах рухомого складу залізничного транспорту в період експлуатації.

В статье освещаются вопросы классификации и диагностики дефектов, возникающих в колесных парах подвижного состава железнодорожного транспорта в период эксплуатации.

In the article the issues of classification and diagnostics of defects arising in wheel pairs of a rolling stock of railway transport within the operation period are elucidated.

Работа подвижного состава в системе «колесо-рельс» связана со значительным износом обоих компонентов. Возникающие при этом дефекты колесных пар подвижного состава являются чрезвычайно острой проблемой. В результате появляется угроза безопасности движения поездов и огромные расходы на ликвидацию последствий в случае аварии. Острота данной проблемы растет по мере увеличения срока службы рельсов и колесных пар.

В процессе эксплуатации колесная пара подвергается воздействию статических и динамических нагрузок, в результате которых возникают многочисленные дефекты, ухудшаются геометрия колеса, прочностные качества материала и состояние поверхности катания, растут напряжения, снижаются плавность хода и уровень безопасности движения. Поэтому изучение и диагностирование дефектов колесной пары, возникающих в процессе срока службы, должны помочь предупредить их появление и способствовать повышению эффективности перевозочного процесса.

Чтобы успешно выявлять дефекты, необходимо, прежде всего, знать их разновидности, характерные особенности и признаки проявления. В связи с этим рассмотрим наиболее часто встречающиеся дефекты колесной пары и классифицируем их.

Для начала определим общую формулировку дефекта. Итак, дефектом называется каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям или стандартам. Термин «дефект» применяют при контроле и диагностике качества продукции в процессе изготовления, диагностики и ремонта. В зависимости от места расположения, характера,

степени повреждения все дефекты условно подразделяются на следующие виды:

- производственные и эксплуатационные;
- явные и скрытые;
- критические, значительные и малозначительные;
- устранимые и неустраняемые.

В данной статье будут рассмотрены дефекты, возникающие в колесных парах подвижного состава железнодорожного транспорта в период эксплуатации.

Основными неисправностями колесных пар являются: прокат колёс, ползуны, выщербины и навары.



Рис. 1. Ползуны на поверхности катания колес

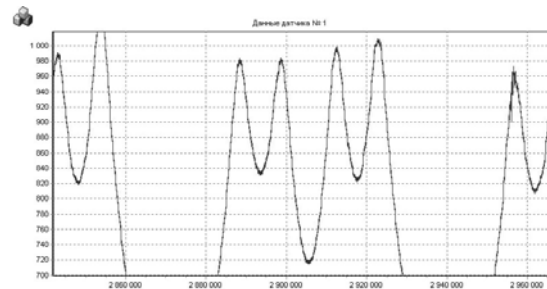


Рис. 2. Гистограмма ползунов на поверхности катания колес

Ползун – несимметричность колёс рельсовых транспортных средств относительно оси вращения. Движение юзом приводит к истиранию заблокированных колёс в месте их соприкосновения с рельсом и появлению на бандаже колеса плоского участка – ползуна (рис. 1). Допустимые значения:

- до 1 мм – скорость установленная;
- 1...2 мм – скорость до 100 км/ч;
- 2...6 мм – скорость до 15 км/ч, ехать до ближайшей станции;
- 6...12 мм – скорость до 10 км/ч, ехать до ближайшей станции с заклиненной колёсной парой [1].

На гистограмме (рис. 2) отчетливо видны зоны провала, которые возникают вследствие уменьшения давления на тензодатчик из-за неровностей на колесе. Зная скорость состава и величину ударных воздействий, мы можем определить характер и значение дефекта колесной пары. В данном случае у нас присутствуют три ползуна по числу провалов. Причем они как бы накладываются друг на друга.

Навар – смещение металла на поверхности катания (рис. 3). На гистограмме (рис. 4) этот дефект дает множественные небольшие колебания, имеющие вид похожий на шум. Этот эффект возникает из-за большого количества неровностей на поверхности катания колеса.



Рис. 3. Навары на бандаже колеса

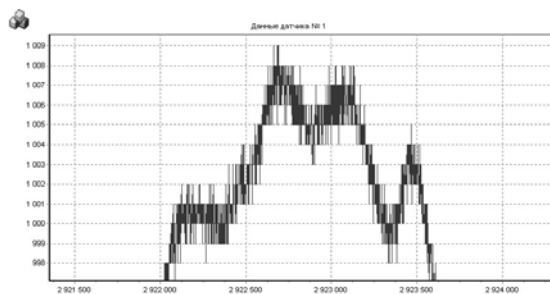


Рис. 4. Гистограмма наваров на бандаже колеса

Дефекты на поверхности катания колес подвижного состава, такие, как ползуны, навар,

чаще всего возникают вследствие интенсивного проскальзывания колес при неблагоприятных условиях сцепления. И при прохождении колеса по рельсу создают повторяющиеся ударные нагрузки большой интенсивности, которые приводят к появлению выщербин – выкрашивание кусочков металла на поверхности катания, или разрушению деталей ходовой части подвижного состава и верхнего строения пути (рис. 5).



Рис. 5. Выщербины на контактной поверхности колеса

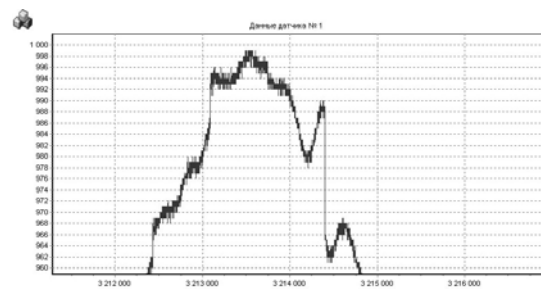


Рис. 6. Гистограмма выщербин на контактной поверхности колеса

Это взаимодействие представляет собой удар, сила которого достигает больших величин и вызывает значительные местные деформации на контакте «колесо-рельс». И характеризуется величиной в сотни килоньютон, ускорениями до 90g и частотой до 1 кГц. Поэтому распознавание ползунов на ранних этапах является актуальной задачей, т.к. приводит к увеличению срока службы подвижного состава в целом [2, 3].

На гистограмме (рис. 6) хорошо видны провал значения сигнала из-за выщербины и два удара, которые приходятся на ее края.

Прокат – равномерный износ по кругу катания колеса. Опасность – в возможности среза болтов (рис. 7). Допускается:

- в скорых поездах (свыше 120 км/ч) – до 5 мм;
- в дальних поездах (до 120 км/ч) – до 7 мм;
- в пригородных и местных – до 8 мм.

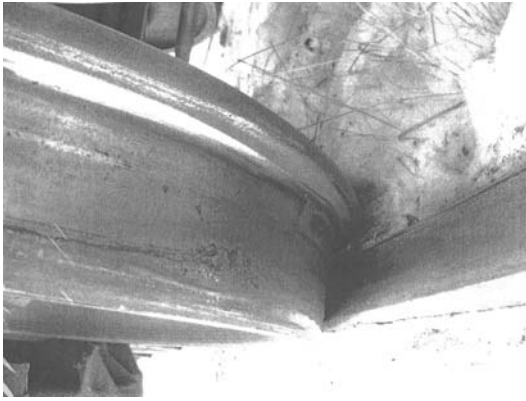


Рис. 7. Прокат по кругу катания

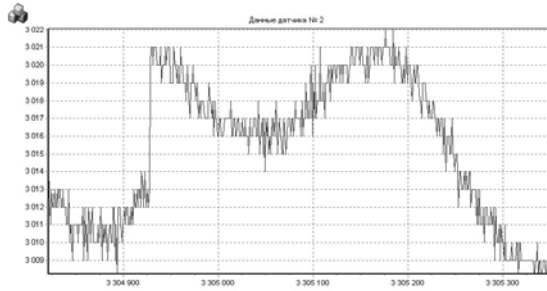


Рис. 8. Гистограмма проката по кругу катания

На рис. 8 изображена гистограмма дефекта. Здесь можно увидеть значительное увеличение сигнала. Это обусловлено тем, что поверхность катания колеса с данным дефектом имеет вид ступенчатой лестницы. И во время прохождения состава колесная пара перескакивает с одной ступеньки на другую, что и вызывает огромное ударное воздействие.

Таким образом, исследования дефектов подвижного состава, подтвердили динамический характер воздействия на рельсы колес с дефектами на поверхности катания (ползунами, наварями, выкрашиваниями), который при неблагоприятных условиях может привести к разрушению колеса и, как следствие, к сходу вагона с пути, что недопустимо. Поэтому важно предупредить аварию и диагностировать дефект на ранних стадиях.

Для этих целей в ГОУ ВПО «Дальневосточном государственном университете путей сообщения», г. Хабаровск было разработано многофункциональное весоизмерительное устройство [4], с помощью которого также можно осу-

ществлять экспресс-диагностику наиболее встречающихся дефектов колесных пар подвижного состава железнодорожного транспорта (рис. 9). Весоизмерительное устройство состоит из тензодатчиков, встроенных в стандартную рельсошпальную решетку, блока сопряжения и измерительной ЭВМ. Информация с каждого датчика считывается со скоростью 100 тыс. измерений в секунду, что позволяет с помощью компьютерной обработки просмотреть полный круг катания каждого колеса подвижного состава в движении на любой скорости прохождения по весам. Программный модуль весоизмерительного устройства обеспечивает нахождение дефектов бандажей колесных пар с наперед заданной точностью: предельно допустимую длину ползуна, глубину выщербины и т.п.

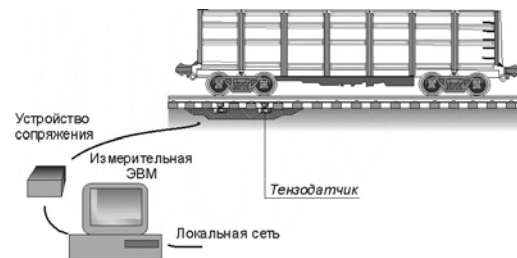


Рис. 9. Многофункциональное весоизмерительное устройство

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энциклопедия [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [www.ru.wikipedia.org](http://www.ru.wikipedia.org)
2. Исследование эксплуатационных дефектов фрикционного сопряжения тормозной колодки с колесом вагона [Текст] / Б. М. Асташкевич и др. // Вестник ВНИИЖТ. – 2004. – № 4.
3. Барзданис, Ю. В. Перспективы развития диагностики коротких неровностей поверхности катания колесных пар подвижного состава [Текст] / Ю. В. Барзданис // Вестник РГУПС. – 2003.
4. Весоизмерительное устройство [Текст] : пат. № 62699 / Панченко А. А., Власьевский С. В., Дё Ден Бок. – 20.10.2006.

Поступила в редколлегию 24.09.2008.

Н. В. РУДЕВИЧ (Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»)

## О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА НА ТОЧНОСТЬ УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ ЕГО ПОГРЕШНОСТИ

В статті розглянуто вплив опору вторинної обмотки високовольтного вимірювального трансформатора струму на похибку пристрою його компенсації.

В статье рассмотрено влияние сопротивления вторичной обмотки высоковольтного измерительного трансформатора тока на погрешность устройства его компенсации.

In the article the influence of resistance of secondary winding of the high-voltage measuring current transformer on the error of device of its compensation is considered.

### Постановка проблемы

Точность учета электроэнергии зависит от точности всех звеньев измерительного комплекса, а именно: высоковольтных измерительных трансформаторов тока и напряжения, средств измерения. В частности, при измерении тока определяющей является погрешность высоковольтного измерительного трансформатора тока (ВИТТ).

### Анализ последних исследований и публикаций

Существует ряд способов повышения точности измерительных трансформаторов тока [1]. В последнее время широкое распространение получило применение аморфных сплавов в качестве ферромагнитного материала, это позволило получить относительную погрешность на уровне 0,2 % во всем диапазоне измерения первичного тока [2]. Однако, самым эффективным способом была и остается электронная компенсация погрешности, которую удалось использовать для компенсации тока намагничивания ВИТТ без снижения надежности устройства [3].

В работе [3] было рассмотрено устройство для измерения тока, которое позволяет компенсировать погрешность высоковольтного измерительного трансформатора тока (ВИТТ) (см. рис. 1).

Разница напряжений вторичной обмотки ВИТТ  $W_2$  и индикационной обмотки ИТТ  $W_3$  подключена к входу операционного усилителя (ОУ) таким образом, что выход ОУ создает такое значение тока в обмотке  $W_4$ , что напряжение на входе ОУ равняется нулю. При этом, если сердечники ВИТТ и ИТТ выполнены из

одинакового ферромагнитного материала и выполняются следующие условия [1]:

$$\frac{l_2 W_5}{W_4} = \frac{l_1 W_6}{W_2}, \quad (1)$$

$$W_2 S_1 = W_3 S_2 \quad (2)$$

где  $W_2$  – число витков вторичной обмотки ВИТТ;

$S_1, S_2$  – поперечное сечение сердечника ВИТТ и ИТТ соответственно;

$W_3, W_4$  – число витков вторичной и первичной обмотки ИТТ;

$W_5, W_6$  – число витков первичных обмоток трансформатора тока устройства ввода тока (ТТ УВТ);

$l_1, l_2$  – средняя длина линии магнитного поля в сердечнике ВИТТ и ИТТ соответственно, то имеет место компенсация тока намагничивания ВИТТ.

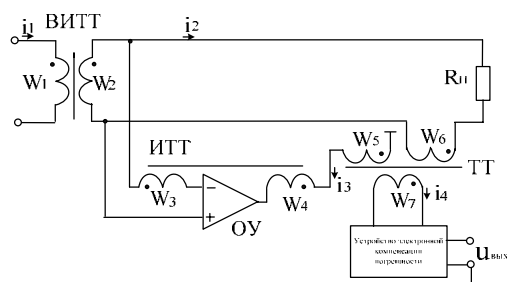


Рис. 1. Устройство для измерения тока

### Цель статьи

Установить влияние параметров ВИТТ на погрешность устройства компенсации его погрешности.

## Основные материалы исследований

Точность компенсации зависит не только от идентичности материалов и выполнении условий (1), (2), но и от параметров операционного усилителя и от величины сопротивления вторичной обмотки ВИТТ. Необходимо отметить, что выполнение условий (1), (2) не представляет трудностей, а современные ОУ имеют параметры близкие к идеальным. Поэтому на точность измерения тока может повлиять расхождение параметров характеристик сердечников ВИТТ и ИТТ, а также наличие сопротивления у вторичной обмотки ВИТТ.

В данной работе рассмотрено влияние сопротивления вторичной обмотки ВИТТ на точность компенсации погрешности ВИТТ.

Для оценки влияния сопротивления вторичной обмотки ВИТТ введем несколько допущений. Так как ТТ УВТ имеет электронную компенсацию погрешности и предполагая, что используется схема компенсации, где  $\frac{dB}{dt} \cong 0$ , будем считать, что работа ТТ УВТ на погрешность устройства не влияет. Также пренебрегаем индуктивностью рассеивания всех обмоток и предполагаем, что первичный ток ВИТТ синусоидальный, т.е.  $i_1 = I_{1m} \sin \omega t$ .

По второму закону Кирхгофа, для тока  $i_3$  запишем:

$$u_2 = W_2 S_1 \frac{dB_1}{dt} - i_2 r_2. \quad (3)$$

Также можно записать:

$$W_2 S_1 \frac{dB_1}{dt} = i_2 R_n + i_2 r_2, \quad (4)$$

где  $u_2$  – напряжение на вторичной обмотке ВИТТ;

$B_1$  – индукция в сердечнике ВИТТ;

$r_2$  – активное сопротивление обмотки  $W_2$ ;

$i_2$  – ток вторичной обмотки ВИТТ;

$R_n$  – сопротивление нагрузки ВИТТ.

По второму закону Кирхгофа  $u_2$  определяется выражением:

$$u_2 = W_3 S_2 \frac{dB_2}{dt} + \Delta u, \quad (5)$$

где  $B_2$  – индукция в сердечнике ИТТ;

$\Delta u$  – напряжение смещения на входе ОУ.

Допуская, что  $i_2 r_2 \gg \Delta u$ , подставим (5) в (3) и с учетом (4) запишем:

$$\begin{aligned} W_3 S_2 \frac{dB_2}{dt} &= W_2 S_1 \frac{dB_1}{dt} - \frac{W_2 S_1 r_2}{r_2 + R_n} \frac{dB_1}{dt} = \\ &= W_2 S_1 \frac{dB_1}{dt} \left(1 - \frac{r_2}{r_2 + R_n}\right). \end{aligned} \quad (6)$$

Следовательно, при выполнении (2) с (6) имеем:

$$B_2 = B_1 \left(1 - \frac{r_2}{r_2 + R_n}\right) = AB_1, \quad (7)$$

где  $A = \left(1 - \frac{r_2}{r_2 + R_n}\right)$ .

Согласно закону Ома, ток  $i_3$  определяется соотношением:

$$i_3 = \frac{u_{\text{выхОУ}} - W_4 S_2 \frac{dB_2}{dt}}{r_4 + r_5}, \quad (8)$$

где  $r_4, r_5$  – активное сопротивление обмотки  $W_4$  и  $W_5$ , соответственно;

$u_{\text{выхОУ}} = \Delta u K_{\text{ус}}$  – выходное напряжение ОУ,

где  $K_{\text{ус}}$  – коэффициент усиления ОУ.

После подстановки (5) и (3) в (8) с учетом (4) получим:

$$i_3 = i_2 \frac{R_n K_{\text{пид}}}{r_4 + r_5} + \frac{dB_2}{dt} \frac{(-W_4 S_2 - W_3 S_2 K_{\text{пид}})}{r_4 + r_5}. \quad (9)$$

Воспользовавшись описанием ферромагнитного сердечника семейством петель гистерезиса [4], выразим токи  $i_3$  и  $i_2$  в соответствии с законом полного тока:

$$\begin{aligned} i_3 &= \frac{H_2(B_2) l_2}{W_4} = \frac{l_2}{W_4} \{f_{\text{нечетн}}(B_2) + \\ &+ \frac{1}{\omega} \varphi_{\text{четн}}(B_2) \frac{dB_2}{dt}\}; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} i_2 &= i_1 \frac{W_1}{W_2} - \frac{H_1 l_1}{W_2} = \frac{W_1}{W_2} I_{1m} \sin \omega t - \\ &- \frac{l_1}{W_2} \{f_{\text{нечетн}}(B_1) + \frac{1}{\omega} \varphi_{\text{четн}}(B_1) \frac{dB_1}{dt}\}, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $\varphi_{\text{четн}}$  – четная функция, характеризующая потери на гистерезис,

$f_{\text{нечетн}}$  – нечетная функция, характеризующая потери на намагничивание,

$\omega$  – угловая частота.

Подставляя (11) в (9) и приравнявая к (10), получаем нелинейное дифференциальное уравнение, которое решаем методом малого пара-

метра относительно  $\frac{dB_2}{dt}$ . Затем раскладываем четные и нечетные функции в ряд Тейлора, выражая четные и нечетные степени  $\cos \omega t$  и  $\sin \omega t$  через кратные углы. После подстановки производной индукции в (9) выразим ток  $i_3$  первой гармоники:

$$i_{31} = i_2 \frac{R_H K_{\text{ннд}}}{r_4 + r_5} + [B_{2m} \omega \sin \omega t - \frac{l_1}{B_{2m} W_2} \frac{B_{2m} R_H K_{\text{ннд}}}{(W_4 S_2 + W_3 S_2 K_{\text{ннд}})} \times \{ \alpha_{11} \sin \omega t - \gamma_{11} \cos \omega t \} - \frac{B_{2m} l_2 (r_4 + r_5)}{B_{2m} W_4 (W_4 S_2 + W_3 S_2 K_{\text{ннд}})} \times \{ \alpha_{21} \sin \omega t - \gamma_{21} \cos \omega t \}] \times \frac{(-W_4 S_2 - W_3 S_2 K_{\text{ннд}})}{r_4 + r_5}, \quad (12)$$

где  $\alpha_{11} = f(B_{1m})$ ,  $\alpha_{21} = f(B_{2m})$  и  $\gamma_{11} = f(B_{1m})$ ,  $\gamma_{21} = f(B_{2m})$ .

Из закона полного тока для ТТ УВТ выразим:

$$i_4 W_7 = i_3 W_5 + i_2 W_6. \quad (13)$$

Известно, что первая гармоника тока  $i_2$  определяется выражением [4]:

$$i_{21} = \frac{\omega W_2 S_1 B_{1m}}{R_H} [(1 - \frac{A_m}{\omega B_{1m}} \alpha_{11}) \sin \omega t + \frac{A_m}{\omega B_{1m}} \gamma_{11} \cos \omega t], \quad (14)$$

где  $A_m = \frac{R_H l_1}{W_2^2 S_1}$ ,  $B_{1m} = \frac{I_{1m} A_m W_1}{\omega l_1}$ .

Подставляя (12) и (14) в (13), после ряда преобразований получаем выражение для определения фазовой и относительной амплитудной погрешности (при условии выполнения (1) и (2)):

$$\Delta \varphi = [\frac{R_{H\Sigma} l_1}{\omega W_2^2 S_1} \beta_{11}(B_{1m})] - \frac{R_{H\Sigma} W_5 l_2 \beta_{12} ((1 - \frac{r_2}{r_2 + R_H}) B_{1m})}{\omega W_6 W_4 (\frac{W_4 S_2}{K_{\text{ннд}}} + W_3 S_2)}, \quad (15)$$

$$\delta_i = -1 + \left\{ \left[ \left( 1 - \frac{R_{H\Sigma} l_1}{W_2^2 S_1 \omega} \beta_{21}(B_{1m}) \right) + \frac{W_5 l_2 R_{H\Sigma} \beta_{22} \left( \left( 1 - \frac{r_2}{r_2 + R_H} \right) B_{1m} \right)}{r_2 + R_H} \right]^2 + \frac{W_4 \omega W_6 \left( \frac{W_4 S_2}{K_{\text{ннд}}} + W_3 S_2 \right)}{R_{H\Sigma} W_5 l_2 \beta_{12} \left( \left( 1 - \frac{r_2}{r_2 + R_H} \right) B_{1m} \right)} \right\}^2 + \left\{ \left[ \frac{R_{H\Sigma} l_1}{W_2^2 S_1 \omega} \beta_{11}(B_{1m}) \right] - \frac{R_{H\Sigma} W_5 l_2 \beta_{12} \left( \left( 1 - \frac{r_2}{r_2 + R_H} \right) B_{1m} \right)}{\omega W_6 W_4 \left( \frac{W_4 S_2}{K_{\text{ннд}}} + W_3 S_2 \right)} \right\}^2. \quad (16)$$

где  $R_{H\Sigma} = r_2 + R_H$ ,  $\beta_{11}(B_{1m}) = \frac{\gamma_{11}}{B_{1m}}$ ,

$$\beta_{12}(B_{2m}) = \frac{\gamma_{21}}{B_{2m}} = \frac{\gamma_{21}}{\left( 1 - \frac{r_2}{r_2 + R_H} \right) B_{1m}},$$

$$\beta_{21}(B_{1m}) = \frac{\alpha_{11}}{B_{1m}},$$

$$\beta_{22}(B_{2m}) = \frac{\alpha_{21}}{B_{2m}} = \frac{\alpha_{21}}{\left( 1 - \frac{r_2}{r_2 + R_H} \right) B_{1m}}.$$

В случае, когда материалы сердечников ВИТТ и ИТТ одинаковые, вид функций  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{21}$ ,  $\beta_{22}$  также будет одинаковый.

Из (15), (16) видим, что на погрешность компенсации влияет наличие сопротивления у вторичной обмотки ВИТТ, а именно его соотношение с сопротивлением нагрузки ВИТТ.

Необходимо отметить, что конечное значение коэффициента усиления ОУ также влияет на погрешность компенсации. Однако, современные операционные усилители имеют такое значение этого параметра, что его влиянием можно пренебречь.

Если принять, что  $K_{yc} = \infty$ ,  $r_2 = 0$ , то  $\beta_{11} = \beta_{12}$ ,  $\beta_{21} = \beta_{22}$ , следовательно, выполняются равенства

$$\frac{R_{H\Sigma} l_1}{W_2^2 S_1 \omega} \beta_{21}(B_{1m}) = \frac{W_5 l_2 R_{H\Sigma} \beta_{22} \left( \left( 1 - \frac{r_2}{r_2 + R_H} \right) B_{2m} \right)}{W_4 \omega W_6 \left( \frac{W_4 S_2}{K_{\text{ннд}}} + W_3 S_2 \right)};$$

$$\left[ -\frac{R_{н\Sigma} I}{\omega W_2^2 S_1} \beta_{11} (B_{1m}) \right] = \frac{R_{н\Sigma} W_3 I_2 \beta_{12} \left( \left( 1 - \frac{r_2}{r_2 + R_n} \right) B_{1m} \right)}{\omega W_6 W_4 \left( \frac{W_4 S_2}{K_{пид}} + W_3 S_2 \right)},$$

и тогда  $\Delta\varphi = 0$ ,  $\delta_i = 0$ .

В полученных соотношениях (1) и (2) предполагалось подключение обмотки  $W_3$  непосредственно к выводам обмотки  $W_2$ . Но практически большинство ВИТТ расположены на открытых распределительных устройствах (ОРУ), и сопротивление соединительного провода до места установки увеличивает сопротивление цепи вторичной обмотки. Данное обстоятельство можно учесть в выражении (15), (16) заменой  $r_2$  на  $r_2 + r_{\text{пров}}$  (где  $r_{\text{пров}}$  – активное сопротивление соединительного провода в один конец). В любом случае, не будет полной компенсации погрешности.

Данный недостаток можно устранить путем введения в устройство дополнительного ТС с электронной компенсацией погрешности (см. рис. 2) так, что  $U_{\text{выхОРУ2}} = i_2 (r_2 + r_{\text{пров}})$ . В результате чего, независимо от места подключения, индукции в обоих сердечниках будут одинаковыми.

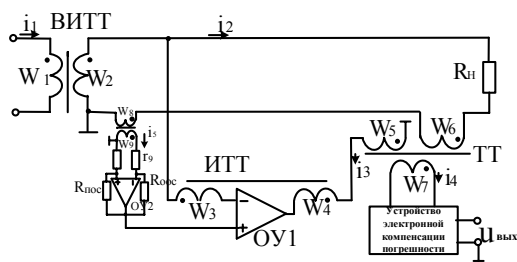


Рис. 2. Устройство для измерения тока

Допустим, в качестве схемы электронной компенсации погрешности используется схема с введением отрицательного сопротивления во

вторичную обмотку, тогда для исключения влияния  $r_2 + r_{\text{пров}}$  ( $r_2$ ) необходимо, чтобы  $r_2 + r_{\text{пров}} = \frac{(r_9 + R_{\text{оос}})W_8}{W_9}$  ( $r_2 = \frac{(r_9 + R_{\text{оос}})W_8}{W_9}$ ).

## Выводы

Таким образом, когда  $r_2$  существенно и величина погрешности им обусловленная недопустима, а также в случае когда ВИТТ расположен на ОРУ и сопротивление соединительного кабеля существенно, возможно использование устройства по схеме рис.2.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кизилов, В. У. Способи підвищення точності вимірювальних трансформаторів струму [Текст] / В. У. Кизилов, Н. В. Рудевич // Вісник Харківського нац. техн. ун-ту сільського госпа ім. Василенка. – 2007. – Вип. 57 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Т. 1. – Х.: ХНТУСГ, 2007. – С.37-41.
2. Стогній, Б. С. Сучасні високовольтні перетворювачі струму та напруги [Текст] / Б. С. Стогній, Є. М. Танкевич, В. В. Масляник // Енергетика та електрифікація. – 2006. – № 6. – С. 40-44.
3. Кизилов, В. У. Підвищення точності вимірювання струму [Текст] / В. У. Кизилов, Н. В. Рудевич // Світлотехніка та електроенергетика. – 2008. – № 1. – С. 66-69.
4. Кизилов, В. У. Проектування вимірювальних трансформаторів струму та напруг, трансреакторів та дроселів змінного струму пристроїв автоматики енергосистем [Текст]: навч.-метод. посібник / В. У. Кизилов. – Х.: ХДПУ. 2000. – 73 с. – рос. мовою.

Поступила в редколлегию 02.10.2008.

Ю. Л. САЕНКО, Т. К. БАРАНЕНКО (Приазовский государственный технический университет, Мариуполь)

## ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С МОЩНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ

Наведено порівняльний аналіз спектрального складу вихідної напруги та вхідного струму перетворювачів частоти. Розглянуто питання вибору засобів нормалізації показників несинусоїдальності напруги в електричних мережах з перетворювачами частоти.

Приведен сравнительный анализ спектрального состава выходного напряжения и входного тока преобразователей частоты. Рассмотрен вопрос выбора средств нормализации показателей несинусоидальности напряжения в электрических сетях с преобразователями частоты.

A comparative analysis of spectral composition of the output voltage and input current of frequency converters is described in this paper. An issue of choice of means of normalization of voltage quality indices in electric networks with frequency converters is also considered.

### Введение

С ростом использования во многих областях промышленности, городов, сельского хозяйства, а также железнодорожного транспорта различных преобразователей частоты (ПЧ) не перестает быть актуальной проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) в системах электроснабжения соответствующих объектов. При этом основным негативным явлением, обуславливающим проблему ЭМС, является несинусоидальность кривых токов и напряжений, как на входе, так и на выходе ПЧ.

Искажение формы кривых токов и напряжений при наличии преобразователей частоты связано с принципом их работы, а именно принципом формирования выходного напряжения (тока) и соответственно входного тока за счет поочередной работы силовых вентилях.

В большинстве случаев в электроприводе переменного тока в качестве ПЧ применяются двухзвенные преобразователи, т.е. преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока. Основной особенностью таких преобразователей является двукратное преобразование энергии, что обуславливает, как правило, значительные массогабаритные и энергетические показатели соответствующих систем электроприводов переменного тока.

Другим видом ПЧ являются непосредственные преобразователи частоты (НПЧ), подразделяющиеся на два класса: НПЧ с естественной коммутацией – циклоконвертеры и НПЧ с искусственной коммутацией. Непосредственные преобразователи частоты с естественной ком-

мутацией обеспечивают диапазон регулируемой частоты с верхним пределом, не превышающим частоту питающей сети; НПЧ с искусственной коммутацией позволяют получить любое значение выходной частоты в диапазоне от нуля до тысяч герц.

Амплитудные спектры токов и напряжений преобразователей частоты зависят от их схемы, числа пульсаций и закона управления, а для преобразователей частоты со звеном постоянного тока также от фильтра, устанавливаемого между выпрямителем и инвертором. С помощью такого фильтра можно значительно улучшить гармонический состав входного тока (выходного напряжения).

Однако использование встроенных фильтров является не всегда оправданным. Кроме этого, использование встроенных фильтров является необходимым, но не достаточным условием для соблюдения директив ЭМС. Связано это с тем, что структура системы электроснабжения с течением времени может меняться за счет изменения состава электрооборудования, а также параметров источников электроснабжения. Тогда, при определенных сочетаниях параметров системы электроснабжения и нелинейных нагрузок, возможно усиление искажения формы кривых напряжений и токов за счет резонансных явлений.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ спектрального состава выходного напряжения и входного тока НПЧ и преобразователя частоты со звеном постоянного тока, позволяющий перейти к решению вопроса

нормализации показателей несинусоидальности напряжения в электрических сетях с преобразователями частоты.

### Спектральный анализ напряжений и токов на входе и выходе преобразователей частоты

В общем случае выходные напряжения и входные токи НПЧ могут быть найдены из матричных выражений [1]:

$$\mathbf{u}_{\text{ВЫХ}}(t) = \mathbf{H}(t)\mathbf{u}_{\text{ВХ}}(t); \quad (1)$$

$$\mathbf{i}_{\text{ВХ}}(t) = \mathbf{H}(t)^T \mathbf{i}_{\text{ВЫХ}}(t), \quad (2)$$

где  $\mathbf{u}_{\text{ВХ}}(t)$ ,  $\mathbf{u}_{\text{ВЫХ}}(t)$ ,  $\mathbf{i}_{\text{ВХ}}(t)$ ,  $\mathbf{i}_{\text{ВЫХ}}(t)$  – матрицы-столбцы входных и выходных напряжений и токов соответственно;  $\mathbf{H}(t)$  – матрица переключающих функций;  $\mathbf{H}(t)^T$  – транспонированная матрица переключающих функций.

Форма кривых выходного напряжения (входного тока) НПЧ, а также их спектральный состав существенно зависят от вида модулирующей функции (закона управления).

В качестве примеров на рис. 1 – 4 приведены амплитудные спектры выходного напряжения циклоконвертора при различных видах модулирующей функции и значениях выходной частоты. Спектры получены путем применения быстрого преобразования Фурье (БПФ) непосредственно к соответствующим графикам изменения напряжения, полученным в соответствии с (1). Относительные значения амплитуд  $U_{\text{ВЫХ}*}$  во всех случаях определены по отношению к амплитуде основной гармоники выходного напряжения при линейной модулирующей функции.

Анализ приведенных на рис. 1 – 4 спектров и результаты расчетов показывают, что линейная и треугольная модулирующие функции позволяют получить одинаковую величину амплитуды основной гармоники выходного напряжения; синусоидальная модулирующая функция, в сравнении с предыдущими, обеспечивает уменьшение амплитуды в среднем на 12 %, а прямоугольная – увеличение на 7 %.

Аналогичная приведенным на рис. 1 – 4 картина амплитудных спектров наблюдается и для кривых выходного тока циклоконвертора, определяемого выражением [2]

$$\sum_{k=1}^{\infty} j_{\text{ВЫХ } km} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{U_{\text{ВЫХ } km} e^{j\psi_{uk}}}{Z_{nk} e^{j\varphi_{nk}}}, \quad (3)$$

где  $k$  – порядковый номер гармоники выходного напряжения НПЧ с относительной частотой

$v_k$  (значение  $v_k$  при каком-то  $k$  может совпадать с номером высшей гармоники);  $\dot{I}_{\text{ВЫХ } km}$  – комплексная амплитуда  $k$ -й гармоники выходного тока;  $U_{\text{ВЫХ } km}$ ,  $\psi_{uk}$  – амплитуда и фаза  $k$ -й гармоники выходного напряжения;  $Z_{nk}$ ,  $\varphi_{nk}$  – сопротивление и фазовый угол нагрузки для  $k$ -й гармоники.

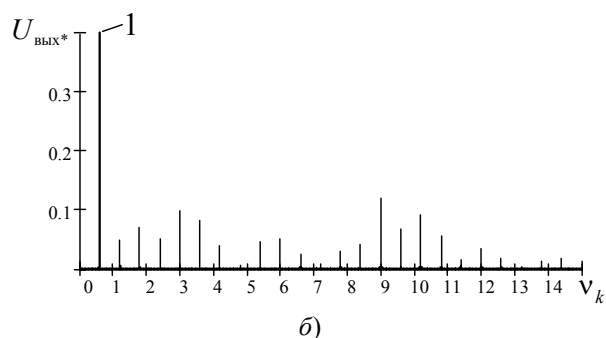
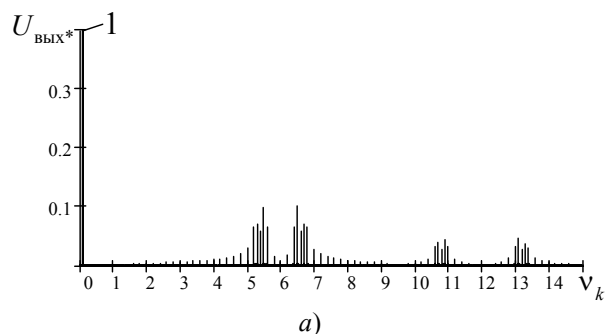
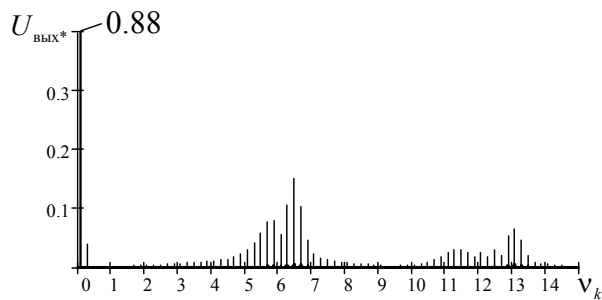
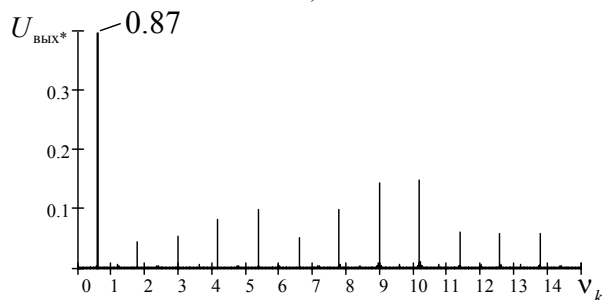


Рис. 1. Амплитудные спектры выходного напряжения трехфазно-однофазного мостового шестипульсового циклоконвертора при линейной модулирующей функции и выходной частоте  $f_{\text{ВЫХ}} = 5$  Гц (а) и  $f_{\text{ВЫХ}} = 30$  Гц (б)

Получить спектральный состав входного тока преобразователя частоты возможно экспериментальным путем, аналитически или используя численные методы расчета, а также с помощью анализа кривой входного тока, полученного путем моделирования [2]. В качестве примеров на рис. 5 приведены амплитудные спектры кривых входного тока трехфазно-однофазного мостового 6-пульсного НПЧ с искусственной коммутацией при различных видах модулирующей функции, на рис. 6 – амплитудный спектр входного тока трехфазно-трехфазного мостового 6-пульсного НПЧ при синусоидальном законе управления. Амплитудные спектры получены путем применения БПФ непосредственно к графикам изменения тока.

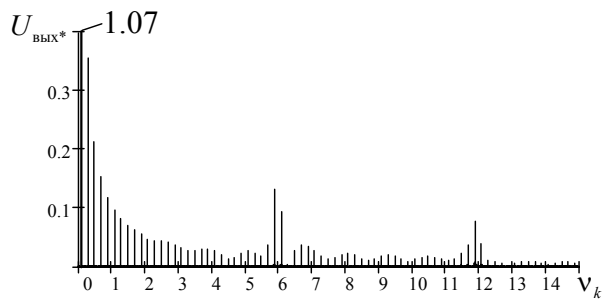


a)

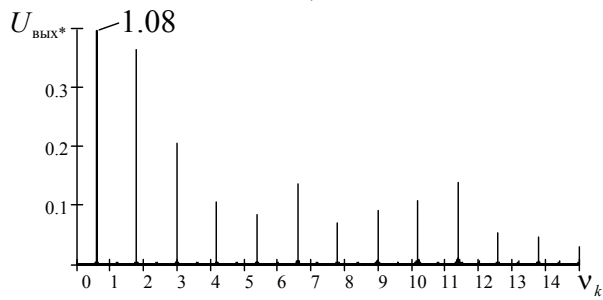


б)

Рис. 2. Амплитудные спектры выходного напряжения трехфазно-однофазного мостового шестипульсного циклоконвертора при синусоидальной модулирующей функции ( $\mu = 1$ ) и выходной частоте  $f_{\text{вых}} = 5$  Гц (a) и  $f_{\text{вых}} = 30$  Гц (б)

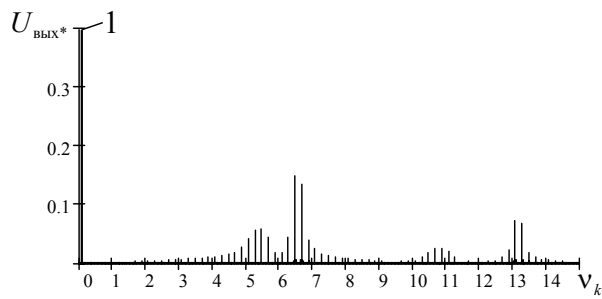


a)

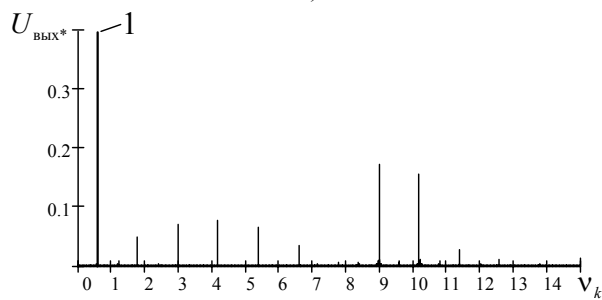


б)

Рис. 4. Амплитудные спектры выходного напряжения трехфазно-однофазного мостового шестипульсного циклоконвертора при прямоугольной модулирующей функции и выходной частоте  $f_{\text{вых}} = 5$  Гц (a) и  $f_{\text{вых}} = 30$  Гц (б)



a)



б)

Рис. 3. Амплитудные спектры выходного напряжения трехфазно-однофазного мостового шестипульсного циклоконвертора при треугольной модулирующей функции ( $\mu = 1$ ) и выходной частоте  $f_{\text{вых}} = 5$  Гц (a) и  $f_{\text{вых}} = 30$  Гц (б)

В состав преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока входят выпрямитель и инвертор; между ними обычно включается сглаживающий фильтр. Такой преобразователь дает возможность получения на выходе за счет инвертора любой требуемой на практике частоты, изменяемой в широких пределах, вне зависимости от частоты питающей сети.

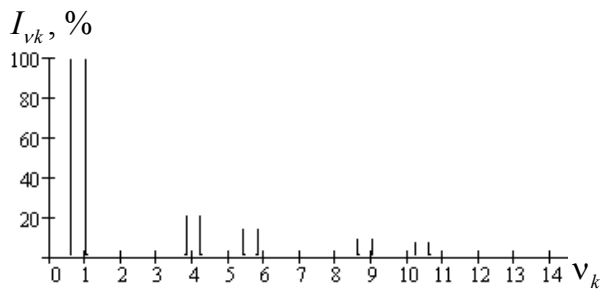
Спектральный состав сетевого тока преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока можно определить исходя из идеализированных кривых переменного тока выпрямителя и пульсирующего тока инвертора в звене постоянного тока. Тогда, с учетом фазовых соотношений и углов управления и коммутации, сетевой ток можно представить в виде произведения [3]

$$i_c = i_b^* \cdot i_{\text{п}}, \quad (4)$$

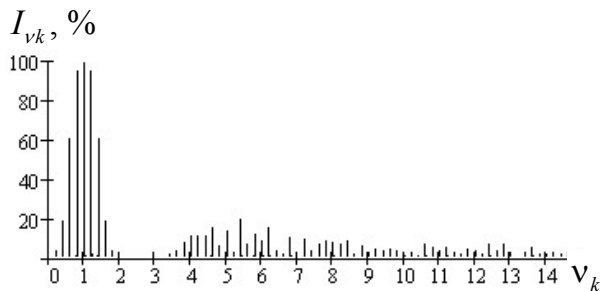
в котором ток выпрямителя, выступающий в роли переключающей функции, определяется выражением

$$i_b^* = \sum_{v=1}^{\infty} I_{mv}^* \sin(v\omega_1 t + \varphi_v), \quad (5)$$

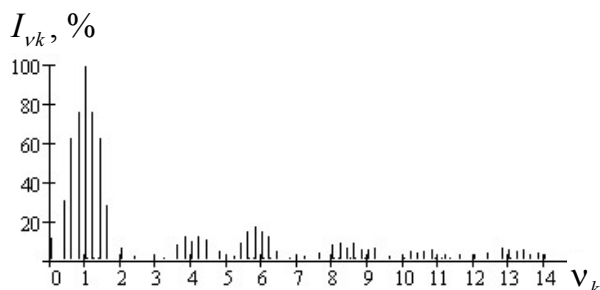
где  $I_{mv}^*$  и  $\varphi_v$  – относительная амплитуда и фаза  $v$ -й гармоники соответственно, а пульсирующий ток



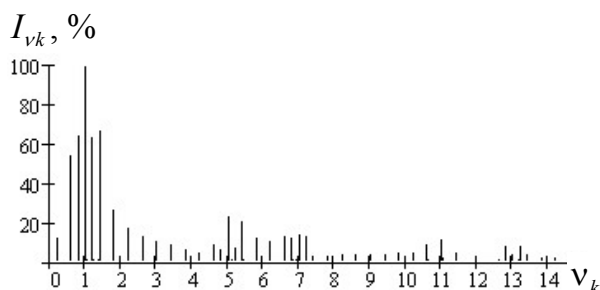
а)



б)



в)



г)

Рис. 5. Амплитудные спектры кривой входного тока трехфазно-однофазного мостового 6-пульсного НПЧ при линейной модулирующей функции (а), синусоидальной (б), треугольной (в) и прямоугольной (г);  $f_{\text{вых}} = 10$  Гц

$$i_{\text{п}} = \frac{1}{2} I_d (\cos \alpha_{\text{в}} + \cos(\alpha_{\text{в}} + \gamma_{\text{в}})) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{U_{d\nu\text{в}} \cos(np_2\omega_1 t + \varphi_{\nu\text{в}})}{\sqrt{R_d^2 + (np_2 X_d)^2}} + \frac{U_{d\nu\text{и}} \cos(np_2\omega_2 t + \varphi_{\nu\text{и}})}{\sqrt{R_d^2 + (np_2 \chi X_d)^2}} \right) (-1)^{n+1}, \quad (6)$$

где  $I_d$  – среднее значение выпрямленного тока;  $\alpha_{\text{в}}$  и  $\gamma_{\text{в}}$  – угол управления и угол коммутации выпрямителя;  $U_{d\nu\text{в}(и)}$  – амплитуда  $\nu$ -й гармоники выпрямленного напряжения выпрямителя (инвертора);  $R_d$  и  $X_d$  – активное и индуктивное сопротивление звена постоянного тока при частоте сети  $\omega_1$ ;  $\chi = \omega_2/\omega_1$  – относительная частота.

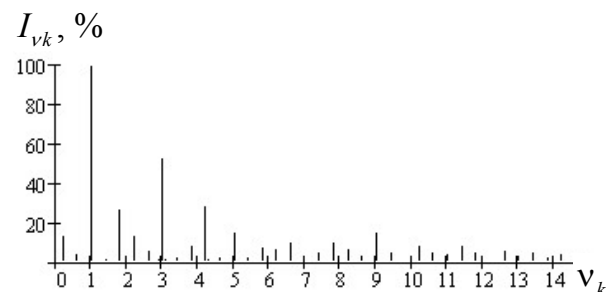


Рис. 6. Амплитудный спектр входного тока трехфазно-трехфазного мостового 6-пульсного НПЧ при синусоидальном законе управления;  $f_{\text{вых}} = 20$  Гц

На рис. 7 приведен амплитудный спектр сетевого тока 6-пульсного преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока.

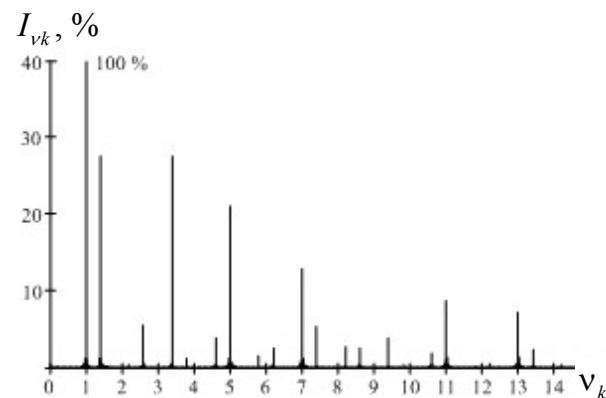


Рис. 7. Амплитудный спектр входного тока трехфазно-трехфазного 6-пульсного преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока;  $f_{\text{вых}} = 20$  Гц

Сравнительный анализ гармонического состава входного тока различных типов ПЧ приведен в табл. 1. Данные получены с помощью ЭВМ в результате применения БПФ к смоделированным кривым входного тока.

Анализ данных табл. 1 показывает, что при работе ПЧ в сетевом токе наряду со спектром высших гармоник (ВГ) имеется соизмеримый или значительно превышающий его спектр интергармоник (ИГ). Очевидно, что при других значениях выходной частоты соотношения между действующими значениями ВГ и ИГ входного тока могут отличаться от указанных в табл. 1, однако приведенные величины дейст-

вующих значений входного тока в целом будут сохраняться.

Наиболее благоприятный спектральный состав имеют преобразователи частоты с трехфазным выходом, причем наименьший уровень ВГ и ИГ в сетевом токе характерен при работе преобразователей частоты со звеном постоянного тока, что обусловлено наличием фильтра, устанавливаемого между выпрямителем и инвертором. Улучшить спектральный состав сете-

вого тока позволяет применение 12-пульсной схемы выпрямления. Так, например, при работе трехфазно-трехфазного 12-пульсного преобразователя со звеном постоянного тока величины действующих значений ИГ и ВГ входного тока ориентировочно находятся в соотношении 1 : 3. Однако, в случае работы трехфазно-однофазного НПЧ и при 12-пульсной схеме выпрямления спектр ИГ в несколько раз превышает спектр ВГ.

Таблица 1

**Сравнительный анализ гармонического состава входного тока преобразователей частоты**

| Определяемый параметр  | Мостовой 6-пульсный НПЧ   |                                 |                              |                                |  | 3ф-3ф 6-пульсный ПЧ со звеном постоянного тока, $f_2 = 20$ Гц |
|--|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--|---|
|  | 3ф-1ф при $f_2 = 10$ Гц   |                                 |                              |                                | 3ф-3ф при $f_2 = 20$ Гц и синусоидальном законе управления |   |
|  | линейный закон управления | синусоидальный закон управления | треугольный закон управления | прямоугольный закон управления |  |   |
| Действующее значение входного тока, %  | 147                       | 208                             | 183                          | 173                            | 128  | 120   |
| Основная гармоника входного тока, %  | 100                       | 100                             | 100                          | 100                            | 100  | 100   |
| Действующее значение ВГ входного тока, %                                       | 9                         | 23                              | 24                           | 33                             | 56   | 29  |
| Действующее значение ИГ входного тока, %                                       | 107                       | 181                             | 152                          | 138                            | 56   | 44  |
| Превышение действующего значения ИГ над действующим значением ВГ входного тока | в 12 раз                  | в 8 раз                         | в 6 раз                      | в 4 раза                       | в 1 раз  | в 1,5 раза  |

### Выбор средств минимизации уровней высших гармоник и интергармоник

Гармонический спектр входного тока ПЧ (в зависимости от их типа) может быть распределен по всей области частот от нуля до тысяч герц. Эта особенность определяет подход к решению вопроса минимизации ВГ и ИГ, генерируемых преобразователями частоты [3 – 5].

Снижение уровней ИГ в электрических сетях является составной частью задачи улучшения качества электроэнергии, наряду со снижением уровней ВГ. Влияние ИГ на работу потребителей электроэнергии аналогично влиянию ВГ. Поэтому и подход к минимизации ИГ представляется таким же, как и к минимизации ВГ.

Решая вопрос выбора средств минимизации ВГ и ИГ, необходимо исходить как из условий обеспечения требуемых уровней несинусоидальности напряжения и компенсации реактивной мощности (КРМ), так и оптимального выбора количества и мест установки фильтров. Данная задача не всегда является однозначной и требует проведения технико-экономических расчетов.

При выборе фильтров ИГ необходимо комплексное решение целого ряда вопросов, основными из которых являются:

1. Снижение несинусоидальности напряжения до допустимого уровня.

2. Обеспечение требуемого уровня КРМ.

3. Обеспечение надежной работы фильтров ИГ при отклонениях параметров как самих фильтров, так и питающей сети, источников ИГ и т.д. от номинальных.

4. Отсутствие резонансных явлений на частотах как ИГ, так и ВГ.

Для решения указанных вопросов рассмотрим возможности применения фильтров различного порядка.

*Режекторные фильтры (фильтры первого порядка)* имеют ограниченное применение при минимизации ИГ, т.к. они являются узкополосными.

*Демпфирующий фильтр (фильтр второго порядка)* состоит из конденсатора и реактора, параллельно которому подключено активное сопротивление (рис. 8).

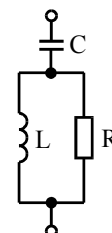


Рис. 8. Схема демпфирующего фильтра

На рис. 9 приведены частотные характеристики модуля полного сопротивления демпфирующего фильтра при различных значениях активного сопротивления. Из рисунка видно, что демпфирующий фильтр позволяет расширить полосу пропускания, благодаря чему для достижения допустимого уровня несинусоидальности напряжения требуется установка меньшего количества фильтров, по сравнению с установкой фильтров первого порядка.

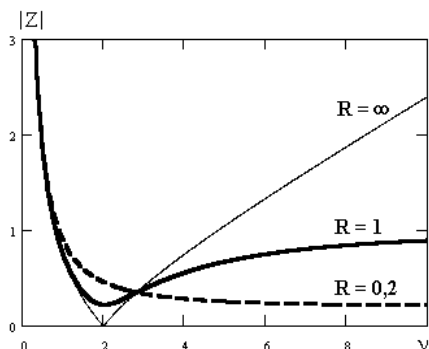


Рис. 9. Частотные характеристики модуля полного сопротивления демпфирующего фильтра

На рис. 10 приведена схема сложного фильтра (фильтра третьего порядка).

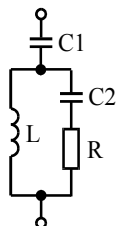


Рис. 10. Схема сложного фильтра

Сложный фильтр имеет две резонансные частоты, одна из которых соответствует последовательному резонансу, другая – параллельному, что позволяет производить компенсацию уровней ИГ в широком диапазоне частот, как меньших, так и больших по отношению к частоте основной гармоники. На рис. 11 приведен пример частотной характеристики модуля сопротивления сложного фильтра, иллюстрирующий эффективность его применения.

### Выводы

1. Возникновение ВГ и ИГ, генерируемых ПЧ, связано с принципом формирования кривых напряжений и токов на входе и выходе преобразователя. Особенности формирования токов и напряжений ПЧ обуславливают дискретный спектр ИГ, а их амплитуды и частоты зависят от типа преобразователя частоты и реализуемого закона управления (вида модулирующей функции).

2. Рассматривая различные аспекты проблемы электромагнитной совместимости, обязательным является учет ИГ наряду с ВГ тока и напряжения в случае работы их основных источников – преобразователей частоты.

3. Для снижения уровней ИГ целесообразно применение демпфирующих фильтров (фильтров второго порядка) и сложных фильтров (фильтров третьего порядка), что позволяет уменьшить количество параллельных ветвей фильтров и снизить их установленную мощность по сравнению с установкой фильтров первого порядка.

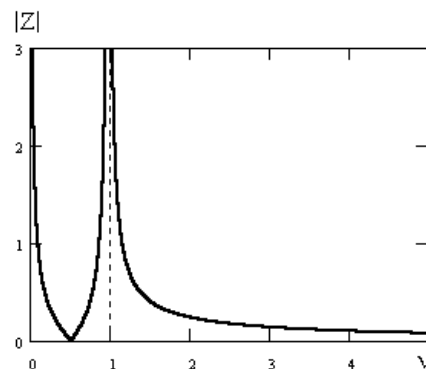


Рис. 11. Частотная характеристика модуля полного сопротивления сложного фильтра

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джюджи, Л. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение [Текст] : [пер. с англ.] / Л. Джюджи, Б. Пелли. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 400 с.
2. Жежеленко, И. В. Математические методы при гармоническом анализе входного тока непосредственных преобразователей частоты [Текст] / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко, Т. К. Бараненко // Вісник Приазовського держ. техн. ун-ту. – 2005. – Ч. 2, № 15. – Маріуполь, 2005. – С. 7-14.
3. Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий [Текст] / И. В. Жежеленко и др.; под ред. И. В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 296 с.
4. Obniżenie poziomów interharmonicznych w sieciach elektroenergetycznych przedsiębiorstw przemysłowych [Текст] / I. Żeżelenko et al. // Przegląd Elektrotechniczny. – 2004. – № 6. – P. 632-635.
5. Жежеленко, И. В. Пример минимизации дискретного спектра высших гармоник и интергармоник при работе тиристорных преобразователей частоты [Текст] / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко, Т. К. Бараненко // Proc. of V Międzynarodowe seminarium polsko-ukraińskie «Problemy elektroenergetyki». – Łódź (Polska), 2007. – С. 109-113.

Поступила в редколлегию 30.09.2008.

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПАСИВНИХ ЗГЛАДЖУЮЧИХ ФІЛЬТРІВ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

В статті наведені результати експериментальної оцінки ефективності функціонування пасивних згладжуючих фільтрів тягових підстанцій постійного струму.

В статье приведены результаты экспериментальной оценки эффективности функционирования пассивных сглаживающих фильтров тяговых подстанций постоянного тока.

In this article the results of experimental estimation of functioning efficiency of the passive ripple filters of traction d.c. substations are presented.

Залізничний транспорт відноситься до ключових галузей народного господарства України та посідає перше місце за вантажообігом і друге за пасажирообігом. В умовах нового етапу розвитку ринкових відносин, пов'язаних зі вступом України до Світової організації торгівлі, важливим фактором підвищення ефективності залізничного транспорту залишається економія ресурсів, насамперед палива і електроенергії, витрати на які становлять основну частину експлуатаційних витрат. Питома вага залізничного транспорту в загальному електроспоживанні України становить 3,48 % (6,471 млрд кВт·год за 2007 р.). При цьому на електричну тягу поїздів витрачається 82,78 % (5,357 млрд кВт·год) [1].

На електрифікованих залізницях України, довжина яких на даному етапі складає біля 10 тис. км, що становить близько 43 % загальної довжини залізниць України, розповсюдження одержали дві системи тягового електропостачання:

- постійного струму напругою 3,3 кВ – 4734,89 км;

- змінного однофазного струму частоти 50 Гц напругою 27 кВ – 4935,71 км.

Масова електрифікація залізниць України, а саме Південної, Придніпровської, Донецької і Львівської, на системі постійного струму напругою 3,3 кВ прийшла на середину 50-х років минулого століття. Вибір цієї системи був обумовлений як станом і рівнем розвитку вітчизняної промисловості у загальному плані, так і окремо електротехнічної галузі в частині забезпечення електрифікації необхідним силовим електрообладнанням, матеріалами та електрорухомим складом.

Тягові підстанції (ТП) електрифікованих залізниць постійного струму в основному обладнані випрямними агрегатами, які працюють по 6-пульсових схемах випрямлення змінної напруги: мостовій і дві зворотні зірки з вирівнювальним реактором. За симетричної напруги живильної лінії змінна складова на шинах тягового навантаження містить гармоніки, кратні 300 Гц – 300, 600, 900, 1200 Гц і т.д. Однак, несиметрія фазових напруг живильних ЛЕП приводить до появи гармонік із частотою, кратною 100 Гц, але не кратною 300 Гц – 100, 200, 400 Гц і т.д. У цей час на тягових підстанціях розпочате застосування 12-пульсових випрямлячів, які забезпечують поліпшення техніко-економічних показників роботи системи тягового електропостачання. У реальних умовах перетворення електричної енергії спектральний склад випрямленої напруги 12-пульсового випрямляча також складається з гармонік із частотами 100, 200, 300, 400 Гц і т.д., однак амплітудні значення  $U_{mn}$  зазначених гармонік нижче, ніж при 6-пульсових перетворювачах [2].

Живлення тягової мережі постійного струму в Україні здійснюється від 211 стаціонарних і 7 пересувних тягових підстанцій. З терміном служби більше 30 років працюють 184 стаціонарних і 7 пересувних підстанцій постійного струму. За рівнем напруги зовнішньої енергомережі тягові підстанції постійного струму отримують живлення напругою 6...10 кВ, 35 кВ, 110 кВ і 154...220 кВ. На ТП постійного струму глибокого вводу з первинною напругою 110 кВ і більше використовується, як правило, подвійна трансформація первинної напруги, що обумовлює збільшені втрати електричної енергії. Технічний стан ТП постійного струму відображається доско-

налістю основного силового електрообладнання і, в першу чергу, досконалістю перетворювальних агрегатів. На 211 стаціонарних підстанціях постійного струму працюють 490 перетворювальних агрегатів: 395 шт. 6-пульсних діодних випрямлячів, 95 шт. 12-пульсних випрямлячів і 44 шт. тиристорних інверторів. Понад 50 % перетворювальних агрегатів типів УВКЕ, ПВЕ-3, ПКВВ, ПВКЕ-2 з 6-пульсними схемами випрямлячів відпрацювали свій ресурс та підлягають заміні або модернізації. Планами модернізації господарства електрифікації та електропостачання на 2007 – 2011 рр. передбачається така модернізація з можливим переводом підстанцій у ранг підстанцій глибокого вводу та обов'язковим переходом на 12-пульсні схеми випрямлячів з використанням однократної трансформації первинної напруги [3].

За будь-якої схеми випрямлення напруга, одержувана від перетворювальних агрегатів, є пульсуючою, тобто представляє собою суму постійної і змінної складових, при цьому змінну складову можна представити як суму нескінченного ряду синусоїдальних напруг із частотами, кратними частоті пульсації. Вищі гармонійні складові є основною причиною виникнення перешкод у суміжних лініях зв'язку, радіомовлення, рейкових колах залізничної сигналізації і автоблокування. Таким чином, електрифікація залізничного транспорту системою постійного струму тісно пов'язана із проблемою забезпечення електромагнітної сумісності пристроїв електропостачання із суміжними електротехнічними комунікаціями. Вирішення цієї проблеми вбачається у зменшенні до припустимого рівня заважаючого впливу системи постійного струму на суміжні пристрої.

Основним заходом щодо зниження заважаючого впливу вищих гармонійних складових випрямленої напруги є встановлення на всіх ТП згладжуючих фільтрів (ЗФ), призначених для максимального зниження амплітуд канонічних гармонік, властивих конкретній схемі випрямлення. На ТП, що використовують 6-пульсову схему випрямлення, рекомендується встановлення дволанцюгових резонансно-аперіодичних ЗФ за схемою ВНДІЗТ або за схемою Західно-Сибірської дороги. При використанні 12-пульсових випрямлячів рекомендуються од-

ноланцюгові аперіодичні і резонансно-аперіодичні ЗФ [4].

Однак, проведеними дослідженнями [5] встановлено, що на залізницях постійного струму застосовуються й інші схеми ЗФ, при цьому:

- одноланцюгові фільтри можуть мати реактор від 3 до 11 мГн, число резонансних контурів від 2 до 7 і ємність аперіодичного ланцюжка 70 (350 мкФ);

- дволанцюгові фільтри можуть виконуватися з індивідуальними реакторами першої ланки й зі сполученими, індуктивність реактора першої ланки 5...11 мГн, другої ланки 3...5 мГн, число резонансних контурів від 1 до 10 і ємність аперіодичного ланцюжка 200...350 мкФ;

- одноланцюгові аперіодичні фільтри мають реактор 5...6,5 мГн і ємність 260...1500 мкФ;

- залежно від схеми фільтра і типу застосовуваних конденсаторів їхня кількість в одному ЗФ коливається від 15 до 200 шт.

Різноманітність схемних рішень при виконанні ЗФ підтверджена нами при виконанні науково-дослідної роботи [6]. Зазначимо, що всі схемні рішення ЗФ, при їх розробці і проектуванні, не враховували можливу несиметрію і несинусоїдальність живлячої напруги. В той же час, у багатьох електричних системах, від яких одержують живлення ТП постійного струму, напруги є в більшому або меншому ступені несиметричними і несинусоїдальними залежно від кількості і потужності однофазних і нелінійних навантажень, підключених до живильної енергосистеми. Несиметрія і несинусоїдальність живлячих напруг спотворює форму кривої випрямленої напруги, а отже, впливає на вибір схеми і параметрів ЗФ. ЗФ, обраний без врахування несиметрії і несинусоїдальності живлячих напруг, може в ряді випадків не забезпечити електромагнітної сумісності тягової мережі й суміжних електротехнічних пристроїв, що призведе до порушення нормальної роботи ліній зв'язку і пристроїв автоблокування [7]. Результати досліджень впливу якості електроенергії на рівень гармонійних складових у відсмоктувальному фідері (ВФ) ТП за різних режимів функціонування і схем ЗФ на Львівській, Донецькій та Південній залізницях представлені на рис. 1 – 16. Коротка характеристика ТП, на яких проводились дослідження, наведена в табл. 1.

## Характеристика тягових підстанцій

| ТП | Рівень живлячої напруги, кВ | Схема випрямлення | Наявність інвертора | Схема фільтру | Примітки            |
|----|-----------------------------|-------------------|---------------------|---------------|---------------------|
| Л  | 110                         | 6                 | +                   | 2 ланцюги     | В роботі одна ланка |
| С  | 110                         | 6                 | +                   | 2 ланцюги     | В роботі одна ланка |
| О  | 110                         | 6                 | -                   | 2 ланцюги     | В роботі одна ланка |
| З  | 35                          | 12                | -                   | 1 ланцюг      |                     |

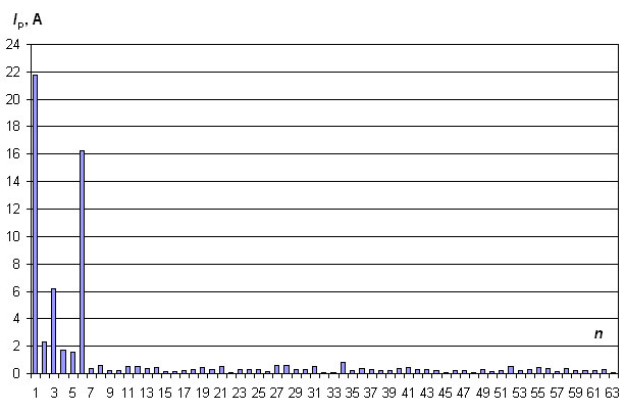


Рис. 1. Гармонійний склад струму ВФ ТП Л (випрямний режим; 16.11.2007 00:48;  
 $K_{UA}=1,8\%$ ;  $K_{UB}=1,7\%$ ;  $K_{UC}=1,6\%$ )

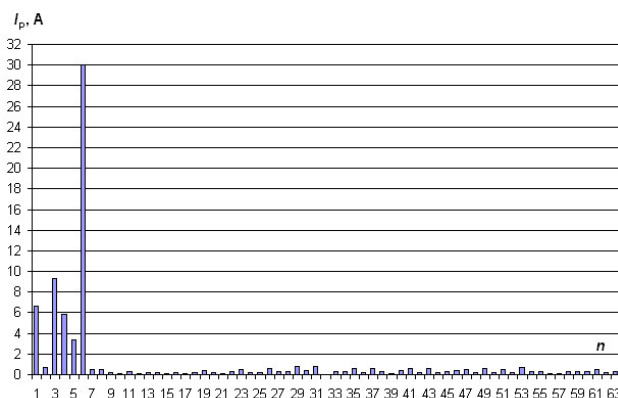


Рис. 2. Гармонійний склад струму ВФ ТП Л (інверторний режим; 16.11.2007 01:02;  
 $K_{UA}=1,8\%$ ;  $K_{UB}=1,8\%$ ;  $K_{UC}=1,8\%$ )

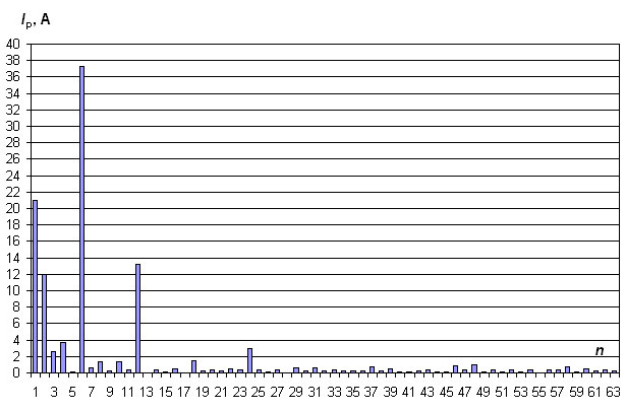


Рис. 3. Гармонійний склад струму ВФ ТП Л (випрямний режим; 16.11.2007 10:13;  
 ЗФ вимкнено;  
 $K_{UA}=1,2\%$ ;  $K_{UB}=1,2\%$ ;  $K_{UC}=1,2\%$ )

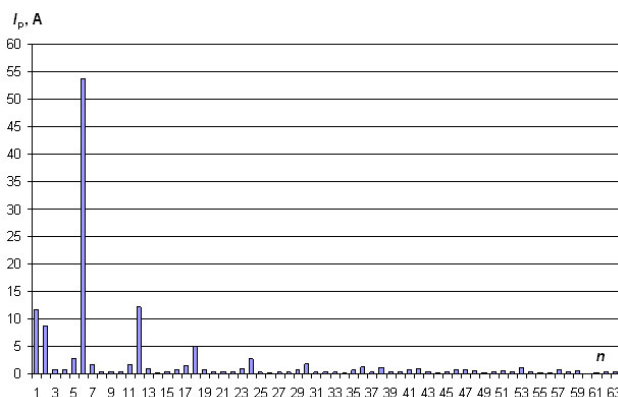


Рис. 4. Гармонійний склад струму ВФ ТП Л (інверторний режим; 16.11.2007 10:35;  
 ЗФ вимкнено;  
 $K_{UA}=1,2\%$ ;  $K_{UB}=1,2\%$ ;  $K_{UC}=1,3\%$ )

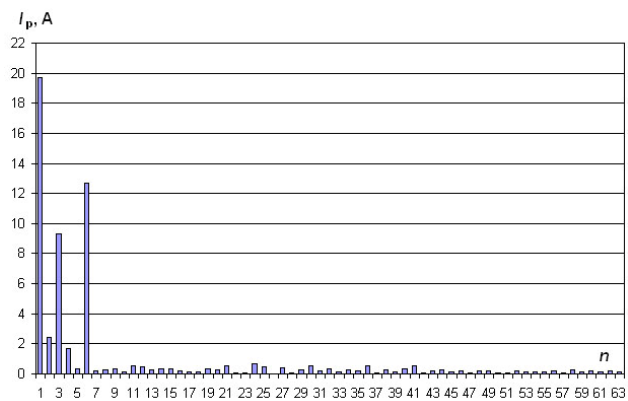


Рис. 5. Гармонійний склад струму ВФ ТП Л  
(інверторний режим; 16.11.2007 11:10;  
ЗФ включено 2 ланки;  
 $K_{UA}=1,2\%$ ;  $K_{UB}=1,5\%$ ;  $K_{UC}=1,3\%$ )

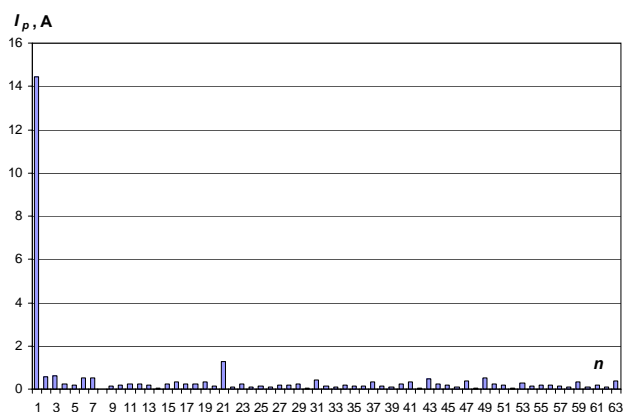


Рис. 6. Гармонійний склад струму ВФ ТП С  
(випрямний режим; 16.11.2007 16:52;  
 $K_{UA}=2,81\%$ ;  $K_{UB}=2,7\%$ ;  $K_{UC}=2,78\%$ )

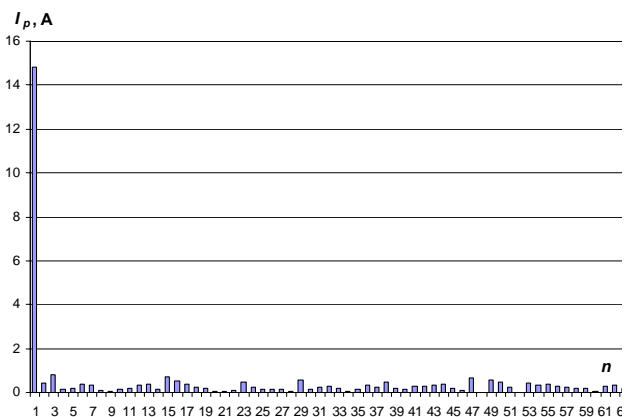


Рис. 7. Гармонійний склад струму ВФ ТП С  
(інверторний режим; 16.11.2007 16:59;  
 $K_{UA}=2,81\%$ ;  $K_{UB}=2,72\%$ ;  $K_{UC}=2,83\%$ )

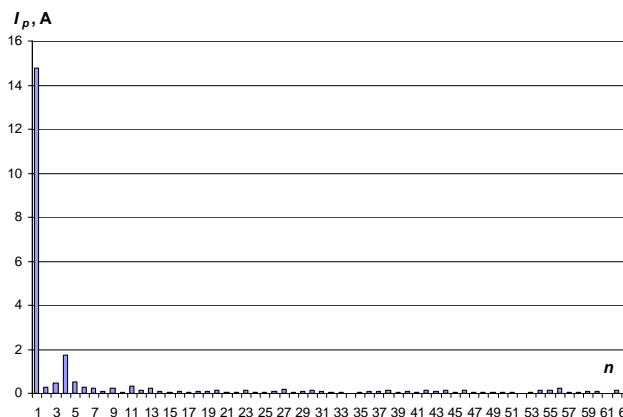


Рис. 8. Гармонійний склад струму ВФ ТП С  
(вимушений режим; 16.11.2007 17:39;  
 $K_{UA}=1,27\%$ ;  $K_{UB}=1,17\%$ ;  $K_{UC}=1,14\%$ )

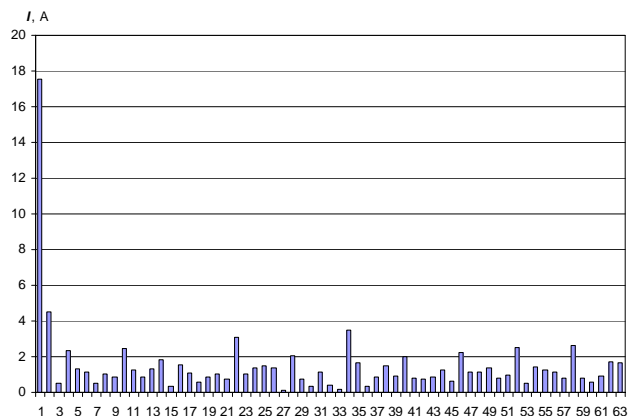


Рис. 9. Гармонійний склад струму ВФ ТП О  
(21.11.2007, 08:31; ЗФ включено;  
 $K_{UA}=3,66\%$ ;  $K_{UB}=3,71\%$ ;  $K_{UC}=3,50\%$ )

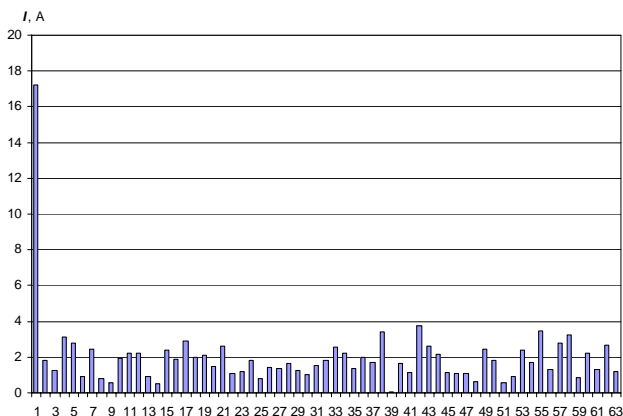


Рис. 10. Гармонійний склад струму ВФ ТП О  
(21.11.2007, 08:35; ЗФ включено;  
 $K_{UA}=3,7\%$ ;  $K_{UB}=3,72\%$ ;  $K_{UC}=3,51\%$ )

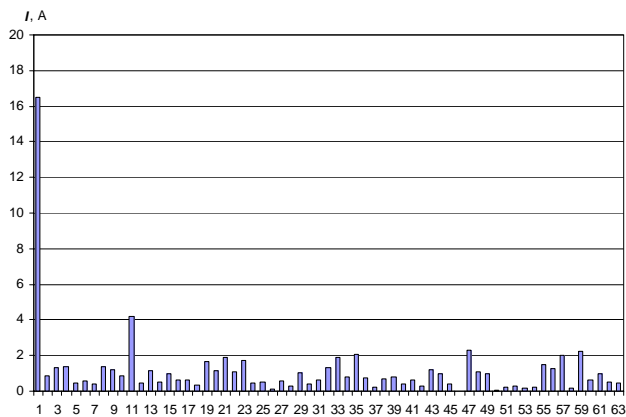


Рис. 11. Гармонійний склад струму ВФ ТП О  
(20.11.2007, 15:02; 3Ф виключено;  
 $K_{UA}=5,72\%$ ;  $K_{UB}=5,8\%$ ;  $K_{UC}=5,68\%$ )

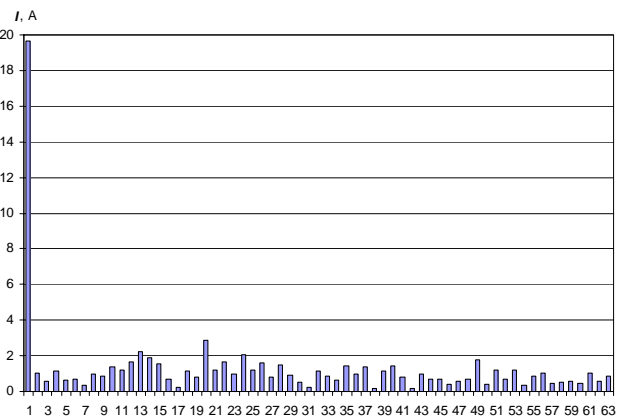


Рис. 12. Гармонійний склад струму ВФ ТП О  
(20.11.2007, 20:11; 3Ф виключено;  
 $K_{UA}=5,59\%$ ;  $K_{UB}=5,72\%$ ;  $K_{UC}=5,48\%$ )

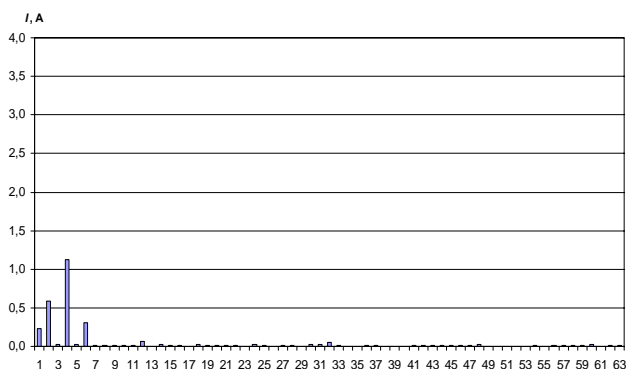


Рис. 13. Гармонійний склад струму ВФ ТП З  
(12.03.2008, 09:25; 3Ф включено;  
 $K_{UA}=1,6\%$ ;  $K_{UB}=1,51\%$ ;  $K_{UC}=1,41\%$ )

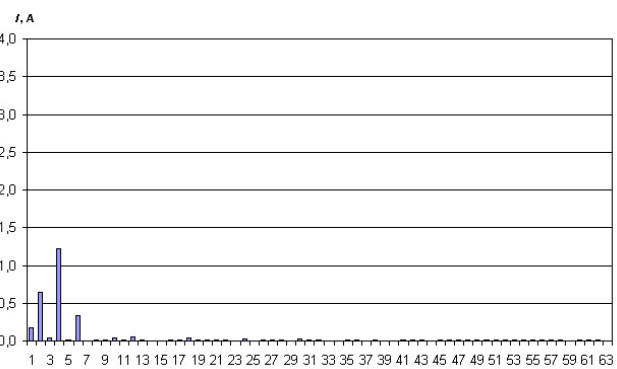


Рис. 14. Гармонійний склад струму ВФ ТП З  
(12.03.2008, 12:00; 3Ф включено;  
 $K_{UA}=1,44\%$ ;  $K_{UB}=1,02\%$ ;  $K_{UC}=0,83\%$ )

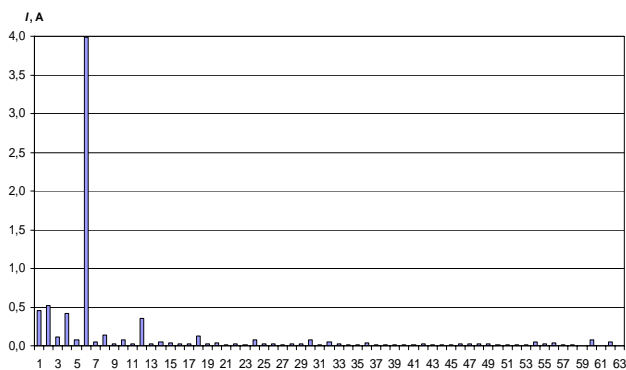


Рис. 15. Гармонійний склад струму ВФ ТП З  
(12.03.2008, 10:07; 3Ф виключено;  
 $K_{UA}=2,37\%$ ;  $K_{UB}=2,41\%$ ;  $K_{UC}=2,31\%$ )

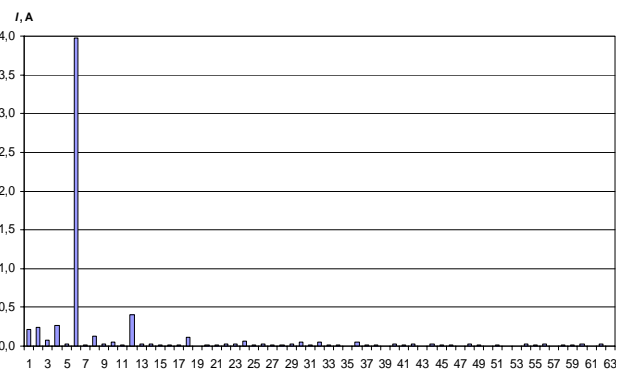


Рис. 16. Гармонійний склад струму ВФ ТП З  
(12.03.2008, 10:35; 3Ф виключено;  
 $K_{UA}=2,80\%$ ;  $K_{UB}=2,87\%$ ;  $K_{UC}=2,78\%$ )

Якість роботи 3Ф оцінюється вимірюванням рівнів еквівалентної заважаючої напруги до і після 3Ф з подальшим визначенням коефіцієнту згладжування  $K_{згл}$  3Ф як відношення рівнів еквівалентної заважаючої напруги  $U_{Езав1}$  (до

згладжування) і  $U_{Езав2}$  (після згладжування). Зниження рівня працездатності 3Ф оцінюється порівнянням визначеного  $K_{згл}$  з його нормованим значенням [8]. На сьогоднішній день на ТП постійного струму контроль якості фун-

кціонування ЗФ фактично відсутній. Для оцінки енергетичної ефективності функціонування ЗФ в різних режимах нами проводився розра-

хунок потужності спектру  $S_{ЗФ}$  за методикою [9, с. 318-319]. Результати розрахунку наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку потужності спектру

| №<br>рисунок                      | 1   | 2    | 3    | 4    | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13 | 14 | 15 | 16 |
|-----------------------------------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| $S_{ЗФ}, \text{кВт}$<br>$10^{-3}$ | 785 | 1088 | 2187 | 3318 | 651 | 214 | 226 | 223 | 446 | 531 | 335 | 463 | 2  | 2  | 17 | 16 |

Аналіз статистичного матеріалу та даних, наведених у табл. 2. дозволяє зробити наступні висновки:

1. Гармонійний спектр струму ВФ залежить не тільки від схеми випрямлення, схеми і режиму роботи ЗФ, а й від режиму напруги (і, певно, роботи і виду навантаження) живлячої енергосистеми, в тому числі залежно від регіону.

2. Неможливо встановити кореляційний зв'язок між впливом режиму роботи ТП (випрямлення або інвертування) на коефіцієнт несиметрії живлячої напруги, в тому числі при ввімкненому або відімкненому ЗФ (західний регіон). При цьому при погашенні ТП (вимушений режим)  $K_U$  зменшується більш ніж у 2 рази.

3. При відімкненому ЗФ (східний регіон)  $K_U$  зростає в середньому більш ніж у 1,5 рази при шестипульсовій схемі випрямлення і в 1,5...2,5 рази (а по окремих фазах і більше 3) при 12-пульсовій схемі.

4. Потужність спектру при інверторному режимі роботи ТП більша, ніж при випрямному режимі як при ввімкненому, так і вимкненому ЗФ (західний регіон).

5. Потужність спектру при ввімкненому ЗФ більша (!), ніж при вимкненому при 6-пульсовій схемі і менша на порядок при ввімкненому ЗФ у порівнянні з вимкненим ЗФ при 12-пульсовій схемі.

6. Потужність спектру при 12-пульсовій схемі більш ніж в 200 разів менша ніж при 6-пульсовій (східний регіон) і більш ніж у 400 разів менша при 6-пульсовій схемі (західний регіон).

Можна зробити висновок, що підвищення ефективності функціонування ЗФ, та і самої ТП для забезпечення необхідного рівня ЕМС повинне базуватись не тільки на режимних та схемотехнічних рішеннях, в тому числі при введенні в дію нового обладнання, а й розробці та впровадженні сучасних силових активних фільтрів.

## БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2007 році [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2008. – 102 с.
2. Двенадцатипульсовые полупроводниковые выпрямители тяговых подстанций [Текст] / Б. С. Барковский и др.; под ред. М. Г. Шалимова. – М.: Транспорт, 1990. – 127 с.
3. Концепція будівництва та оновлення тягових підстанцій [Текст] / Укрзалізниця. – К.: Головне управління електрифікації та електропостачання, 2005. – 16 с.
4. Про електромагнітну сумісність електрифікованих залізничних ліній постійного струму [Текст] / І. В. Анохов та ін. // Заліз. трансп. України. – 2000. – № 2. – С. 10-12.
5. Разработать и внедрить информационно-управляющий комплекс с применением микропроцессоров. Раздел: Разработка технического задания на программное и техническое обеспечение задачи «Контроль фильтр-устройства» [Текст] : отчет о НИР 144/87 / МИИТ. – М., 1987. – 30 с. – № ГР 01.87.0053842.
6. Дослідження показників якості електроенергії на вводах і фідерах тягових підстанцій постійного струму та розробка рекомендацій [Текст] : звіт по НДР 23.52.07.08 / ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – 63 с. – № ДР 0107U010377.
7. Скоков, Р. Б. Снижение влияния тяговой сети постоянного тока на автоблокировку с тональными рельсовыми цепями [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р. Б. Скоков. – Омск, 2004. – 18 с.
8. Сиченко, В. Г. Діагностування згладжуючих фільтрів тягових підстанцій постійного струму [Текст] / В. Г. Сиченко, М. П. Бадьор, В. А. Зубенко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2000. – № 2. – С. 80-84.
9. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст] / Л. А. Бессонов. – М.: Гардарики, 2006. – 701 с.

Надійшла до редколегії 24.09.2008.

## СПЕЦИАЛЬНАЯ РЕПЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУТИ В ПЛАНЕ

Розглядається спеціальна реперна система для підвищення точності зйомки плану залізничної колії.

Рассматривается специальная реперная система для повышения точности съемки плана железнодорожного пути.

The special bench mark system for increasing the accuracy of survey of railway track plan is examined.

### Известные реперные системы

На сегодня известно несколько типов реперных систем для контроля положения пути в плане.

Наиболее точная, но достаточно дорогая и сложная, – европейская система. В ней на опорах контактной сети устанавливаются специальные реперные знаки, которые регулярно проверяются геодезической службой.

При измерениях специальная тележка устанавливается в створе между двумя такими знаками, в результате чего через расстояния до знаков определяются координаты тележки. На расстоянии около 200 м устанавливается вторая такая же тележка. После их позиционирования луч лазера направляется от центра одной тележки на центр другой. Считывающее устройство на путерихтовочной машине позволяет определить по лучу либо координаты стояния машины, либо стрелу отклонения от луча. По проектным данным для данной точки определяется необходимая рихтовка.

Аналогичные знаки устанавливаются на некоторых дорогах России. Но отсутствие технологии их использования в процессе выполнения работ, существенный уход координат реперов от начальных из-за наклона опор и смещения земполотна, невозможность створовых измерений из-за подъема пути не позволили получить от такой (достаточно дорогой) системы никакого практического результата.

В печати появлялись предложения создания реперов, которые будут закреплять характерные точки кривой. Такие репера имеют просто информативный характер и никак не влияют на точность измерений и рихтовки кривых.

Предлагалась также обычная геодезическая реперная система, которая устраивается вдоль железнодорожной линии и позволяет выполнять тахеометрические либо высотные измерения в том или ином месте без повторного соз-

дания опорной сети. Такая система требует высокоточных геодезических приборов и не может использоваться в текущей работе.

### Проблема точности измерений планового положения пути

Для измерений планового положения пути на сегодня используется три принципиально разных подхода.

Первый из них связан с измерением кривизны в отдельных точках пути тем или иным способом. Самыми известными из них являются способ стрел и его модификации.

Второй подход основан на измерении углов поворота вдоль кривой. Наиболее известным из таких способов является способ Гоникберга (Ленгипротранса).

Третий подход основан на измерении координат отдельных точек пути.

Чисто математически все три способа взаимосвязаны, и измерения одного из них могут быть пересчитаны в два других. Но, если учитывать точность тех или иных измерений и последующую обработку измеренных величин, то эти способы имеют существенные отличия.

Динамические характеристики пути при движении поезда определяются кривизной пути, а величины рихтовок – координатами точек. Для перехода от кривизны к углам требуется интегрирование (суммирование) значений кривизны (стрел), а для перехода от углов к координатам еще одно интегрирование.

В результате двойного интегрирования значений кривизны, измеренных с какой-то погрешностью, ошибка в пространственном положении пути очень быстро накапливается [1]. При измерении стандартным способом стрел такая погрешность достигает нескольких метров на километр пути. Гораздо меньшее накопление ошибки происходит при одиночном интегрировании углов поворота, да и точность уг-

ловых измерений сегодняшними приборами гораздо выше точности линейных измерений. При измерении координат с уравниванием сетей ошибка практически не накапливается.

С другой стороны, реальная погрешность измерения координат при тахеометрической съемке находится в пределах 20...30 мм [2], что при близком расположении точек приводит к большой погрешности определения кривизны соседних точек. В ряде случаев величина требуемой рихтовки находится в пределах этой точности, что не позволяет при координатной съемке обеспечить требуемую точность рихтовки.

### **Современные способы измерений положения пути в плане**

Сегодня достаточно распространенными являются способы измерений положения пути в плане при помощи движущихся измерительных систем.

К таким системам, прежде всего, относятся компьютеризированные путеизмерительные вагоны. В таких вагонах, как правило, выполняется косвенное измерение кривизны пути путем измерения отклонения измерительных устройств относительно кузова вагона. Точность измерения отдельной стрелы, которая анонсируется в рекламных материалах, находится от 0,1 до 1,5 мм. Учитывая крайне низкую (1:100...1:500) точность измерения расстояния, пройденного вагоном, пространственная ошибка у таких систем находится на уровне обычного способа стрел. Серьезное влияние на низкую точность измерений оказывает также асимметричность измерительной системы.

Для измерений планового положения пути относительно недавно появились попытки использования тележек, оборудованных спутниковыми геодезическими системами. При этом в рекламных материалах указывается погрешность определения координат такими системами 1..5 мм на километр пути.

Отметим, что в технических характеристиках спутниковых геодезических приемников указывается точность определения координат в статическом режиме (при стоянке на точке 60 минут) как  $\pm(5 + L \cdot \Delta)$  мм, где  $L$  – удаление от базовой станции, а  $\Delta$  – погрешность, связанная с удалением от базовой станции, обычно равна 1..5 мм.

При использовании кинематического способа измерений, который предполагает стояние на каждой точке 10...30 с, а не непрерывное

движение, погрешность измерений возрастает в 3...4 раза. В случае непрерывного движения без остановок точность кинематики может быть обеспечена только с применением специальных гироскопических платформ и постоянно действующей опорной сети стационарных станций. Без таких устройств движущийся непрерывно приемник дает погрешность, измеряемую десятками сантиметров.

Еще одна существенная составляющая погрешности спутниковых измерений связана с тем, что приемник (для надежного захвата спутников) устанавливается на достаточно большой высоте (1,5...4,5 м). При наклонах движущейся единицы, связанных с возвышением рельса и колебаниями экипажа, появляется достаточно большая погрешность, так как приемник в таких случаях не находится над рельсом или осью пути.

### **Уравнивание съемки**

Возрастание погрешности способа стрел на расстоянии и низкая точность координатной съемки на соседних точках может быть компенсирована уравниванием съемки. Сплошные измерения плана пути выполняются способом стрел (рекомендуется модифицированный способ, разработанный автором [3]). Для компенсации накапливающейся погрешности через определенное расстояние измеренные стрелы уравниваются по координатам отдельных точек. Такой подход позволяет использовать преимущества и ликвидировать недостатки, присущие этим двум способам съемки [4].

Эксперименты показали, что координаты отдельных точек при обычном способе стрел достаточно определять через 100...150 м. При более точных сплошных измерениях расстояние между закоординированными точками может приниматься большим.

В результате уравнивания получаем координаты точек пути, соответствующие выполненным измерениям с учетом их точности. При этом сразу определяются точки с наибольшими отклонениями, которые в отдельных случаях следует измерить повторно.

### **Специальная реперная система**

Для уравнивания съемки следует создать специальную реперную систему (может использоваться и существующая), которая должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Измерения от реперной системы должны выполняться простыми измерительными

приборами (например, рулетками или лазерными рулетками), чтобы уравнивание съемки мог выполнять даже бригадир пути.

2. На заданном расстоянии, которое зависит от точности стандартных измерений, устанавливаются пары реперов (лучше 3...4 репера) так, чтобы от них линейной засечкой можно было определить координаты точки на пути.
3. Чтобы избежать погрешности, вызываемой наклоном ленты, уровень репера должен приблизительно соответствовать уровню головки рельса,
4. Расстояние между этими реперами и расстояние от них до измеряемых рельсов должно обеспечивать натяжение без провисания ленты рулетки. При использовании лазерных рулеток это требование отпадает.
5. Репера должны устанавливаться в местах, которые обеспечивают их стабильность. Конструкции реперов должны обеспечивать технологические ремонтные процессы на пути.
6. Реперная система должна регулярно проверяться путем измерения реперов спутниковыми геодезическими системами или электронными тахеометрами. Периодичность проверки устанавливается контрольными измерениями при начале эксплуатации системы,

При наличии такой системы любые измерения – как ручные, так и машинные – могут уравниваться на координаты точек, что позволит получать более надежные результаты для длинных участков пути.

Специальная реперная система, дополненная более точными измерениями отдельных точек пути, позволит на новом более качественном уровне решать вопросы выправки, проектирования, переустройства плана пути и наполнения геоинформационных систем и САПР.

Особенно актуальной такая система является для опытных полигонов, на которых появится возможность оценки реальной точности новых путеизмерительных систем.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корженевич, И. П. Влияние точности съемки методом стрел на результаты рихтовки [Текст] / И. П. Корженевич // *Материалы науч.-техн. конф., посвященной 125-летию Свердловской железной дороги «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта»* : сб. науч. тр. – Т. 1.– Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2003. – С. 440-444.
2. Матвеев, С. И. Геоинформационные системы и технологии на железнодорожном транспорте [Текст] / С. И. Матвеев, В. А. Коугия, В. Я. Цветков; под ред. С. И. Матвеева. – М.: УМК МПС России, 2002. – 288 с.
3. Корженевич, И. П. Новые способы съемки железнодорожных кривых [Текст] / И. П. Корженевич // *Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – 2007. – Вип. 12. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007.– С. 64-68.
4. Корженевич И. П. Комбинированный способ съемки плана железнодорожной линии [Текст] / И. П. Корженевич // *Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – 2007. – Вип. 14. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 81-85.

Поступила в редколлегию 20.11.2008.

## ВСТАНОВЛЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ УСУНЕННЯ ОБМЕЖЕНЬ ШВИДКОСТІ, ЗУМОВЛЕНИХ СТАНОМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

Запропоновано методику щодо встановлення раціональної послідовності усунення обмежень швидкості руху поїздів.

Предложена методика для установления рациональной последовательности устранения ограничений скорости движения поездов.

The technique for establishment of rational sequence of elimination of restrictions on train traffic speed is offered.

### Постановка задачі

Колійне господарство є однією з найважливіших галузей матеріально-технічної бази залізничного транспорту, в якій зосереджено понад 50 % вартості усіх основних фондів залізниць. На ремонт та утримання технічних засобів колійного господарства приходиться понад 20 % експлуатаційних витрат. Витрати матеріалів на модернізацію в колійному господарстві складають понад 50 % від відповідних витрат усіх господарств залізниць [1]. Таким чином, колійне господарство залізниць є найбільш капітало-, трудо- та матеріаломісткою галуззю залізничного транспорту. 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 по-

казників і, як результат, підвищують ефективність та конкурентоспроможність процесу перевезень. В останні роки в колійному господарстві відбуваються зміни, які спрямовані на підвищення якості ремонтів колії і швидкості руху поїздів, забезпечення 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 розподілення коштів набуває особливої гостроти. Так, на рис. 1 наведено діаграму, яка характеризує зміни кількості кілометрів колії, які потребували модернізації з 2002 по 2007 роки. З діаграми видно, що кількість прострочених кілометрів весь час перевищує кількість кілометрів, на яких виконано модернізацію. А тому питання раціонального розподілення коштів на виконання ремонтно-колійних робіт є актуальним.



Рис. 1. Динаміка зміни кількості кілометрів колії, які потребували модернізації по роках

### Методика дослідження

За даними Придніпровської залізниці було виконано ряд досліджень [2 – 4], використання результатів яких дозволяють визначати послідовність усунення обмежень швидкості руху поїздів при обмежених капітальних вкладеннях. Проведені дослідження показали, що, поперше, найбільш раціональним є розподілення напрямків на перегони або на групи декількох перегонів, на кожному з яких діють обмеження та які розташовані послідовно. По-друге, необхідно мати достовірну вихідну інформацію про дослідні ділянки: довжина, розміри руху, маси поїздів, вантажонапруженість, характеристики

плану і профілю, значення тягово-енергетичних показників до виникнення обмежень швидкості, характеристики обмежень та ін. Тоді за методикою, викладеною у роботах [1 – 3], можна визначити зростання експлуатаційних витрат на ділянках обмеження швидкості та на наступному етапі встановити черговість усунення діючих обмежень.

На Придніпровській залізниці було виділено 27 дослідних ділянок з діючими обмеженнями швидкості, для яких, користуючись методикою [2 – 4], було визначено витрати, які зведено в табл. 1.

Таблиця 1

Показники, що характеризують ефективність зняття обмежень швидкості

| НОМЕР ДОСЛІДНОЇ ДІЛЯНКИ | $KV(E)$ , ТИС. ГРН | $Z_1(E)$ , ТИС. ГРН | $Z_2(E)$ , ТИС. ГРН |
|-------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 1                       | 234                | 1109                | 8068                |
| 2                       | 880                | 3190                | 12339               |
| 3                       | 1036               | 6702                | 4507                |
| 4                       | 210                | 3607                | 6161                |
| 5                       | 234                | 5408                | 3081                |
| 6                       | 234                | 1423                | 701                 |
| 7                       | 5229               | 1423                | 17167               |
| 8                       | 5480               | 833                 | 5458                |
| 9                       | 219                | 995                 | 7228                |
| 10                      | 105                | 995                 | 910                 |
| 11                      | 219                | 995                 | 2241                |
| 12                      | 146                | 995                 | 744                 |
| 13                      | 110                | 995                 | 10420               |
| 14                      | 5334               | 3526                | 8286                |
| 15                      | 578                | 6734                | 11909               |
| 16                      | 2873               | 1352                | 2416                |
| 17                      | 2740               | 867                 | 4168                |
| 18                      | 1370               | 1646                | 21922               |
| 19                      | 1370               | 823                 | 5029                |
| 20                      | 1370               | 2359                | 25079               |
| 21                      | 11                 | 823                 | 1372                |
| 22                      | 11                 | 512                 | 968                 |
| 23                      | 6782               | 4115                | 3300                |
| 24                      | 5229               | 4392                | 1231                |
| 25                      | 840                | 4381                | 1985                |
| 26                      | 5229               | 5871                | 4435                |
| 27                      | 370                | 6379                | 10536               |

Для визначення найефективніших ділянок було вирішено задачу векторної оптимізації. Послідовність розв'язання такої задачі наведено у роботах [5 – 7].

Розглянемо множину дослідних ділянок  $E \in \mathfrak{A}(\Omega)$  (див. табл. 1), кожна з яких оцінюється за допомогою трьох показників: необхідних капітальних вкладень на усунення діючих обмежень ( $KV(E)$ ), економічної ефективності від зняття обмежень, яка складається з таких частин: скорочення поїздо-годин ( $Z_1(E)$ ), зниження витрат паливо-енергетичних ресурсів та зниження витрат на поточне утримання залізничної колії ( $Z_2(E)$ ). При виборі найкращого варіанту показники  $Z_1(E)$  і  $Z_2(E)$  бажано отримати якомога більшими, а  $KV(E)$  обмежується певним значенням  $KV_{\max}$ , тобто:

$$\begin{pmatrix} Z_1(E) \\ Z_2(E) \end{pmatrix} \rightarrow \max, \quad (1)$$

при цьому

$$KV \leq KV_{\max}. \quad (2)$$

Якщо на множині дослідних ділянок виконується умова

$$\begin{aligned} Z_1(E_i) &\leq Z_1(E_j); \\ Z_2(E_i) &\leq Z_2(E_j); \\ i &\neq j, i = 1, 27, \end{aligned} \quad (3)$$

то тоді всі ділянки порівнянні між собою за Парето. Така умова, наприклад, виконується, якщо порівнювати показники дослідних ділянок № 4 та 15 або № 14 та 15 і т.д. (див. табл. 1).

Згідно з визначеннями [5 – 6], дві ділянки  $E_1$  та  $E_2 \in \mathfrak{A}(\Omega)$  називають непорівнянними, якщо серед множини (3) є хоча б одна строга протилежна нерівність. У табл. 1 така протилежна нерівність характерна, наприклад, для дослідних ділянок № 15 та № 18. Виходячи з умови (1), надамо оцінку множині  $E \in \mathfrak{A}(\Omega)$  за допомогою вектору  $Z(E)$ . Задача відбору за правилом (3) і є задачею векторної оптимізації [5 – 6]. Користуючись визначеннями [5 – 6], множину  $\varepsilon \in \mathfrak{A}(\Omega)$  назвемо рішенням задачі векторної оптимізації (3), якщо будь-які дві ділянки  $E_1$  та  $E_2 \in \varepsilon$  є непорівнянними.

На непорівнянні варіанти накладемо обмеження типу:

$$\forall E \in \varepsilon \rightarrow E \in D(\Omega) \subseteq \mathfrak{A}(\Omega) \quad (4)$$

де  $D(\Omega) = KV_{\max}$  – набір допустимих множин з  $\mathfrak{A}(\Omega)$ .

Обмеження, що накладено на дослідні варіанти, передбачає можливість встановлювати допустимі значення капітальних вкладень, з урахуванням яких визначаються непорівнянні варіанти.

Співвідношення (4) будемо розглядати як ще одне правило відбору, і тоді дана задача векторної оптимізації буде мати два критерії (правила відбору) – (3) та (4). У даному випадку задача векторної оптимізації є двокритеріальною.

Використання запропонованої моделі векторної оптимізації дозволяє відсіювати неефективні варіанти. На рис. 2 схематично показано, яким чином обираються варіанти. Наприклад, бажано отримати деяку максимальну економію за показниками  $Z_{1(\max)}$  і  $Z_{2(\max)}$ , з рис. 2 видно, що для цього необхідні певні максимальні капітальні вкладення  $KV_{\max}$ . Якщо ж замість необхідних максимальних вкладень  $KV_{\max}$  маємо обмежені  $KV_0$ , то при розподіленні їх ми отримаємо відповідну економію  $Z_{1(0)}$  та  $Z_{2(0)}$  і т.д.

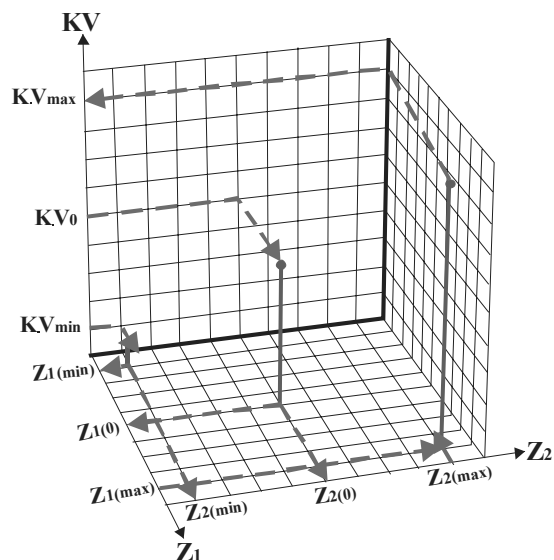


Рис. 2. Приклад вибору найкращого варіанту

### Аналіз отриманих результатів

Для розв'язання даної задачі векторної оптимізації було розроблено відповідне програмне забезпечення за допомогою пакету Maple, яке дозволяє обирати непорівнюванні варіанти взагалі та з урахуванням рівня обмеження капітальних вкладень. Детальна послідовність ро-

боти у програмі наведена на рис. 3. Спочатку вводяться вихідні дані: кількість ділянок з діючими обмеженнями швидкості, витрати на додаткові поїздо-години, паливо-енергетичні ресурси та поточне утримання колії і в останню чергу – капітальні вкладення для усунення обмежень швидкості по кожній з дослідних ділянок.

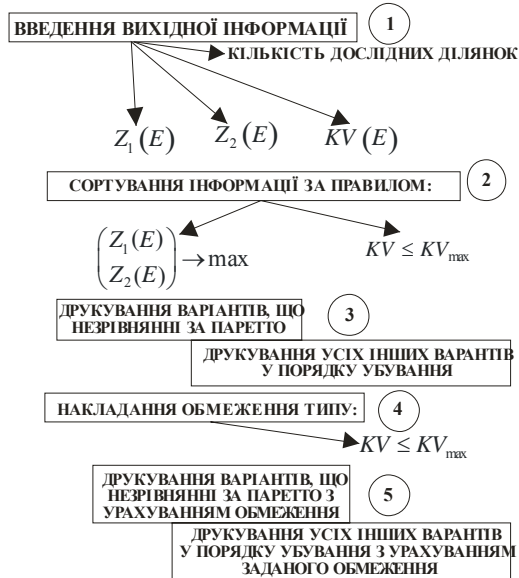


Рис. 3. Алгоритм встановлення раціональної послідовності усунення обмежень швидкості

При розв’язанні задачі капітальні вкладення на усунення обмежень швидкості вважалися обмеженими і перебір виконувався з урахуванням максимально допустимого значення  $KV_0$ . Наприклад, залізниця у поточному місяці може виділити усього 1,5 млн грн для виконання ремонтно-колійних робіт на ділянках з діючими обмеженнями швидкості. З урахуванням такого обмеження фінансових ресурсів пропонується два найефективніших варіанти.

1.  $Z_1, Z_2, KV$   
6734, 11909, 578  
3190, 12339, 880
2.  $Z_1, Z_2, KV$   
2359, 25079, 1370

Перший з обраних варіантів передбачає усунення обмежень швидкості, які діють на дослідних ділянках № 15 і № 2. Другий варіант передбачає, у першу чергу, усунення обмежень на дослідній ділянці № 20. Так, у першому випадку при витратах 1,458 млн грн економія складе 34,172 млн грн за рік. А у другому випадку

при капітальних витратах 1,370 млн грн економія 27,438 млн грн. Отже, більш ефективним є перший варіант. Таким чином, можна задавати будь-які обмеження за капітальними вкладеннями та отримувати інші варіанти ділянок з діючими попередженнями, на яких виконання ремонтно-колійних робіт необхідне у першу чергу.

## Висновок

Отримані результати спрощують задачу при розподіленні коштів залізниці на ремонтно-колійні роботи. При цьому досягається найбільш раціональне розподілення фінансових ресурсів при усуненні обмежень швидкості руху на ділянках з погіршеним станом залізничної колії.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Экономика железнодорожного транспорта [Текст]: учебник для студентов вузов / под ред. Б. М. Липидуса, Н. П. Тершиной, М. Ф. Трихункова. – М.: УМК МПС России, 2001. – 600 с.
2. Курган, М. Б. Економічна ефективність від усунення обмежень швидкості руху поїздів, що зумовлені простроченням ремонтів [Текст] / М. Б. Курган, О. С. Маркова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007 – Вип. 19. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 84-87.
3. Чернишова, О. С. Зниження експлуатаційних витрат при відміні попереджень з обмеження швидкості руху поїздів [Текст] / О. С. Чернишова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 20. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 78-81.
4. Курган, М. Б. Вплив пропущеного тоннажу та плану лінії на витрати при поточному утриманні колії [Текст] / М. Б. Курган, О. С. Чернишова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 88-90.
5. Босов, А. А. Підвищення ефективності роботи транспортної системи на основі структурного аналізу [Текст]: монографія / А. А. Босов, Н. А. Мухіна, Б. П. Піх. – Д., 2005. – 200 с.
6. Босов, А. А. Функции множества и их применение [Текст]: учеб. пособие / А. А. Босов. – Днепродзержинск: Изд. дом «Андрей», 2007. – 182 с.
7. Волгин, Л. Н. Принцип согласованного оптимума [Текст] / Л. Н. Волгин. – М.: Сов. радио, 1977. – 144 с.

Надійшла до редколегії 25.12.2008.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОГЛОЩАЮЩИХ СКВАЖИН ДЛЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ЗОНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ПОДЗЕМНОМ ПОТОКЕ

Розроблена чисельна модель розрахунку захисту підземних вод від забруднення у разі використання нейтралізуючого розчину. Модель базується на рішенні двовимірного рівняння фільтрації та геоміграції. Наводяться результати обчислювального експерименту.

Разработана численная модель расчета защиты подземных вод от загрязнения путем использования нейтрализующего раствора. Модель основывается на решении двухмерных уравнений фильтрации и геомиграции. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

A numerical model to calculate the process of ground waters protection from pollution with the use of neutralizer has been proposed. The model is based on the 2-D equations of filtration and admixture transfer. Results of numerical experiment are presented.

Защита безнапорных, первых от поверхности земли, водоносных горизонтов – задача большой важности в области экологической безопасности, т.к. эти горизонты наиболее подвержены техногенному загрязнению, и в частности, при аварийных разливах. С другой стороны, данные горизонты часто используются для водоснабжения в сельской местности. Поэтому совершенствование методов защиты грунтовых вод – актуальная задача. Одним из методов защиты является подача в загрязненный водоносный горизонт нейтрализатора (рис. 1).

Обзор научных публикаций, посвященных данному вопросу [1, 3, 5, 6], показал, что отсутствуют расчетные методики, которые можно было бы применить для расчета данного процесса и его оптимизации.

Целью настоящей работы явилось создание эффективной методики экспресс-расчета процесса нейтрализации загрязнителя в подземном водоносном горизонте. Методика расчета базируется на создании численной модели изучаемого процесса.

Разработанная методика расчета адаптирована для решения прикладных задач, поэтому при применении методики используется стандартная гидрогеологическая информация, кроме этого пользователь получает прогнозную информацию в виде, удобном для оперативного анализа и принятия инженерного решения.

### Математическая модель

Процесс миграции загрязняющего вещества в подземном потоке и нейтрализатора, который

подается в поток и систему скважин, описывается уравнением [2, 4]:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (k_x h \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_y h \frac{\partial h}{\partial y}) \pm \sum W \delta(x - x_i) \cdot \delta(y - y_i),$$

где  $\mu$  – недостаток насыщения;  $h$  – глубина потока;  $k$  – коэффициент фильтрации;  $W$  – дебит скважины;  $\delta(x - x_i) \cdot \delta(y - y_i)$  – дельта-функция Дирака;  $x_i, y_i$  – координаты скважины.

Отметим, что если величина  $W$  положительная, то имеет место работа поглощающих скважин, а если отрицательная – имеет место работа откачивающих скважин.

$$n \frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial uCh}{\partial x} + \frac{\partial vCh}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x h \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y h \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \sum WC \delta(x - x_i) \cdot \delta(y - y_i), \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация загрязняющего вещества в подземном потоке (нейтрализатора);  $W$  – интенсивность поступления нейтрализатора в подземный поток;  $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$  – дельта-функция Дирака;  $u, v$  – компоненты вектора скорости;  $\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коэффициент дисперсии,  $n$  – активная пористость.

Постановка краевых условий для приведенных уравнений рассмотрена в работе [2].

## Метод решения

Расчет уравнения массопереноса и уравнения фильтрации реализуется на прямоугольной разностной сетке.

Рассмотрим неявную разностную схему расщепления [2], которая положена в основу разработанного алгоритма.

Произведем следующую аппроксимацию производных, входящих в уравнение (1):

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t};$$

$$\frac{\partial u C}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x};$$

$$\frac{\partial v C}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y};$$

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^+ C_{ij}^{n+1} - u_{ij}^+ C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^- C_{i+1,j}^{n+1} - u_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^+ C_{ij}^{n+1} - v_{ij}^+ C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^- C_{i,j+1}^{n+1} - v_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1},$$

где

$$u^+ = \frac{u + |u|}{2}; \quad u^- = \frac{u - |u|}{2};$$

$$v^+ = \frac{v + |v|}{2}; \quad v^- = \frac{v - |v|}{2}.$$

Следуя работе [2], компоненты скорости потока  $u$  будем задавать на вертикальных гранях разностной ячейки, а компоненты скорости  $v$  – на горизонтальных гранях. Вторые производные аппроксимируем так:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \approx \tilde{\mu}_x \frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta x^2} -$$

$$- \tilde{\mu}_x \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \approx \tilde{\mu}_y \frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta y^2} -$$

$$- \tilde{\mu}_y \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1}.$$

В используемых выражениях  $L_x^+$ ,  $L_x^-$ ,  $L_y^+$ ,  $L_y^-$ ,  $M_{xx}^+$ ,  $M_{xx}^-$ ,  $M_{yy}^+$ ,  $M_{yy}^-$  – обозначения разностных операторов.

С учетом этих обозначений разностный аналог уравнения (2) будет иметь вид:

$$\frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} +$$

$$+ L_y^+ C^{n+1} + L_y^- C^{n+1} + \sigma C_{ij}^{n+1} =$$

$$= (M_{xx}^+ C^{n+1} + M_{xx}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1} + M_{yy}^- C^{n+1}).$$

Решение данного разностного уравнения расщепляется на 4 шага при интегрировании на временном интервале  $dt$ :

- на первом шаге  $k = \frac{1}{4}$ :

$$\frac{C_{ij}^{n+k} - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k =$$

$$= \frac{1}{4} (M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^n + M_{yy}^+ C^k + M_{yy}^- C^n);$$

- на втором шаге  $k = n + \frac{1}{2}$ ,  $c = n + \frac{1}{4}$ :

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k =$$

$$= \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c);$$

- на третьем шаге  $k = n + \frac{3}{4}$ ,  $c = n + \frac{1}{2}$ :

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k =$$

$$= \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^c + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c);$$

- на четвертом шаге  $k = n + 1$ ,  $c = n + \frac{3}{4}$ :

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k =$$

$$= \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k).$$

В данные разностные соотношения входит «возмущенный» коэффициент дисперсии  $\tilde{\mu}$  [4].

Преимуществом данной схемы расщепления является то, что на каждом дробном шаге неизвестное значение концентрации загрязняющего вещества определяется по методу бегущего счета. Разностная схема является абсолютно устойчивой на каждом дробном шаге и легко программируется. Для интегрирования уравнения фильтрации применяется попеременно-треугольный метод А. А. Самарского.

### Практическая реализация

Практическое применение численной модели рассмотрим на примере решения следующих задач.

В грунтовом потоке образовалась зона загрязнения серной кислотой. Размеры расчетной области:  $300 \times 320$  м, параметры потока: средняя глубина – 15 м, коэффициент фильтрации – 10 м/сут, активная пористость – 0,2, средняя концентрация загрязнителя в зоне –  $2 \text{ кг/м}^3$ , масса загрязнителя в подземном потоке – около 131 т;  $\sigma = 0,00185 \text{ [1/сут]}$ ,  $D_x = 0,001V_x$ ;  $D_y = 0,001V_y$  м/сут. Поглощающие скважины работают в режиме  $H = \text{const}$ . Расчет выполнен для величины напора  $H = 20$  м и  $H = 25$  м.

Для нейтрализации ореола кислоты используется 10 %-ный раствор NaOH.

Ставится задача – оценить интенсивность процесса нейтрализации при различном напоре в скважине и ее положении относительно зоны загрязнения.

Результаты расчетов представлены в табл. 1 – 4.

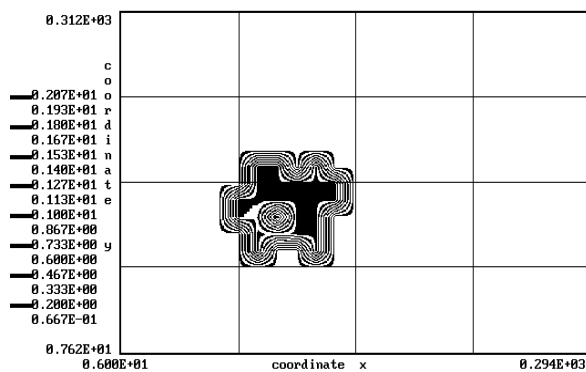


Рис. 1. Зона загрязнения подземного потока для момента времени  $t = 0.001$  суток

Как видно из данных таблиц, увеличение напора в скважине приводит к существенному повышению эффективности процесса нейтрализации загрязнителя в подземном потоке. «Визуально» можно наблюдать, как происходит процесс нейтрализации с помощью рис. 1 – 4, где представлены изолинии концентрации загрязнителя в подземном потоке для раз-

личных моментов времени после начала работы скважины. Об эффективности ликвидации зоны загрязнения будем судить о площади оставшейся зоны загрязнения после обработки (на рисунках эта область показана темным цветом).

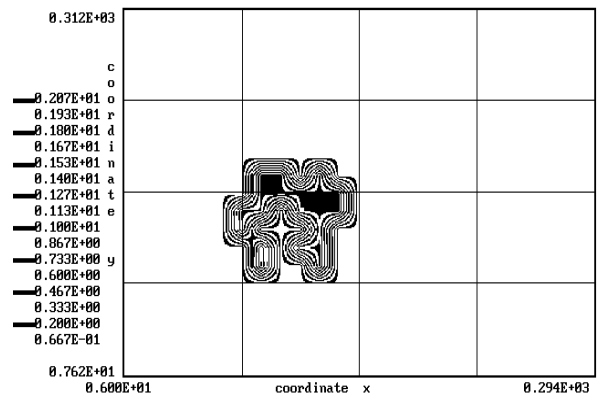


Рис. 2. Зона загрязнения подземного потока для момента времени  $t = 0.2$  суток

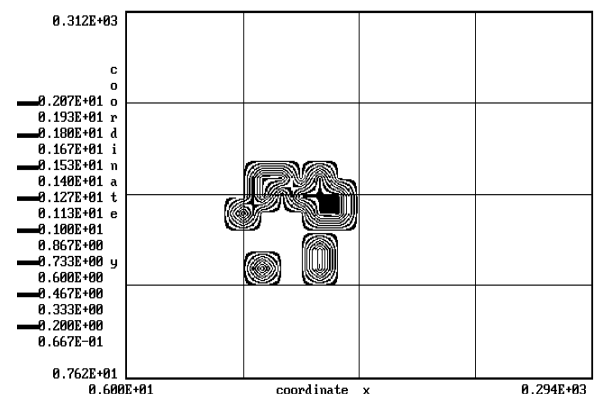


Рис. 3. Зона загрязнения подземного потока для момента времени  $t = 1.14$  суток

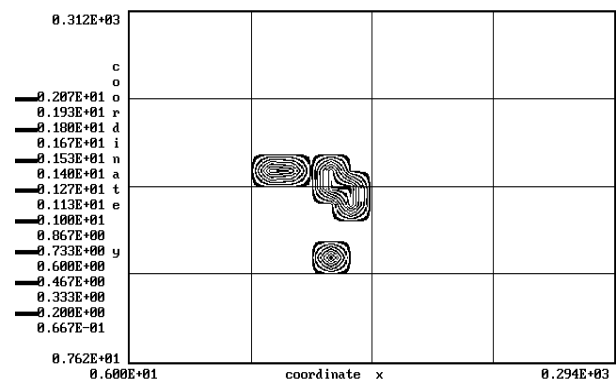


Рис. 4. Зона загрязнения подземного потока для момента времени  $t = 4$  суток

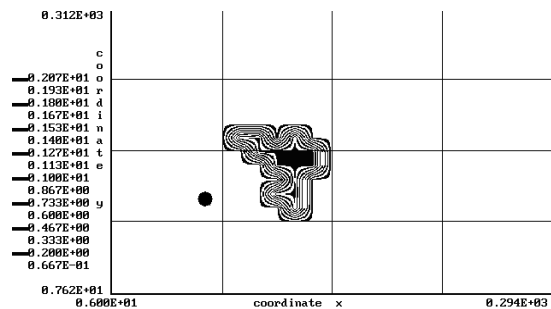


Рис. 5. Зона загрязнения подземного потока для момента времени  $t = 4$  суток (скважина расположена на границе зоны загрязнения)

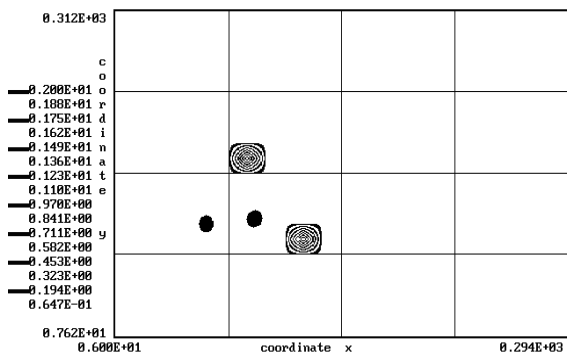


Рис. 6. Зона загрязнения подземного потока для момента времени  $t = 4$  суток (работают две скважины)

Таблица 1

**Количество нейтрализованной кислоты при напоре в скважине 20 м**

| $t$ , сут | Нейтрализовано кислоты, кг | Процентное количество нейтрализованной кислоты, % |
|-----------|----------------------------|---|
| 4         | 92987                      | 70  |
| 6         | 99357                      | 75  |
| 8         | 114206                     | 86  |
| 12        | 120737                     | 91  |

Таблица 2

**Количество нейтрализованной кислоты при напоре в скважине 25 м**

| $t$ , сут | Нейтрализовано кислоты, кг | Процентное количество нейтрализованной кислоты, % |
|-----------|----------------------------|---|
| 4         | 96362                      | 73  |
| 6         | 113442                     | 86  |
| 8         | 118944                     | 90  |
| 12        | 127891                     | 97  |

Во втором сценарии рассматривалась ситуация, когда скважина, подающая нейтрализатор, располагается не внутри зоны загрязнения, как в первом сценарии, а на ее границе (напор в скважине  $H = 20$  м). Данный сценарий моделирует «неудачное» решение. Динамика нейтрализации кислоты в потоке для данного сценария представлена ниже в табл. 3.

Таблица 3

**Количество нейтрализованной кислоты при напоре в скважине 20 м (скважина располагается на границе зоны загрязнения)**

| $t$ , сут | Нейтрализовано кислоты, кг | Процентное количество нейтрализованной кислоты, % |
|-----------|----------------------------|---|
| 4         | 53975                      | 40  |
| 6         | 57919                      | 44  |
| 8         | 72990                      | 55  |
| 12        | 23807                      | 63  |

Таблица 4

**Количество нейтрализованной кислоты при напоре в скважинах 20 м (работают две скважины)**

| $t$ , сут | Нейтрализовано кислоты, кг | Процентное количество нейтрализованной кислоты, % |
|-----------|----------------------------|---|
| 4         | 114150                     | 90  |
| 6         | 115764                     | 91  |
| 8         | 120875                     | 95  |
| 12        | 125033                     | 98  |

Сравнивая данные этой таблицы с табл. 1, хорошо видно, что для данного сценария эффективность нейтрализации заметно снижается. На рис. 5 представлена зона загрязнения подземного потока при работе скважины для момента времени  $t = 4$  сут. Сравнивая этот рисунок с рис. 4, видно, что зона загрязнения подземного потока для второго сценария больше, чем для первого.

В третьем сценарии моделировался процесс нейтрализации при работе двух скважин (комбинация первого и второго сценариев – одна скважина располагается в зоне загрязнения, а вторая – на ее границе). Динамика нейтрализации кислоты представлена в табл. 4. Как видно из данной таблицы, при работе двух скважин

резко увеличивается процесс нейтрализации в потоке. На рис. 6 показана зона загрязнения для момента времени  $t = 4$  суток. Сравнивая этот рисунок с предыдущими (для первого и второго сценариев, момент времени  $t = 4$  суток), видим существенное уменьшение площади зоны загрязнения для третьего сценария. Анализируя данные прогноза, можно также сделать вывод, что темп процесса нейтрализации через 8 суток работы скважин снижается.

### Выводы

Разработана численная модель, на основе которой создан метод расчета процесса ликвидации зоны загрязнения, образовавшейся в безнапорном подземном потоке за счет применения подачи нейтрализатора. Для реализации предложенного метода используется стандартная гидрогеологическая информация. Метод хорошо приспособлен для практических расчетов, требует около 15 с машинного времени на решение одного варианта задачи. Модель может быть использована для обоснования принятых инженерных решений по защите подземных вод. Дальнейшее совершенствование метода следует осуществлять в направлении создания 3-D модели.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий [Текст]: учеб. пособие в 5-ти кн. / под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева. – М.: Изд-во АСВ, 2001.

2. Беляев, Н. Н. Компьютерное моделирование динамики движения и загрязнения подземных вод [Текст] / Н. Н. Беляев, Е. Д. Коренюк, В. К. Хрущ. – Д.: Наука и образование, 2001. – 156 с.
3. Основы гидрогеологических расчетов [Текст] / Ф. М. Бочеввер и др. – М.: Недра, 1965. – 305 с.
4. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский и др. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
5. Полубаринова-Кочина, П. Я. Математические методы в вопросах орошения [Текст] / П. Я. Полубаринова-Кочина, В. Г. Пряжинская, В. Н. Эмих. – М.: Наука, 1969. – 414 с.
6. Экологические последствия загрязнения окружающей среды в результате аварий при перевозках неорганических кислот и технологические аспекты их ликвидации [Текст] / Л. А. Ярышкина и др. // Ресурсосберегающие технологии в транспорте и гидротехническом строительстве : межвуз. сб. науч. тр. «Новые строительные технологии». – Вып. 3. – Д.: Арт-Пресс, 1997. – С. 103-107.

Поступила в редколлегию 25.12.2008.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАССЕЙВАНИЯ ТЯЖЕЛОГО ГАЗА В АТМОСФЕРЕ

Запропонована чисельна модель та на її базі розроблено метод розрахунку процесу розповсюдження важкого газу в атмосфері. В якості математичної моделі використовуються тривимірні рівняння переносу домішки та потенціального руху повітря. Розрахунок здійснюється з використанням неявних різницьових схем. Надаються результати обчислювального експерименту з моделювання забруднення повітря у випадку аварійного витoku токсичної речовини.

Разработана численная модель и на ее основе построен метод расчета процесса распространения тяжелого токсичного газа в атмосфере. В качестве математической модели используется трехмерные уравнения переноса примеси и потенциального течения воздушной среды. Расчет осуществляется с использованием неявных разностных схем. Приводятся результаты вычислительного эксперимента по моделированию загрязнения воздушной среды в случае аварийной утечки токсичного вещества.

A numerical model to simulate the process of heavy gas transfer was developed. The numerical simulation is carried out using 3D models of pollutant transfer and potential air flow. The implicit finite difference schemes are used. The results of numerical simulation of air pollution are presented.

### Введение

При авариях на химических объектах, транспорте могут иметь место утечки, выбросы тяжелых токсичных газов. Прогноз уровня загрязнения атмосферы при таких аварийных ситуациях, оценка размеров зон возможного токсичного поражения – важнейшая задача [1] при разработке ПЛАСа (план ликвидации аварийной ситуации). Необходимо отметить, что для моделирования переноса тяжелых газов существует несколько подходов. Один подход базируется на применении полных уравнений Навье-Стокса или применении данных уравнений в приближении Буссинеска [2]. Однако, при таком подходе необходимо использовать мелкую сетку. Учитывая, что размеры расчетной области могут оставлять сотни метров, то при этом подходе затраты машинного времени будут крайне высоки. На практике нередко «эффект» оседания токсичного газа часто не учитывают [7]. Другим подходом для моделирования переноса тяжело газа может служить подход, рассмотренный в работе [5], при котором процесс оседания тяжело аэрозоля моделируется введением в уравнение переноса примеси скорости гравитационного оседания  $w_s$ . Основная сложность состоит в определении этой величины. При переносе пылевых частиц, капель скорость оседания рассчитывается по ряду эмпирических зависимостей или по формуле Стокса. В настоящей работе рассматривается подход к определению этой величины, осно-

ванный на применении уравнения состояния идеального газа, позволяющий на базе трехмерного уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси построить эффективный численный алгоритм расчета рассеивания тяжелого газа в атмосфере с учетом рельефа местности, профиля вектора скорости воздушного потока и неравномерного значения коэффициентов атмосферной турбулентной диффузии.

### 1. Математическая модель

Для моделирования процесса переноса тяжелого газа в атмосфере будем использовать трехмерное уравнение миграции примеси [3, 5]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \sum Q_i(t) \delta(r - r_i), \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация загрязняющего вещества;  
 $u, v, w$  – компоненты вектора скорости воздушной среды;

$w_s$  – скорость оседания примеси;

$\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$  – коэффициент турбулентной диффузии;

$Q$  – интенсивность выброса токсичного вещества;

$\delta(r - r_i)$  – дельта-функция Дирака;

$r_i = (x_i, y_i, z_i)$  – координаты источника выброса.

Для расчета поля скорости воздушного потока с учетом рельефа местности делается допущение, что движение воздушной среды – потенциальное, тогда компоненты скорости воздушной среды определяются соотношениями

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial P}{\partial z},$$

где  $P$  – потенциал.

Уравнение для определения потенциала имеет вид

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0. \quad (2)$$

Постановка краевых условий для уравнения (1) рассмотрена в работах [5, 3]. Для уравнения (2) ставятся следующие граничные условия:

- на твердых стенках  $\frac{\partial P}{\partial n} = 0$ , где  $n$  – единичный вектор внешней нормали;
- на входной границе (границы втекания воздушного потока)  $\frac{\partial P}{\partial n} = V_n$ , где  $V_n$  – известное значение скорости;
- на выходной границе  $P = P(x = \text{const}, y) + \text{const}$  (условия Дирихле).

В модели учитывается неравномерный профиль ветра и величины коэффициента атмосферной диффузии:

$$u = u_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^n, \quad \mu_z = k_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^m,$$

где  $u_1$  – скорость ветра на высоте  $z_1$ ;

$$k_1 = 0,1 \text{ м/с};$$

$$n = 0,15;$$

$$m \approx 1.$$

## 2. Метод решения

Численное интегрирование уравнения (1) осуществляется с использованием неявной попеременно-треугольной разностной схемы расщепления [3]. Для численного интегрирования уравнения (2) используется идея установления решения по времени, т.е. интегрируется уравнение вида

$$\frac{\partial P}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2},$$

где  $\tau$  – фиктивное время.

Численное интегрирование данного уравнения проводится с использованием неявной разностной схемы условной аппроксимации. В разработанном пакете программ осуществляется также численное интегрирование уравнения (2) с помощью попеременно-треугольного метода Самарского [6].

## 3. Алгоритм расчета скорости $w_S$

На первом этапе расчета рассеивания тяжелого газа осуществляется решение уравнения (1), и притом полагается, что  $w_S = 0$ . Таким образом, в каждом контрольном объеме (разностной ячейке « $ijk$ ») известна концентрация газа  $C_{ijk}$  на первом расчетном шаге. На втором этапе рассчитывается величина  $w_S$  в каждом контрольном объеме по следующему алгоритму:

1. Используя уравнение состояния идеального газа, рассчитывается парциальное давление токсичного газа в каждом контрольном объеме [3]

$$P_{ijk} = \frac{C_{ijk} R_u T}{M},$$

где  $R_u$  – универсальная газовая постоянная;

$T$  – температура;

$M$  – молекулярная масса токсичного газа.

2. Рассчитывается парциальный объем токсичного газа в каждой разностной ячейке (на основе закона Бойля-Мариотта).

3. Рассчитывается газовая постоянная смеси в каждой разностной ячейке.

4. Рассчитывается плотность смеси  $\rho$  в каждой разностной ячейке.

5. Из балансового соотношения [2]  $\frac{\rho w_S^2}{2} = g \Delta z (\rho - \rho_a)$ , определяется величина  $w_S$  в каждом контрольном объеме (здесь  $\rho_a$  – плотность воздуха;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ).

6. В каждом контрольном объеме интегрируется уравнение

$$\frac{\partial C}{\partial t} - \frac{\partial C w_S}{\partial z} = 0.$$

Таким образом, в конце второго этапа значение концентрации тяжелого газа в каждом контрольном объеме подправляется с учетом оседания газа.

#### 4. Практическая реализация

Рассмотрим применение разработанной численной модели и построенного метода расчета загрязнения атмосферы при утечке хлора. Решение задачи находится при таких данных: размеры расчетной области: 120 м×60 м×60 м; коэффициент диффузии на высоте  $z_1 = 10$  м –  $\mu = 1$  м<sup>2</sup>/с. Скорость ветра на высоте 10 м – 1,5 м/с; температура воздуха – 20 °С, атмосферное давление – 1 бар. Утечка хлора осуществляется с интенсивностью 10 кг/с, место утечки – перед первой насыпью (рис. 1). Расчетная область имеет сложную геометрическую форму и представляет собой комбинацию двух насыпей, между которыми находится впадина. Форма расчетной области формируется с помощью маркеров, которые позволяют выделить те разностные ячейки, которые относятся к области течения и отдельно выделить разностные ячейки, которые относятся к рельефу местности.

Рассмотрим результаты вычислительного эксперимента. В табл. 1 представлены расчетные значения величины максимальной концентрации токсичного газа во впадине между насыпями.

Таблица 1

**Максимальная концентрация хлора во впадине,  $t = 75$  с**

| $x$ , м                | 10   | 20   | 30   |
|------------------------|------|------|------|
| $C$ , г/м <sup>3</sup> | 27,9 | 21,4 | 17,9 |

Как видно из данной таблицы внутри впадины происходит интенсивное загрязнение воздушной среды. Если принять во внимание, что ПДК для хлора составляет 1 мг/м<sup>3</sup>, то очевидно, что во впадине формируется подзона со смертельными концентрациями.

На рис.1 показана зона загрязнения воздушной среды в расчетной области для момента времени  $t = 75$  с. Хорошо видно, что шлейф токсичного газа огибает обе насыпи и между насыпями сформировалась обширная зона загрязнения с поражающими концентрациями.

#### Выводы

В работе разработана трехмерная численная модель, на основе которой построен метод расчета динамики загрязнения атмосферы при

утечке тяжелого газа. Численный расчет проводится с учетом рельефа местности и требует малых затрат машинного времени (около 10 с) на расчет одного варианта задачи. Дальнейшее совершенствование данного направления необходимо вести по созданию банка данных для компьютерных моделей относительно наиболее типичных загрязнителей.

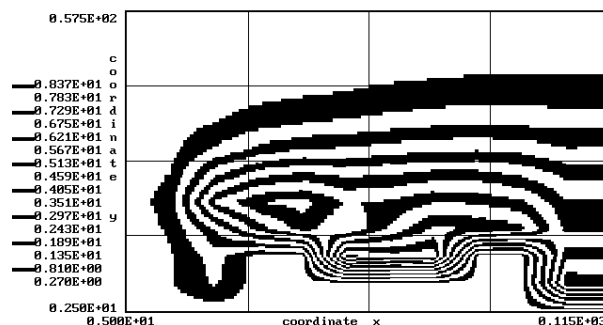


Рис. 1. Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t = 75$  с (сечение  $y = 60$  м)

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий [Текст] : учеб. пособие в 5-ти кн. / под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева. – М.: АСВ, 2001. – 200 с.
2. Беляев, Н. Н. Основы теплопередачи [Текст] / Н. Н. Беляев. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1989. – 343 с.
3. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский и др. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
4. Крейт, Ф. Основы теплопередачи [Текст] : [пер. с англ.] / Ф. Крейт, У. Блэк. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
5. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – М.: Наука. – 1982. – 320 с.
6. Самарский, А. А. Теория разностных схем [Текст]. – 2-е изд., испр. / А. А. Самарский. – М.: Наука. – 1983. – 616 с.
7. Эльтерман, В. М. Вентиляция химических производств [Текст]. – 3-е изд., перераб. / В. М. Эльтерман. – М.: Химия, 1980. – 288 с.

Поступила в редколлегию 10.11.2008.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ

Розроблена чисельна модель розрахунку процесу підтоплення території. Модель базується на рішенні двовимірному рівняння фільтрації. Наводяться результати обчислювального експерименту.

Разработана численная модель расчета процесса подтопления территории. Модель основывается на решении двухмерных уравнений фильтрации. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

A numerical model to calculate the process of ground waters rise has been proposed. The model is based on the 2-D equations of filtration. The results of numerical experiment are presented.

В последнее время большое внимание привлекает проблема подтопления территорий. Существуют различные факторы, действующие, как правило, в сочетании и приводящие к подтоплению. Важнейшим вопросом является прогноз подъема уровня подземных вод с целью оценки масштаба создаваемой угрозы и разработки научно обоснованных защитных мероприятий. Необходимо отметить, что на практике для прогноза изменения уровня грунтовых вод используется в основном два подхода. Первый подход – это применения аналитического решения уравнения фильтрации [2]. Другой подход – это численное моделирование [5]. В настоящей работе рассматривается построение численной модели для решения задач прогноза динамики подземных вод. В основу предлагаемой численной модели положено уравнение нестационарной фильтрации. На базе разработанной численной модели создан пакет прикладных программ, позволяющий оперативно получить информацию об изменении уровня подземных вод.

Разработанный метод расчета адаптирован для решения прикладных задач, поэтому при применении методики используется стандартная гидрогеологическая информация, кроме этого пользователь получает прогнозную информацию в виде, удобном для оперативного анализа и принятия инженерного решения.

### Математическая модель фильтрации

В качестве базового уравнения фильтрации для моделирования процесса подъема подземных вод используется уравнение вида [4, 5]

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k_x (h - \eta) \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y (h - \eta) \frac{\partial h}{\partial y} \right) + W(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i),$$

где  $h(x, y, t)$  – превышение свободной поверхности потока над плоскостью сравнения;

$\eta(x, y)$  – превышение водоупора водоносного горизонта над плоскостью сравнения;

$W$  – интенсивность инфильтрации воды в подземный водоносный горизонт;

$\delta(x - x_i)$  – дельта-функция Дирака;

$x_i - y_i$  – координаты точек, где происходит инфильтрация воды.

Разностные уравнения, аппроксимирующие исходное нелинейное уравнение, имеют вид [1, 3]:

- на первом шаге расщепления

$$\frac{h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - h_{i,j}^n}{\Delta t} = A \left( \frac{h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} - h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \right) + B \left( \frac{h_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}} - h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right),$$

где уровень подземных вод на одной из граней разностной ячейки рассчитывается по формуле

$h_{i-1/2,j} = 0,5 \cdot (h_{i,j} + h_{i-1,j})$ . Здесь также использованы следующие обозначения:

$$\eta_{i-\frac{1}{2},j} = 0,5(\eta_{ij} + \eta_{i-1j}),$$

$$A = \frac{\left( h_{i-1/2,j} - \eta_{i-1/2,j} \right)}{\frac{1}{2k_{ij}} + \frac{1}{2k_{i-1j}}},$$

$$B = \frac{\left(h_{ij-1/2} - \eta_{ij-1/2}\right)}{\frac{1}{2k_{ij}} + \frac{1}{2k_{ij-1}}};$$

- на втором шаге расщепления разностное уравнение имеет вид

$$\frac{h_{i,j}^{n+1} - h_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta t} = C \left( \frac{-h_{i,j}^{n+1} + h_{i+1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} \right) + D \left( \frac{-h_{i,j}^{n+1} - h_{i,j+1}^{n+1}}{\Delta y^2} \right),$$

$$\text{где } C = \frac{\left(h_{i+1/2,j} - \eta_{i+1/2,j}\right)}{\frac{1}{2k_{i+1,j}} + \frac{1}{2k_{i,j}}};$$

$$D = \frac{\left(h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1/2}\right)}{\frac{1}{2k_{i,j+1}} + \frac{1}{2k_{i,j}}}.$$

Для реализации этой разностной схемы на каждом шаге по времени строится итерационный процесс, где по найденным значениям напора  $H_{ij}$  пересчитываются коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  до установления решения с заданной точностью  $\epsilon$ .

После расчета величины  $h$  определяются компоненты вектора скорости – на гранях разностных ячеек:

$$u_{ij} = k \frac{h_{i,j} - h_{i-1,j}}{\Delta x};$$

$$v_{ij} = k \frac{h_{i,j} - h_{i,j-1}}{\Delta y}.$$

Процесс подтопления может сопровождаться поступлением загрязняющих веществ в подземный поток и их миграцией в этом потоке. Для моделирования процесса переноса загрязняющих веществ используется следующая модель массопереноса [1, 3]:

$$n \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \sum WC \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (1) \quad \text{где}$$

где  $C$  – концентрация загрязняющего вещества в подземном потоке;  $W$  – интенсивность поступления воды в подземный поток;  $u, v$  – компоненты вектора скорости;  $\delta(x - x_i), \delta(y - y_i)$  – дельта-функция Дирака;  $\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коэффициент дисперсии.

Постановка краевых условий для приведенных уравнений рассмотрена в работе [2].

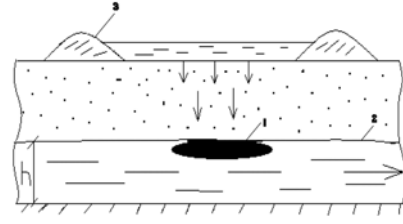


Рис. 1. Схема поступления вод с поверхности земли в подземный поток

### Метод решения уравнения массопереноса

Расчет уравнения массопереноса и фильтрации реализуется на прямоугольной разностной сетке.

Рассмотрим неявную разностную схему расщепления [1, 3], которая положена в основу разработанного алгоритма.

Произведем следующую аппроксимацию производных, входящих в уравнение массопереноса:

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t};$$

$$\frac{\partial uC}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x};$$

$$\frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y};$$

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^+ C_{ij}^{n+1} - u_{ij}^+ C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^- C_{i+1,j}^{n+1} - u_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^+ C_{ij}^{n+1} - v_{ij}^+ C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^- C_{i,j+1}^{n+1} - v_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1},$$

$$u^+ = \frac{u + |u|}{2}; \quad u^- = \frac{u - |u|}{2};$$

$$v^+ = \frac{v + |v|}{2}; \quad v^- = \frac{v - |v|}{2}.$$

Следуя работе [3], компоненты скорости потока  $u$  будем задавать на вертикальных гранях

разностной ячейки, а компоненты скорости  $v$  – на горизонтальных гранях. Вторые производные аппроксимируем так:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) &\approx \tilde{\mu}_x \frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta x^2} - \\ -\tilde{\mu}_x \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} &= M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1}; \\ \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) &\approx \tilde{\mu}_y \frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta y^2} - \\ -\tilde{\mu}_y \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} &= M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1}. \end{aligned}$$

В используемых выражениях  $L_x^+$ ,  $L_x^-$ ,  $L_y^+$ ,  $L_y^-$ ,  $M_{xx}^+$ ,  $M_{xx}^-$ ,  $M_{yy}^+$ ,  $M_{yy}^-$  – обозначения разностных операторов.

С учетом этих обозначений разностный аналог уравнения (2) будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} + \\ + L_y^+ C^{n+1} + L_y^- C^{n+1} + \sigma C_{ij}^{n+1} = \\ = \left( M_{xx}^+ C^{n+1} + M_{xx}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1} + M_{yy}^- C^{n+1} \right). \end{aligned}$$

Решение данного разностного уравнения расщепляется на 4 шага при интегрировании на временном интервале  $dt$ :

- на первом шаге  $k = \frac{1}{4}$ :
$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^{n+k} - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \\ = \frac{1}{4} (M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^n + M_{yy}^+ C^k + M_{yy}^- C^n); \end{aligned}$$
- на втором шаге  $k = n + \frac{1}{2}$ ,  $c = n + \frac{1}{4}$ :
$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \\ = \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c); \end{aligned}$$
- на третьем шаге  $k = n + \frac{3}{4}$ ,  $c = n + \frac{1}{2}$ :
$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k =$$

$$= \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^c + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c);$$

- на четвертом шаге  $k = n + 1$ ,  $c = n + \frac{3}{4}$ :

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \\ = \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k). \end{aligned}$$

В данные разностные соотношения входит «возмущенный» коэффициент дисперсии  $\tilde{\mu}$  [3].

Преимуществом данной схемы расщепления является то, что на каждом дробном шаге неизвестное значение концентрации загрязняющего вещества определяется по методу бегущего счета. Разностная схема является абсолютно устойчивой на каждом дробном шаге и легко программируется.

### Практическая реализация

Рассмотренная численная модель является универсальной и может быть применена для решения различных задач, связанных с процессом подтопления. Рассмотрим применение этой модели для решения достаточно сложной с практической точки зрения задачи – подъем грунтовых вод при орошении. Сложность решения этой задачи состоит в том, что подача воды на грунт осуществляется неравномерно при орошении, т.е. подпитка подземного потока происходит в различное время на различных участках. На практике для расчета возможного уровня поднятия грунтовых вод на величину  $dh$  используется формула Шестакова:

$$dh = \frac{W t}{\mu}.$$

Недостатком данной формулы является то, что при прогнозе не учитывается процесс растекания бугра под участком орошения. С помощью разработанной численной модели можно задавать те участки, где имеет место подача воды на грунт и те участки, где такая подача прекратилась. Модель позволяет задавать режим подачи воды, т.е. когда началась подача, когда закончилась, интенсивность подачи в течение полива. Расчет был выполнен при следующих исходных данных: размеры расчетной области 1500 x 12600 м; размеры участка орошения 4200 x 2400 м; активная пористость 0,3; коэффициент фильтрации подземного водоносного горизонта 30 м/сут; глубина подземного

потока в начале расчетной области 16 м, а в конце – 12 м; интенсивность инфильтрации 0,001 м/сут;  $\eta = 0$ . Рассматривалось решение модельной задачи. Подача воды осуществлялась в течение 5 суток, затем перерыв 5 суток, снова подача в течение 5 суток, перерыв 10 суток, подача воды в течение 5 суток, далее перерыв – 300 суток и снова цикл повторяется. Результаты прогноза изменения глубины подземного потока под участком орошения следующие (сечение  $Y = 660$  м):

Перед началом орошения:

$$X = 2700 \text{ м} \quad h = 15,35 \text{ м}$$

$$X = 4500 \text{ м} \quad h = 14,86 \text{ м}$$

$$X = 5700 \text{ м} \quad h = 14,53 \text{ м}$$

$$X = 6900 \text{ м} \quad h = 14,19 \text{ м}$$

Через 70 суток после начала полива:

$$X = 2700 \text{ м} \quad h = 15,35 \text{ м}$$

$$X = 4500 \text{ м} \quad h = 14,92 \text{ м}$$

$$X = 5700 \text{ м} \quad h = 14,76 \text{ м}$$

$$X = 6900 \text{ м} \quad h = 14,42 \text{ м}$$

Через год:

$$X = 2700 \text{ м} \quad h = 15,41 \text{ м}$$

$$X = 4500 \text{ м} \quad h = 15,09 \text{ м}$$

$$X = 5700 \text{ м} \quad h = 14,81 \text{ м}$$

$$X = 6900 \text{ м} \quad h = 14,44 \text{ м}$$

Через 4 года:

$$X = 2700 \text{ м} \quad h = 15,47 \text{ м}$$

$$X = 4500 \text{ м} \quad h = 15,21 \text{ м}$$

$$X = 5700 \text{ м} \quad h = 14,95 \text{ м}$$

$$X = 6900 \text{ м} \quad h = 14,57 \text{ м}$$

Как видно из представленных результатов, динамика изменения глубины подземного потока под участком орошения характеризуется постоянным увеличением этой величины. Видно, что в среднем за 4 года уровень грунтовых вод под участком может подняться на величину порядка 0,3 метра. Такое незначительное по-

вышение можно объяснить в частности тем, что водоносный горизонт имеет достаточно большой коэффициент фильтрации и происходит быстрое растекание воды, поступившей в подземный поток.

### Выводы

Разработана численная модель прогноза динамики подземных вод, на основе которой можно прогнозировать процесс подтопления территории. Модель использует стандартную гидрогеологическую информацию и позволяет получить прогнозную информацию в течение 3...5 минут. Модель может быть использована для обоснования инженерных решений по защите территорий от подтопления. Дальнейшее совершенствование модели следует осуществлять в направлении ее развития для решения трехмерных задач.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беляев, Н. Н. Компьютерное моделирование динамики движения и загрязнения подземных вод [Текст] / Н. Н. Беляев, Е. Д. Коренюк, В. К. Хрущ. – Д.: Наука и образование, 2001. – 156 с.
2. Основы гидрогеологических расчетов [Текст] / Ф. М. Бочеввер и др. – М.: Недра, 1965. – 305 с.
3. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский и др. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
4. Полубаринова-Кочина, П. Я. Математические методы в вопросах орошения [Текст] / П. Я. Полубаринова-Кочина, В. Г. Пряжинская, В. Н. Эмих. – М.: Наука, 1969. – 414 с.
5. Охрана подземных вод в условиях техногенеза [Текст] / Н. С. Огняник и др. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1985. – 221 с.

Поступила в редколлегию 25.12.2008.

Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО (ДИИТ), Л. Ф. ЯЦЕНКО, Д. М. ПОПЕЛЬНИЦКИЙ (Крымский инженерно-педагогический университет)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИКОЛЛИНЕАРНОСТИ ФАКТОРОВ В МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ САКСКОГО ОЗЕРА**

Виявлені значні кореляційні залежності в масиві показників, за якими ведуться регулярні спостереження на Сакському родовищі, що дозволяє виявити найбільш значні чинники і вибрати оптимальну і найбільш економічну схему моніторингу, а також створити ефективну прогнозу модель.

Виявлены значительные корреляционные зависимости в массиве показателей, за которыми ведутся регулярные наблюдения на Сакском месторождении, что позволяет выявить наиболее значимые факторы и выбрать оптимальную и наиболее экономичную схему мониторинга, а также создать эффективную прогнозную модель.

There are elucidated considerable correlation relationships in a set of parameters, which are regularly observable at Saks'ke deposit, that allows obtaining most important factors and choosing the optimum and most economic scheme of monitoring, as well as developing the effective forecast model.

В настоящее время для описания и оптимизации процессов взаимодействия природы и человека применяются методы математического моделирования и регрессионно-корреляционного анализа [1]. Однако, большое количество факторов, влияющих на состояние экосциума, обусловили переход от моделей математической экономики и математической экологии к эколого-экономическим моделям [2].

При рассмотрении эколого-экономической проблемы отслеживание всего многообразия факторов интересно не только с точки зрения сиюминутного отражения ситуации, но и с точки зрения предсказания ее развития.

Построение надежной прогнозной модели требует большого количества наблюдений, что связано не только с проблемой корректного измерения необходимых величин, но и с существенными экономическими затратами на такие наблюдения.

Если ряд факторов находится в сильной корреляционной зависимости друг от друга (существует мультиколлинеарность в массиве фактор-признаков), то некоторые из них можно исключить из модели. Это не приведет к ухудшению многофакторной регрессионной модели [2], однако сократит финансовые затраты на «лишние» наблюдения.

В сложившихся тысячелетиями географических, природных и погодных условиях на Крымском полуострове располагаются крупные грязевые озера, суммарный объем лечебной

грязи в которых составляет около 24 млн. м<sup>3</sup> [3]. Месторождения лечебной грязи расположены по всему Крыму. В связи с сокращением финансирования деятельность многих грязелечебниц и станций грязедобычи были свернуты, и на сегодняшний день в Крыму осталось единственная действующая гидрогеологическая станция, ведущая систематические наблюдения. Это Сакская гидрогеологическая режимно-эксплуатационная станция (Сакская ГГРЭС). На данный момент Сакская ГГРЭС исследует и поддерживает только Сакское месторождение минеральных вод и лечебной грязи, что составляет приблизительно 3 млн. м<sup>3</sup> (12,5% от всех запасов лечебной грязи Крыма). Остальные запасы лечебной грязи, которые по оценкам специалистов могут быть использованы в лечебно-рекреационных процессах, расположены на Керченском полуострове (озера Узунлар, Тобечик, Кояш, Чокрак) и имеют более 20 млн. м<sup>3</sup> лечебной грязи (87,5%) [4].

В задачи Сакской ГГРЭС входит наблюдение за параметрами водно-солевого режима Сакского озера, от которого в свою очередь зависит процесс формирования запасов лечебной грязи (сульфидной иловой грязи). В связи с месторасположением и видом грязезалежи Сакского озера на водно-солевой баланс влияет множество различных условий, которые будут рассмотрены ниже.

Водно-солевой баланс Сакского озера зависит от множества различных условий [5].

**Погодные условия.** Основными факторами, влияющими на регуляцию запасов воды в любом природном водном объекте, являются:

- температура воздуха;
- направление и скорость ветра;
- влажность воздуха;
- выпадение осадков.

В связи с месторасположением Сакского лечебного озера – в прибрежной полосе Черного моря, метеорологическая обстановка в этом регионе отличается от метеорологической обстановки основной части полуострова. В основном все метеорологические процессы носят сезонный характер. В поздний осенний, зимний и ранний весенний периоды все четыре погодных условия ведут к сдвигу водного баланса в сторону опреснения озера. В поздний весенний, летний и ранний осенний периоды эти же факторы способствуют интенсивному испарению воды с поверхности озера, что приводит к повышению содержания соли в воде («солевого процента»).

Температура воздуха, направление и скорость ветра, влажность воздуха и количество осадков имеют ярко выраженные сезонные колебания. В прибрежной полосе климат относительно мягче, чем во внутренней части полуострова. Поэтому в Сакском районе в зимнее и осеннее время года преобладает сухой северо-восточный ветер. В летнее и весеннее время года наряду с этим ветром дуют более влажные южный и юго-западный ветры. В зависимости от времени года влияние того или иного ветра на данный регион отображается в формировании температурного показателя и испарении влаги (ускорение или замедление испарения, выпадение осадков).

**Грунтовые воды.** Грунтовые воды – один из важнейших источников питания Сакского лечебного озера, активно влияющий на его водно-солевой баланс. В зависимости от погодных условий характер поступления грунтовых вод носит сезонный характер. Повышение интенсивности поступления грунтовых вод проявляется в поздний осенний, зимний и ранний весенний периоды. С грунтовыми водами в Сакское озеро поступает комплекс хлоридных, натриевых и сульфатных солей и ионов.

Основными местами попадания грунтовых вод в грязелечебные бассейны являются западная часть (морская вода фильтруется через западную пересыпь, отделяющая озеро от Черного моря), северо-восточная часть и юго-восточная часть (воды попадают через грунт в связи с интенсивным выпадением осадков).

Грунтовые воды в зоне озера залегают на глубине от 1,0 до 7,0 м.

**Микробиологический и бактериологический баланс.** При составлении модели формирования запасов лечебной грязи следует учитывать микробиологический и бактериологический баланс, т.к. некоторые группы микроорганизмов выделяют вещества, влияющие на лечебные свойства грязи. В Сакском озере преобладают нитрифицирующие, денитрифицирующие, уробактерии, целлюлозоразрушающие аэробные и анаэробные бактерии [4]. Развитие всех групп бактерий и микроорганизмов зависит от погодных и физико-химических условий. Поэтому микробиологический и бактериологический баланс носит сезонный характер. Также следует отметить полное отсутствие некоторых групп бактерий и микроорганизмов в отдельные календарные месяцы года.

**Физико-химическое состояние.** Заключительная группа факторов, которая влияет на формирование запасов лечебной грязи, – это процентное содержание химических элементов, катионов и анионов, содержащихся в рапе, и их соотношение. В водах Сакского озера, которое характеризуется залежами сульфидной иловой грязи, в основном преобладают сульфаты и гидрокарбонаты щелочных и щелочно-земельных металлов. В условиях значительного длительного понижения температуры рапы происходит выпадение в осадок сульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Также в рапе, как правило, содержатся соли магния (сульфат  $\text{MgSO}_4$ , хлорид  $\text{MgCl}_2$ ) и кальция (карбонат  $\text{CaCO}_3$ , гидрокарбонат  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , сульфат  $\text{CaSO}_4$ ). В определенные месяцы, в зависимости от периода года, отмечается полное отсутствие некоторых веществ в рапе, что тоже говорит о сезонности протекания физико-химических процессов.

Суммарное содержание данных веществ в рапе характеризует минерализацию – фактор, формирующий условия для преобразования грязи в лечебную грязь.

В настоящее время Сакское озеро разделено на несколько бассейнов, процессы в которых частично или полностью регулируются:

- 1) Западный бассейн – приблизительно 85 % залежей лечебной грязи, здесь происходят более естественные экологические процессы;
- 2) Восточный бассейн – около 15 % залежей лечебной грязи, полностью контролируем;
- 3) Буферный бассейн – пресноводный бассейн, служит для подкачки воды в восточный бассейн в засушливый период, а в период

с избытком пресной воды по сбросному каналу воду сливают в Черное море;

4) Михайловский пруд – основной накопитель воды, подаваемой в буферный бассейн, а далее в восточный бассейн;

5) Чокрак – бассейн-накопитель пресной воды;

6) Ковш – бассейн-накопитель пресной воды;

7) Накопитель-испаритель – основной накопитель пресной воды, функцией которого является слив пресной воды в Черное море в период избытка воды.

Цель работы – выявление сильной коррелированности в массиве факторов-показателей, за которыми ведутся регулярные наблюдения на Сакском месторождении лечебной грязи, что целесообразно с точки зрения выявления наиболее значимых факторов и выбора оптимальной и наиболее экономичной схемы мониторинга.

В рамках настоящей работы не представляется возможным изучить проблему в полном объеме, поскольку отсутствуют необходимые систематические наблюдения за микробиологическим и бактериологическим балансом, а также за режимами пополнения запасов воды за счет грунтовых вод. Исследование наличия мультиколлинеарности факторов, от которых зависит процесс формирования запасов лечебной грязи, было проведено на основе данных, полученных для территории Сакского озера в целом.

Такие факторы, как среднемесячная температура воздуха, среднемесячная относительная влажность, атмосферные осадки характеризуют процессы в любом бассейне Сакского озера.

Были изучены следующие природные факторы:

- среднегодовая температура воздуха ( $X_1$ );
- среднегодовая относительная влажность ( $X_2$ );
- среднегодовое количество выпавших атмосферных осадков ( $X_3$ );
- испарение с поверхности ( $X_4$ );
- минерализация рапы в Восточном бассейне ( $X_5$ ).

На данном этапе исследования мы пренебрегли сезонным характером изменения метеорологических условий и использовали среднегодовые величины (рис. 1). Кроме того, были использованы длительные экспериментальные данные по минерализации рапы и испарению влаги с поверхности Восточного бассейна. Взятые

показатели были получены с 1971-го года по 2004-й год.



Рис. 1. Результаты ежегодных наблюдений за метеорологическими условиями в районе Сакского озера

Для выявления мультиколлинеарности был использован методика, которая называется алгоритмом Феррара-Глобера. Средствами табличного процессора MS Excel по критерию  $\chi^2$  (хи-квадрат) было выявлено наличие в целом мультиколлинеарности в массиве пяти изученных факторов:

Сравнение рассчитанной статистики  $\chi^2_{\text{факт}} = 25,83495$  с соответствующим табличным значением  $\chi^2_{\text{табл}} = 18,30704$  позволило сделать вывод о существовании в данной группе факторов корреляционных зависимостей, так как  $\chi^2_{\text{факт}} > \chi^2_{\text{табл}}$ .

Следуя алгоритму Феррара-Глобера, далее с помощью критерия Фишера был исследован характер взаимоотношений каждого отдельно взятого фактора и массива оставшихся переменных. Были рассчитаны табличное значение статистики  $F_{\text{табл}} = 2,701399$  и оценки по данному критерию для каждого фактора:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= 1,527943; \\
 F_2 &= 4,545773; \\
 F_3 &= 1,248922; \\
 F_4 &= 8,32834; \\
 F_5 &= 3,153654.
 \end{aligned}$$

По критерию Фишера, если оценка  $F_j$  (где  $j = 1 \dots m$ ,  $m$  – количество исследуемых факторов)  $j$ -го фактора больше  $F_{\text{табл}}$   $F_j > F_{\text{табл}}$ , то фактор  $X_j$  мультиколлинеарен к массиву остальных переменных. В данном случае можно видеть, что это условие выполняется для переменных  $X_2$ ,  $X_4$  и  $X_5$ . Эти факторы обнаруживают корреляцию по отношению к остальному массиву данных.

Далее для исследования парной корреляции был использован критерий Стьюдента. Были получены оценки  $t_{\text{табл}}$  и  $t_{ij}$ , которые показали, что второй фактор коррелирует с четвертым, и

пятый фактор тоже коррелирует с четвертым, т.к. если по критерию Стьюдента  $t_{ij} > t_{табл}$ ,  $i$ -й фактор имеет сильную взаимную корреляционную связь с  $j$ -м фактором.

Произведенные расчеты показывают значительную корреляцию факторов  $X_2$  – среднегодовой относительной влажности, и  $X_4$  – испарения с поверхности, а также между  $X_4$  и  $X_5$  – минерализацией рапы в Восточном бассейне.

### Выводы

Таким образом, при построении модели формирования запасов лечебной грязи можно рекомендовать исключить из рассмотрения одну из этих переменных. Проведение предварительного регрессионного анализа позволяет спрогнозировать, что таким фактором, скорее всего, будет фактор  $X_4$  – «испарение с поверхности». Это позволит сократить затраты на проводимые наблюдения и создать эффективную прогнозную модель.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стадницький, Ю. І. Економічні основи управління оздоровленням доквілля (методологія і практика) [Текст]: монографія / Ю. І. Стадницький. – Л.: Львівська політехніка, 1999. – 260 с.

2. Яценко, Л. Ф. Особенности экономического моделирования геоэкологических процессов [Текст] / Л. Ф. Яценко // Матер. VI-й Межд. конф. «Современные проблемы гуманизации и гармонизации управления», Харьков, октябрь 2005. – С. 232-233.
3. Подгородецкий, П. Д. География Крыма [Текст]: учебное пособие для 9 кл. ср. шк. / П. Д. Подгородецкий, В. Б. Кудрявцев. – Симферополь: Крымское учеб.-пед. гос. изд-во, 1995. – 224 с.
4. Отчет о геоэкологических работах. Комплексное рекогностировочное обследование крупнейших месторождений лечебных грязей Крыма (Чокрак, Узунлар, Кояш, Тобечик) [Текст]. – Саки, 2006. – 209 с.
5. Отчет о научно-практической работе: «Геоэкологическое изучение, режим, эксплуатация и горно-санитарная охрана месторождений гидроминеральных ресурсов Автономной Республики Крым в зоне действия ДП «Сакская ГГРЭС» за 2006 год» [Текст]. – Саки, 2007. – 167 с.

Поступила в редколлегию 22.12.2008.

## СПОСОБИ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ

Залізничний транспорт за своєю природою є більш екологічно чистим порівняно з автомобільним та повітряним. Проте не слід забувати про те, що розвиток залізничного транспорту слід реалізовувати з дотриманням екологічних вимог. Ця проблема також вельми актуальна і для України, оскільки вона за щільністю залізничної мережі і вантажонапруженістю перевищує багато інших країн Центральної Європи. Тому проблема екологізації залізничного транспорту є дуже важливою.

Железнодорожный транспорт по своей природе является более экологически чистым по сравнению с автомобильным и воздушным. Однако не следует забывать, развитие железнодорожного транспорта следует реализовать с соблюдением экологических требований. Эта проблема также весьма актуальна и для Украины, т.к. она по плотности железнодорожной сети и грузонапряженности превышает много других стран Центральной Европы. Поэтому проблема экологизации железнодорожного транспорта очень важна.

Railway transport on its nature is friendlier to the environment as compared to motor-car and air transport modes. However it is necessary to not forget that the development of railway transport should be realized with the observance of ecological requirements. This problem is also very urgent for Ukraine, because it exceeds a lot of other countries of Central Europe on the density of railway system and its freight traffic volumes. That is why the problem of ecologization of railway transport is very important.

Еволюція розвитку людства і створення індустріальних методів господарювання привели до утворення глобальної техносфери, одним з елементів якої є залізничний транспорт. Природне середовище при функціонуванні елементів техносфери є джерелом сировинних і енергетичних ресурсів і простором для розміщення її інфраструктури [1].

Функціонування будь-якого елемента техносфери, у тому числі й залізничного транспорту, повинне ґрунтуватися на наступних принципах: проведення кількісної і якісної оцінки загального і локального споживання природних ресурсів, виходячи з місцевих регіональних можливостей; проведення кількісної і якісної оцінки впливу різних видів діяльності суспільства на стан екологічних систем, природних комплексів і природних ресурсів; нормування рівня антропогенних дій від різних видів діяльності суспільства, у тому числі й об'єктів залізничного транспорту на природне середовище; забезпечення рівноваги в кругообігу речовин і енергії шляхом обмеження дії на природу, виходячи з її можливостей по самоочищенню і відтворенню; обмеження дії на природне середовище за допомогою різних методів і засобів очищення викидів в атмосферу, стоків у водоймища, відходів виробництва, фізичних випромінювань; створення екологічно чистих виробництв, технологій, рухомого складу, устатку-

вання і транспортних систем; використання методів екологічної профілактики функціонування галузей і об'єктів залізничного транспорту шляхом виконання природоохоронних заходів і впровадження технологічних засобів; безперервний контроль за станом навколишнього середовища; використання економічних методів в управлінні охороною навколишнього середовища і раціональним природовикористанням; невідворотність настання відповідальності за порушення правил, норм, законів з довілля охорони [4].

Залізничний транспорт за об'ємом вантажних перевезень займає перше місце серед інших видів транспорту, за об'ємом перевезень пасажирів – друге місце після автомобільного транспорту. Успішне функціонування і розвиток залізничного транспорту залежить від стану природних комплексів і наявності природних ресурсів, розвитку інфраструктури штучного середовища, соціально-економічного середовища суспільства. Стан навколишнього середовища при взаємодії з об'єктами залізничного транспорту залежить від інфраструктури по будівництву залізниць, виробництву рухомого складу, виробничого устаткування і інших пристроїв, інтенсивності використання рухомого складу і інших об'єктів на залізницях, результатів наукових досліджень і їх впровадження на підприємствах та об'єктах галузі. Кожен еле-

мент системи має прямі та зворотні зв'язки один з одним. При розвитку і функціонуванні об'єктів залізничного транспорту слід враховувати властивості природних комплексів, багатозв'язковість, стійкість, комутативність, адитивність, інваріантність, а також багатофакторну кореляцію.

Багатозв'язковість виражається в різнохарактерній дії транспорту на природу, яке може викликати в ній зміни, які складно врахувати. Адитивність – це можливість багатопараметричного складання різних джерел техногенної і антропогенної дії на природу, що може привести до непередбачуваних змін у природі. Інваріантність є властивістю екосистем зберігати стабільність у межах регламентованих техногенних і антропогенних дій. Стійкість – це здатність екосистем зберігати початкові параметри при природній, техногенній і антропогенній діях. Багатофакторна кореляція характеризує екосистеми з позицій їх зумовленості до випадкових і невідповідних подій з аналітичним зв'язком між ними [1].

Залізничний транспорт постійно впливає на природне середовище. Рівень дії може лежати в допустимих рівноважних і кризових межах [2].

За характером впливу залізничного транспорту на стан середовища проблема має два аспекти: використання транспортом природних ресурсів і транспортне забруднення середовища.

Залізничний транспорт впливає на екологію як великий споживач паливних, лісових і земельних ресурсів, мінеральних і будівельних матеріалів. Хоча в порівнянні з іншими видами транспорту (особливо автомобільним), він заподіює менше екологічного збитку.

Негативний вплив залізничного транспорту на середовище включає порушення стійкості природних ландшафтів транспортною інфраструктурою шляхом розвитку ерозій і обвалів; забруднення атмосфери відпрацьованими газами; постійне зростання рівня забруднення землі нафтою, свинцем, продуктами видування і осипання сипких вантажів (вугілля, руда, цемент). Особливо небезпечними є аварії на залізницях.

Порушення стійкості природних ресурсів можна уникнути шляхом зміцнення земляного полотна, збільшення максимального навантаження, яке здатне витримати земляне полотно, а також зниження навантаження від рухомого складу. Забруднення атмосфери можна уникнути, якщо спробувати замінити частини рухомого складу (в основному, тепловозів), що вики-

дають багато шкідливих речовин в атмосферу на такі, які унаслідок своєї експлуатації викидають менше шкідливих речовин. Часто заміна таких частин означає зниження ефективності роботи даних частин. Забруднення ґрунту і атмосфери з-за осипання або видування сипких вантажів можна уникнути, якщо спробувати підвищити герметичність вагонів і піввагонів, що знову ж таки досить дорого [3].

Щоб уникнути подальших аварій на залізницях, треба враховувати правила поїзної роботи, ступінь зношеності рухомого складу і колій, а також вчасно проводити планові і позапланові ремонти. Проте це лише наслідок проблеми, витоки якої лежать в дещо іншій площині. Річ у тім, що на сьогоднішній день в Україні залізничні колії використовуються як пасажирськими, так і вантажними рухомими складами. Величезні вантажні поїзди (50 вагонів і більше) курсують коліями набагато частіше, ніж пасажирські. Через це ті колії, по яких рухаються вантажні поїзди, швидко стають непридатними до подальшої експлуатації, на відміну від тих колій, по яких рухаються пасажирські й інші поїзди. Вирішенням проблеми може бути спорудження додаткових колій, які будуть призначатися під пасажирські та інші поїзди, і рух по яких вантажних поїздів буде дозволений тільки в самих крайніх випадках. Зрозуміло, для спорудження таких колій потрібні великі фінансові вкладення, а також виділення ділянок під будівництво, робочої сили та інструментів. В умовах дефіциту всього переліченого вище проблема зберігатиметься до тих пір, поки її не визнають однією з найбільш важливих на сьогоднішній день.

Основним джерелом забруднення атмосфери є відпрацьовані гази дизельних двигунів тепловозів. У них містяться оксид вуглецю, оксид і діоксид азоту, різні вуглеводні, сірчистий ангідрид, сажа. Зміст сірчистого ангідриду залежить від кількості сірки в дизельному паливі, а зміст інших домішок – від способу його спалювання, а також способу наддуву і навантаження двигуна. Дослідження показали, що вміст у повітряному середовищі оксиду вуглецю, оксидів азоту, сірчистого ангідриду перевищує гранично допустимі максимально разові концентрації для атмосферного повітря. Це свідчить про значне забруднення повітря залізничних станцій відпрацьованими газами тепловозів. На відстані 150 м від станції оксиди азоту виявляються в таких концентраціях, що й на станції. Такі речовини, як акролеїн і оксид вуглецю, не були

виявлені. Проблема на сьогоднішній день вирішується заміною тепловозів на електровози [5].

Щорічно з пасажирських вагонів на кожен кілометр шляху виливається до 200 м<sup>3</sup> стічних вод, що містять патогенні мікроорганізми, і викидається до 12 тонн сухого сміття. Це призводить до забруднення залізничного полотна і навколишнього природного середовища. Крім того, очищення колій від сміття пов'язане із значними матеріальними витратами. Вирішити проблему можна використовуючи в пасажирських вагонах акумулюючі ємкості для збору стоків і сміття або установлюючи в них спеціальні очисні споруди. При митті рухомого залізничного складу в ґрунт і водоймища переходять разом із стічними водами синтетичні поверхнево-активні речовини, нафтопродукти, феноли, шестивалентний хром, кислоти, луги, органічні та неорганічні зважені речовини. Вміст нафтопродуктів у стічних водах при митті локомотивів, фенолів при митті цистерн з-під нафти перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК). Багато разів перевищуються ГДК шестивалентного хрому при заміні охолоджуючої рідини дизелів тепловозів. Значно сильніше за стічні води забруднюється ґрунт на території і поблизу пунктів, де проводиться обмивання і промивка рухомого складу [6].

Шум від поїздів викликає негативні наслідки, що виражаються, перш за все, в порушенні сну, відчутті хворобливого стану, в зміні поведінки, збільшенні споживання лікарських препаратів і т. ін. Порушення сну може мати різні форми, як то: подовження періоду засипання, пробудження під час сну, погіршення якості сну (перехід від глибокого сну до більш легкого, поверхневого) і т.д. Миттєві переривання сну частішають зі збільшенням частоти і сили звуку. При рівному акустичному показнику шум від поїздів викликає втричі менше порушень сну, ніж шум від автомобілів. На сон впливає не тільки рівень шуму, але й кількість його джерел. Сприйняття шуму поїздів залежить від загального шумового фону. Так, на заводських околицях міст він сприймається менш хворобливо, ніж у житлових кварталах. Шум від вокзалів і особливо від сортувальних станцій викликає більш негативні наслідки, ніж шум від звичайного руху поїздів. Шум залізниці заглушає людський голос, він заважає при перегляді і прослуховуванні телерадіопередач. Як показали результати анкетування, шум поїздів більшою мірою перешкоджає сприйняттю

мови, ніж шум від автомобільного руху. Це пояснюється, перш за все, тривалістю шумового ефекту, що викликається рухом поїзда. Шум може стати причиною порушень центральної і вегетативної нервових систем. Основним джерелом шуму від вагонів є удари коліс на стиках і нерівностях рейок, а також тертя поверхні катання і гребеня колеса об головку рейки. Кочення коліс по зварній рейці без вибоїн і хвилеподібний знос призводять до утворення шуму в широкому спектрі частот. При цьому рівні і частотний спектр шуму залежать від стану рейкової колії та коліс, а також від коливань, що виникають у них. Істотне значення мають шуми, що викликаються роботою двигунів локомотивів. Шум, що створюється електровозом, зазвичай не перевищує рівень шуму, створюваного вагонами. Найбільш шумлячими агрегатами є вентилятори. Тепловози, двигуни яких обладнані глушниками на впускних і випускних колекторах і звукоізольованими покриттями, не створюють значних шумів. Шуми виникають також від ударів в ходових частинах, від деренчання гальмівної тяги, колодок, автозчеплення та інших частин рухомого складу [6].

Велика частина проблем, що викликаються шумом від експлуатації залізниці, вирішується використанням спеціальних глушників, що знижують рівень шумової дії, а також заміною найбільш «галасливих» частин залізниці на такі, які при експлуатації створюють менше шуму. У цього методу є декілька недоліків, як то: висока вартість запасних частин і глушників, а також низька їх ефективність.

Ще один спосіб вирішення шумових проблем, що є продовженням попереднього, полягає в глобальній модернізації не окремих частин залізничного полотна і рухомого складу, а всього комплексу в цілому шляхом впровадження нових технологій, що мають менший ступінь шумової дії. Даний метод має велику ефективність, проте і вартість такого методу підвищується непропорційно до поліпшення стану проблеми.

Спосіб віддалення основних частин залізничного комплексу, що створюють найбільше шуму, від населених пунктів і великого скупчення людей є достатньо суттєвою альтернативою способу заміни, проте він не вирішує проблеми дії шумів на людей, що знаходяться безпосередньо на станції і поблизу колій. Крім того, даний метод примушує розглядати додаткові параметри при проектуванні залізничної лінії, які ускладнюють вибір проектувальнико-

ві. Крім того, існуючі станції і шляхи переносити не можна через малу економічну вигоду даного способу [4].

Перехід залізничного транспорту з парової тяги на електричну і тепловозну, якими в даний час виконується практично вся поїзна робота, сприяв поліпшенню екологічної обстановки: виключений вплив вугільного пилу і шкідливих викидів паровозів у атмосферу. Подальша електрифікація залізниць, тобто заміна тепловозів електровозами, дозволяє виключити забруднення повітря відпрацьованими газами дизельних двигунів. Основний шлях зниження викидів токсичних речовин тепловозами полягає в зменшенні їх накопичення в циліндрах двигунів. Важливе значення мають знешкодження відпрацьованих газів і правильна експлуатація тепловозів. Принцип дії очисних пристроїв, заснований на рециркуляції газів, застосовується для зменшення концентрації оксидів азоту. Для захисту навколишнього природного середовища необхідно також боротися з іскрами, джерелами яких є газовідвідні пристрої тепловозів, а також чавунні гальмівні колодки локомотивів і вагонів. Іскри можуть бути причиною пожеж на територіях, що примикають до залізниць. Обмежити іскровиділення з газовідвідних пристроїв, що свідчить про неповне згорання палива, можна застосуванням заходів, направлених на поліпшення теплотехнічного стану тепловозів, а також установкою іскрогасників. Застосування гальмівних колодок з синтетичних і композиційних матеріалів усуває іскріння і, крім того, скорочує витрату чавуну. Розроблена нова конструкція тепловоза, в якому як паливо використовується газ. Експериментальний зразок газового локомотива створений на основі маневрового тепловоза. Перехід на стиснений газ дозволить економити дефіцитне дизельне паливо. Ще одна перевага газового тепловоза – його екологічна чистота. Тому на газ, перш за все, доцільно переводити маневрові тепловози на станціях, розташованих у межах міст [7].

До основних заходів щодо охорони водоймищ від забруднення відносяться будівництво і реконструкція очисних споруд у вузлах, впровадження оборотного водопостачання, нормування витрати води і зменшення скидання неочищених стоків, створення досконаліших і економічніших засобів і методів очищення виробничих і побутових стічних вод, скорочення втрат води, вдосконалення лабораторного контролю. Нескладні флотаційні установки успіш-

но експлуатуються на переважній більшості залізничних підприємств. Вони добре зарекомендували себе при очищенні стічних вод від найбільш поширеного виду забруднень – нафтопродуктів. Ці установки забезпечують у 5...10 разів кращий ефект очищення, ніж нафтові пастки, і дозволяють видаляти із стоків до 95% забруднень. Впровадження флотаторів дозволило значно скоротити забруднення водоймищ нафтопродуктами, поліпшити систему оборотного водокористування. На оборотне водокористування переводяться всі основні технологічні процеси з великим водоспоживанням, а також процеси, що викликають сильне забруднення водоймищ на промивально-пропарювальних станціях, ремонтних заводах і в депо. Крім того, по замкнутому циклу використовуються миючі розчини і промивальні води для обробки рухомого складу, його вузлів і деталей. Для очищення виробничих і побутових стічних вод споруджують також біологічні ставки. Влаштування та експлуатація таких ставків не вимагає великих витрат, в той же час їх застосування можливе в різноманітних кліматичних умовах [4].

Інтегральним критерієм екологічної ефективності виробничої діяльності об'єктів залізничного транспорту є ступінь порушення природного балансу в регіоні. Небезпека порушення природного балансу кількісно пов'язана з антропогенними чинниками виробничої і господарської діяльності людей у регіоні. У випадку, якщо природне середовище не здатне справитися з дією залізничного транспорту, необхідно передбачати очисні споруди або проводити відновлювальні роботи. Рівновага в природному середовищі забезпечується підтримкою енергетичного, водного, біологічного, біогеохімічного балансів і їх зміною в певний проміжок часу. Кількісні характеристики перерахованих балансів залежать від географічного положення регіонів, кліматичних умов, величини використання ресурсів, природних явищ і ступеня забруднення навколишнього середовища [8].

Забезпечити рівновагу в природі можна за допомогою правових, соціально-економічних, організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і біологічних методів. Правові методи регламентують норми і порядок природовикористання, виходячи з умови збереження відносної рівноваги в навколишньому середовищі. Соціальні методи засновані на відповідальності всіх шарів суспільства за стан охорони навколишнього середовища. Економічні мето-

ди передбачають певні види витрат на збереження рівноваги навколишнього середовища, раціональну плату за ресурси, відшкодування збитків. Організаційні методи засновані на науковій організації природокористування і виконанні адміністративних і правоохоронних заходів по запобіганню шкідливій дії на навколишнє середовище. Технічні методи засновані на створенні нових технологій і виробничого устаткування, що зменшують шкідливу дію на природне середовище, впровадження ефективних засобів очищення викидів в атмосферу й у водоймища. Санітарно-гігієнічні методи передбачають обов'язковий контроль за станом навколишнього середовища з метою своєчасного вживання заходів із запобігання шкідливому впливу забруднень на людей і природу [9].

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://Ecologylife.ru>.
2. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://is.webplan.ru/cgi-bin/mm/mmat.cgi?num=1784&&us=0>.
3. Интервью с Министром транспорта Украины Г. М. Кирпой [Текст].
4. Гухман, Г. Воздействие транспортного комплекса на окружающую среду [Текст] / Г. Гухман // Энергия: экономика, техника, экология. – 11'99. – М.: Наука, 1999. – С. 42-45.
5. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [http:// city-ref.ru](http://city-ref.ru).
6. Железные дороги: Общий курс [Текст] / под ред. М. М. Уздина. – М.: Транспорт, 1991.
7. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.5ballov.ru>.
8. Стадницкий, Г. В. Экология [Текст] : учебник для вузов / Г. В. Стадницкий. – СПб.: Химиздат, 1999. – С. 280.
9. Нормативно-правовые основы обеспечения экологической безопасности на железнодорожном транспорте [Текст] / В. К. Васин и др. – М.: Желдориздат, 2002.

Надійшла до редколегії 23.11.2008.

## ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ МОСТОВОГО КРАНА С ВАКУУМ-ПРИСОСНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Виконано аналіз реальної механічної системи мостового крана з вакуум-присосним обладнанням і запропоновано розрахункову схему для створеної на базі аналізу математичної моделі динамічних процесів.

Проведен анализ реальной механической системы мостового крана с вакуум-присосным оборудованием и предложена расчётная схема для созданной на основе анализа математической модели динамических процессов.

The analysis of real mechanical system of the bridge crane with vacuum-sucker equipment is made and the design scheme for the mathematical model of dynamic processes created on the basis of the analysis is offered.

### Постановка проблеми

Вакуум-присосное оборудование – наиболее эффективное средство для транспортировки листов из немагнитных материалов. Однако при применении такого оборудования возникает ряд трудностей, связанных со значительной удельной нагрузкой на единицу площади присоски, образованием шара окалина, запыленностью листов с неровностями их плоскостности. В литературе отсутствуют данные по общей методике расчёта вакуумных устройств в условиях динамического нагружения.

### Постановка задачи

Целью данной статьи является анализ динамики мостового крана с вакуум-присосным оборудованием в целом, выбор и обоснование расчётной схемы.

С позиций динамического расчёта грузоподъёмный кран является единой динамической системой, состоящей из механизмов, несущей металлоконструкции, приводов и строительной части сооружения, в котором работает кран. Учесть всё многообразие взаимодействующих элементов крана в динамическом расчёте достаточно сложно, в большинстве случаев в этом нет необходимости. При переходе от реальной машины к её расчётной схеме следует пренебречь теми физическими факторами, которые для данного расчёта имеют несущественное значение.

### Предложение варианта расчётной схемы

В общем случае при составлении расчётных динамических схем грузоподъёмных кранов учитывается количество дискретных масс, распределение масс по длине силового элемента, податливость силовых элементов и возможность её изменения в конкретной ситуации, за-

висимость движущих и тормозящих усилий приводных двигателей от частоты вращения ротора, переходные электромагнитные процессы в приводных электродвигателях, изменение тормозящих усилий механических тормозов во времени, изменение приведенных масс механизмов и проч. В каждом отдельном случае расчёта некоторые физические факторы суть главные, определяющие, другие же – второстепенные.

На рис. 1 представлен предлагаемый вариант расчётной схемы.

Приняты следующие обозначения:

$m_1$  – масса моста;

$m_5$  – масса вакуумной траверсы;

$m_6$  – масса поднимаемого груза;

$I_2$  – приведенный к барабану момент инерции электродвигателя;

$I_3$  – приведенный к барабану момент инерции вращающихся частей редуктора;

$I_4$  – момент инерции приводного барабана;

$c_1$  – коэффициент жёсткости металлических конструкций моста;

$c_2$  – коэффициент жёсткости муфты, соединяющей двигатель с редуктором;

$c_3$  – коэффициент жёсткости муфты, соединяющей редуктор с приводным барабаном;

$c_4$  – коэффициент жёсткости подъёмных канатов;

$c_5$  – коэффициент жёсткости вакуумных присосок;

$\nu_1$  – коэффициент демпфирования муфты, соединяющей двигатель с редуктором;

$\nu_2$  – коэффициент демпфирования муфты, соединяющей редуктор с приводным барабаном;

$M_E$  – вращающий момент электродвигателя.

Таким образом, предлагается шестимассовая расчётная схема. Анализируя схему, находим, что несущая металлоконструкция мостового крана представлена дискретной массой  $m_1$ , упругие характеристики которой отражены коэффициентом жёсткости  $c_1$ . Представляет интерес вопрос определения и оценки усилий, действующих непосредственно на металлоконструкцию моста, как единого целого. Именно с этой целью в расчётную схему введена масса  $m_1$ . Механизм подъёма груза представлен совокупностью элементов, как видно из схемы. Предлагается рассматривать не просто «части механизма подъёма груза, которые вращаются», а отдельно электродвигатель ( $I_2$ ), редуктор ( $I_3$ ), приводной барабан ( $I_4$ ) и соединительные муфты, обладающие характеристиками – коэффициентами жёсткости и демпфирования ( $c_1$  и  $v_1, c_2$  и  $v_2$ ).

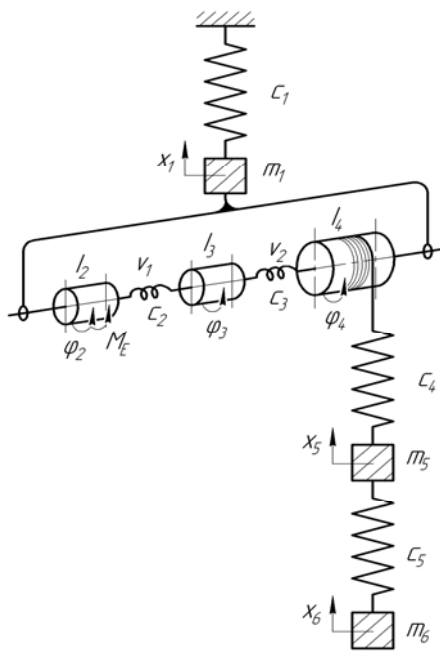


Рис. 1. Шестимассовая расчётная схема мостового крана с вакуум-присосным оборудованием

Данный подход позволяет рассмотреть механизм подъёма груза как крутильную колебательную механическую систему, которая является подсистемой системы более высокого порядка – системы мостового крана с вакуум-присосным оборудованием и грузом, который поднимается. Моменты инерции каждой из составляющих этой крутильной системы сведены к приводному барабану. Поскольку механизм подъёма груза жёстко закреплён на несущей металлоконструкции мостового крана, то и в

расчётной схеме это отражено соответствующей жёсткой связью между массой  $m_1$  и крутильной подсистемой – «механизм подъёма груза».

### Анализ расчётных схем

Установлено [2], что наиболее точно отражающей физической процесс работы мостового крана в реальных условиях моделью является трёхмассовая механическая система, в которой учитываются как масса поднимаемого груза и механизма подъёма, так и масса главных балок моста. Таким образом, наиболее точно отражающей динамику подъёма груза мостовым краном моделью является совокупность дискретной (а не континуальной модели) модели моста и двухмассовой модели механизма подъёма. Такого рода расчётная схема изображена на рис. 2. Приведенная выше модель наиболее полно описывает динамический процесс, происходящий в реальных условиях. Такого рода утверждение основано на опытных данных, полученных отечественными учёными при проведении экспериментальных исследований, которые показали, что расхождение между результатами математического моделирования и опытными данными составляет не более 5...7 %, что, безусловно, является вполне удовлетворяющим требованиям к точности инженерных расчётов. Работа мостового крана с таким специфическим оборудованием, как вакуум-присосная траверса, безусловно, порождает изменения в динамическом процессе подъёма груза. Степень подобного влияния будет оценена в данной статье. Вакуумную траверсу представим дискретной массой. Таким образом, трёхмассовая механическая система посредством введения дополнительной массы  $m_n$  преобразуется в четырёхмассовую.

На рис. 2 изображена четырёхмассовая механическая система мостового крана, где  $c_0$  – коэффициент жёсткости металлических конструкций моста;

$c(l)$  – коэффициент жёсткости подъёмных канатов;

$c_1$  – коэффициент жёсткости вакуумных присосок;

$\beta_0$  – коэффициент демпфирования металлических конструкций моста;

$\beta$  – коэффициент демпфирования подъёмных канатов;

$\beta_1$  – коэффициент демпфирования вакуумных присосок;

$m_0$  – масса грузовой тележки и двух балок моста;

$m_1$  – масса вращающихся частей привода механизма подъёма груза;  
 $m_n$  – масса вакуумной траверсы;  
 $m_2$  – масса поднимаемого груза;  
 $F(x'_1)$  – приведенная движущая (тормоз-

ная) сила привода механизма подъёма груза;  
 $x, x_1, x_2, x_3$  – координаты перемещений соответственно моста с грузовой тележкой, вращающихся частей привода, поднимаемого груза и вакуумной траверсы.

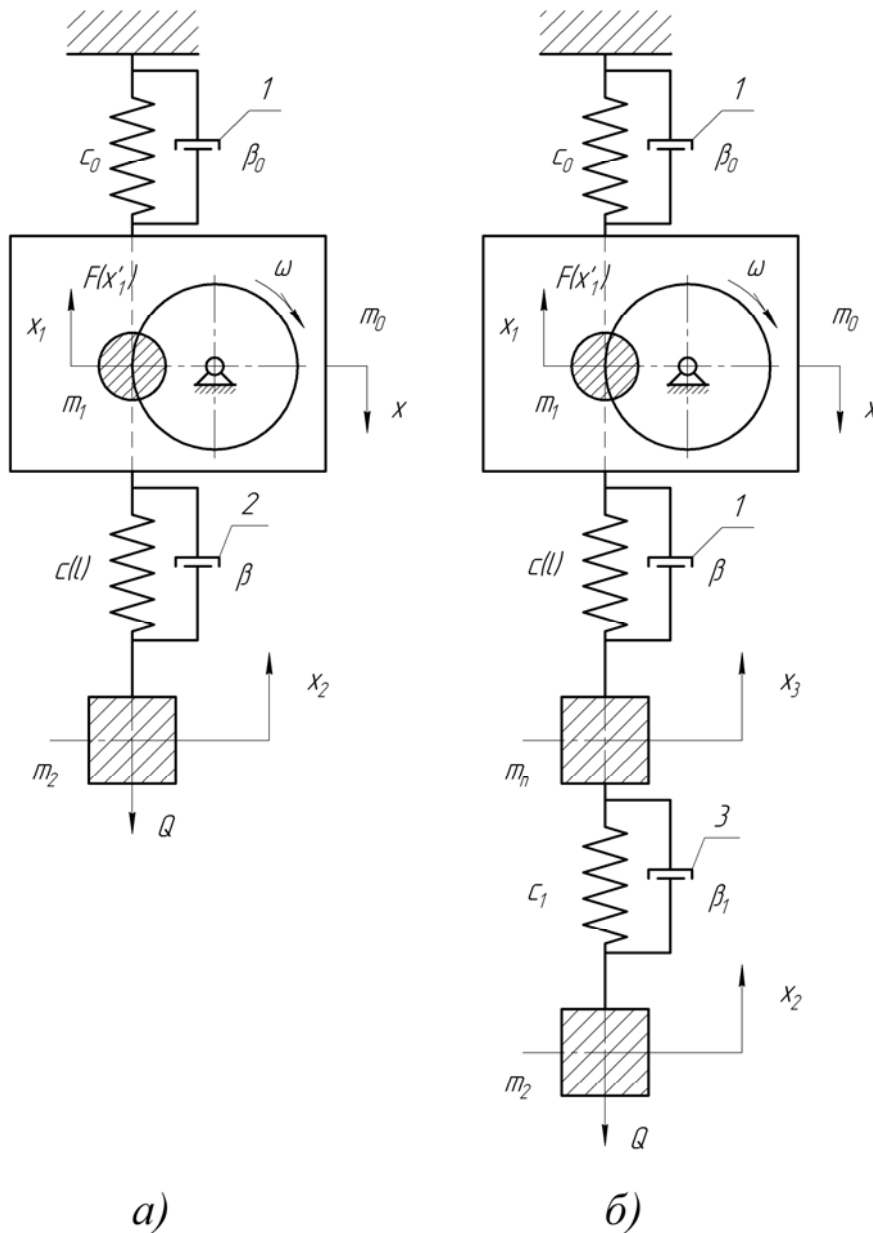


Рис. 2. Расчётные схемы мостового крана

### Математическая модель процесса подъёма груза

Будем рассматривать три фазы процесса подъёма груза:

- 1) фаза выборки зазоров в системе;
- 2) доотрывная фаза;
- 3) послеотрывная фаза.

Известно, что во время первой фазы происходит пуск привода механизма подъёма и соответственно выбираются все зазоры в узлах крана. Вторая фаза характеризуется уже движени-

ем всех масс, входящих в систему, кроме самого груза. И с отрывом груза от основания начинается третья, последняя фаза, непосредственно подъём груза. Отметим, что производится подъём монолитного груза с абсолютно жёсткого основания. Рассматриваем подъём груза с основания «с подхватом».

Запишем систему дифференциальных уравнений движения для первой, трёхмассовой, схемы (начнём сразу со второй фазы, поскольку во время первой фазы в движении находится

только электродвигатель привода механизма подъёма; скорость, набранная электродвигателем к началу второго этапа, будет в дальнейшем учтена в начальных условиях):

$$\begin{cases} m_0\ddot{x} = S - F; \\ m_1\ddot{x}_1 = P - S, \end{cases} \quad (1)$$

где  $S$  – усилие в подъёмных канатах;

$F$  – усилие в металлоконструкции крана;

$P$  – движущее усилие привода механизма подъёма груза.

Усилие, возникающее в металлоконструкции крана, запишется следующим аналитическим выражением:

$$F = c_0x + \beta_0\dot{x}. \quad (2)$$

Усилие в подъёмных канатах имеет следующий вид:

$$S = c(l) \cdot (x_1 - x) + \beta \cdot (\dot{x}_1 - \dot{x}). \quad (3)$$

Т.к. жёсткость подъёмных канатов переменна (изменяется с изменением длины), то выражение  $c(l)$  запишется следующим образом [2]:

$$\begin{cases} m_0\ddot{x} + c_0x + \beta_0\dot{x} + c_n(x - x_1) + \beta(\dot{x} - \dot{x}_1) = 0; \\ m_1\ddot{x}_1 + c_n(x_1 - x) + \beta(\dot{x}_1 - \dot{x}) + \frac{a_2\dot{x}_1 - a_1}{a_3 + \alpha(-a_4\dot{x}_1 + \dot{x}_1^2)} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Система дифференциальных уравнений движения в третьей фазе имеет вид [2, с. 18]:

$$\begin{cases} m_0\ddot{x} = S - F; \\ m_1\ddot{x}_1 = P - S; \\ m_2\ddot{x}_2 = S - Q, \end{cases} \quad (7)$$

Перейдём к составлению математической модели мостового крана с вакуум-присосным оборудованием, т.е. четырёхмассовой механической системы. Зерно изменения динамики мостового крана с вакуумной траверсой будет лежать в наличии ещё одной дискретно представленной массы – массы вакуумной траверсы. В четырёхмассовой системе помимо движущей силы привода механизма подъёма груза, таких внутренних усилий, как натяжение подъёмных канатов и сила, действующая на метал-

$$S = \frac{c_n a_0 (x_1 - x) + \beta(\dot{x}_1 - \dot{x})}{1 - bc_n(x_1 - x)/S_n}, \quad (4)$$

где  $a_0$  и  $b$  – постоянные коэффициенты.

Движущее усилие электродвигателя при любом роторном сопротивлении согласно уравнению Клосса запишется в таком виде [2]:

$$P = \frac{a_1 - a_2\dot{x}_1}{a_3 + \alpha(-a_4\dot{x}_1 + \dot{x}_1^2)}, \quad (5)$$

где  $a_1 = 2P_k s_k \dot{x}_c^2$ ,  $a_2 = \frac{a_1}{\dot{x}_c}$ ,  $a_3 = s_k^2 \dot{x}_c^2 + \dot{x}_c^2$ ,

$a_4 = 2\dot{x}_c$  ( $P_k$  и  $s_k$  – критические значения движущего усилия и скольжения;  $\dot{x}_c$  – синхронная скорость подъёма груза).

Коэффициент жёсткости подъёмных канатов будем аппроксимировать ступенчато (начальная и конечная величина натяжения канатов). Принимаем, что электродвигатель работает на линейной ветви механической характеристики (производится подъём номинального груза), поэтому  $\alpha = 0$ . Таким образом, учитывая все вышеприведенные выкладки, система дифференциальных уравнений движения во второй фазе запишется следующим образом [2]:

где  $Q$  – вес поднимаемого груза. Также отметим, что коэффициент жёсткости на этой стадии принимаем постоянным. Развёрнутая система дифференциальных уравнений запишется следующим образом:

$$\begin{cases} m_0\ddot{x} + c_0x + \beta_0\dot{x} + c_n(x_2 - x_1 + x) + \beta(\dot{x}_2 - \dot{x}_1 + \dot{x}) = 0; \\ m_1\ddot{x}_1 + c_n(x_1 - x - x_2) + \beta(\dot{x}_1 - \dot{x} - \dot{x}_2) + \frac{a_2\dot{x}_1 - a_1}{a_3 + \alpha(-a_4\dot{x}_1 + \dot{x}_1^2)} = 0; \\ m_2\ddot{x}_2 + Q + c_n(x_2 - x_1 + x) + \beta(\dot{x}_2 - \dot{x}_1 + \dot{x}) = 0. \end{cases} \quad (8)$$

локонструкцию моста, возникнет усилие в вакуумных присосках оборудования (сила, действующая на вакуумную траверсу в целом). Обозначим усилие, возникающее в вакуумных присосках,  $R$ .

Во время доотрывной фазы система дифференциальных уравнений запишется так:

$$\begin{cases} m_0\ddot{x} = S - F; \\ m_1\ddot{x}_1 = P - S; \\ m_{п}\ddot{x}_3 = S - R, \end{cases} \quad (9)$$

где  $R$  – сила веса вакуумной траверсы (заметим, что это для доотрывной фазы процесса подъёма груза, т.е. груз находится во время этой фазы ещё на основании). На данном этапе:

$$R = c_1(x_3 - x_2) + \beta_1(\dot{x}_3 - \dot{x}_2). \quad (10)$$

$$\begin{cases} m_0\ddot{x} + c_0x + \beta_0\dot{x} + c_n(x_3 - x_1 + x) + \beta(\dot{x}_3 - \dot{x}_1 + \dot{x}) = 0; \\ m_1\ddot{x}_1 + c_n(x_1 - x - x_3) + \beta(\dot{x}_1 - \dot{x} - \dot{x}_3) + \frac{a_2\dot{x}_1 - a_1}{a_3 + \alpha(-a_4\dot{x}_1 + \dot{x}_1^2)} = 0; \\ m_n\ddot{x}_3 + c_1x_3 + \beta_1\dot{x}_3 + c_n(x_3 - x_1 + x) + \beta(\dot{x}_3 - \dot{x}_1 + \dot{x}) = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Фазой, которую назовём предотрывной, т.е. фазой, во время которой не только поднимаемый груз находится на основании, но и вакуумное оборудование неподвижно, пренебрегаем.

Перейдём к рассмотрению последней фазы – послеотрывной. Эта фаза – период непосредственно подъёма груза. В это время в мостовом кране, как механической системе в движении, находятся все дискретные массы, представленные в нашей четырёхмассовой модели. Следовательно, получаем систему из четырёх дифференциальных уравнений, которая запишется так, как показано ниже:

$$\begin{cases} m_0\ddot{x} = S - F; \\ m_1\ddot{x}_1 = P - S; \\ m_n\ddot{x}_3 = S - R; \\ m_2\ddot{x}_2 = R - Q, \end{cases} \quad (12)$$

где  $R$  – усилие, возникающее в вакуумных присосках при подъёме груза. В этой фазе аналитическое выражение для  $R$  запишется следующим образом:

$$R = c_1(x_3 - x_2) + \beta_1(\dot{x}_3 - \dot{x}_2). \quad (13)$$

В развёрнутом виде система будет иметь вид:

$$\begin{cases} m_0\ddot{x} + c_0x + \beta_0\dot{x} + c_n(x_2 + x_3 - x_1 + x) + \beta(\dot{x}_2 + \dot{x}_3 - \dot{x}_1 + \dot{x}) = 0; \\ m_1\ddot{x}_1 + c_n(x_1 - x - x_2 - x_3) + \beta(\dot{x}_1 - \dot{x} - \dot{x}_2 - \dot{x}_3) + \frac{a_2\dot{x}_1 - a_1}{a_3 + \alpha(-a_4\dot{x}_1 + \dot{x}_1^2)} = 0; \\ m_n\ddot{x}_3 + c_1(x_2 - x_1 - x_3 + x) + \beta_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1 - \dot{x}_3 + \dot{x}) + c_n(x_2 + x_3 - x_1 + x) + \beta(\dot{x}_2 + \dot{x}_3 - \dot{x}_1 + \dot{x}) = 0; \\ m_2\ddot{x}_2 + Q + c_1(x_1 + x_3 - x_2 - x) + \beta_1(\dot{x}_1 + \dot{x}_3 - \dot{x}_2 - \dot{x}) = 0. \end{cases} \quad (14)$$

### Выводы

Предложенный в статье вариант расчётной схемы позволит в дальнейшем детально изучить динамические воздействия на составляющие механической системы. Определение сил, действующих на металлоконструкцию моста, позволит оптимизировать их поперечные сечения и конструкцию. Знание величин сил, действующих на груз, позволит оценить возможные риски при подъёмно-транспортных работах. Характер воздействия силовых факторов на подъёмную траверсу позволит рационально её сконструировать. Все эти вопросы являются предметом дальнейших исследований этого оборудования.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Роспасиенко, В. И. Вакуум-присосные устройства для транспортирования листового металла [Текст] / В. И. Роспасиенко, И. Г. Роспасиенко // Подъёмно-транспортная техника. – 2003. – № 3. – С.128-138.
2. Лобов, Н. А. Динамика грузоподъёмных кранов [Текст] / Н. А. Лобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
3. Пановко, Я. Г. Основы прикладной теории упругих колебаний [Текст] / Я. Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1967. – 316 с.
4. Тимошенко, С. П. Колебания в инженерном деле [Текст] / С. П. Тимошенко, Д. Х. Янг, У. Уивер. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.

Поступила в редколлегию 28.11.2008.

## ВПЛИВ СУПЕРПЛАСТИФІКАТОРА С-3 НА ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕТОННОЇ СУМІШІ І БЕТОНУ

На прикладі дрібнозернистого бетону з добавкою суперпластифікатора С-3 і складових його фракцій різної молекулярної маси вивчено вплив молекулярної маси і дозування добавок на рухливість бетонної суміші і твердіння бетону.

На примере мелкозернистого бетона с добавкой суперпластификатора С-3 и составляющих его фракций разного молекулярного веса изучено влияние молекулярного веса и дозировки добавок на подвижность бетонной смеси и твердения бетона.

On the example of fine-grained concrete with addition of superplasticizer С-3 and constituents of its factions of different molecular weight the influence of molecular weight and dosage of additions on the mobility of concrete mixture and the hardening of concrete is studied.

### Вступ

Сучасні технології приготування бетону із заданими властивостями неможливі без використання добавок регулюючих реологічні властивості, термін с, міцнісні та інші показники бетонної суміші і бетону.

Одним з перспективних напрямків у області вдосконалення технології монолітних бетонних робіт є застосування високорухливих і литих бетонних сумішей при ефективному застосуванні спеціальних добавок – суперпластифікаторів. Добре відомим суперпластифікатором є С-3, на сьогоднішній день компанія «Поліпласт» виробляє суперпластифікатор С-3 за назвою «Поліпласт СП-1» [5].

За хімічним складом це спеціально синтезований полімер – суміш натрієвих солей поліметиленафталінсульфатокислот різної молекулярної маси.

Аналіз вітчизняних і зарубіжних досліджень [1] властивостей бетонів суперпластифікаторами показав здатність деяких суперпластифікаторів викликати збільшення деформацій усадки і повзучості матеріалів, отриманих литих сумішей.

Для вивчення впливу суперпластифікатора С-3 на деформативні властивості бетону та їх коригування були виконані дослідження.

Виділені з продуктів поліконденсації нафталінсульфокислоти і формальдегіду складові різних ступенів поліконденсації ( $n$ ), умовно названі легкою (ЛФ,  $n = 2...4$ ), середньою (СФ,  $n = 5...9$ ) і важкою (ВФ,  $n \geq 10$ ) фракціями, кожна з яких має певний інтервал молекулярного розподілу [2].

### Експериментальні випробування

Вплив окремих фракцій суперпластифікатора на параметри бетонної суміші та властивості бетону досліджувалися на дрібнозернистому бетоні природного твердіння. Склад бетону: цемент криворізький марки М500 –  $500 \text{ кг/м}^3$ ; пісок кварцовий дніпровський  $M_k = 2,1 - 1500 \text{ кг/м}^3$ ; вода – 250 л.

Досліджувалися склади:

- 1 – еталонний без суперпластифікатора;
- 2 – суперпластифікатор С-3 – 0,6 % від маси цементу;
- 3 – легка фракція (ЛФ) – 0,048 % (8 % від маси суперпластифікатора);
- 4 – середня фракція (СФ) – 0,066 % (11 % від маси суперпластифікатора);
- 5 – важка фракція (ВФ) – 0,486 % (81 % від маси суперпластифікатора);
- 6 – легка фракція (ЛФ) – 0,6 % (100 % від маси суперпластифікатора);
- 7 – середня фракція (СФ) – 0,6 % (100 % від маси суперпластифікатора);
- 8 – важка фракція (ВФ) – 0,6 % (100 % від маси суперпластифікатора).

Для випробувань виготовлялися куби розміром  $10 \times 10 \times 10$  см і призми розміром  $4 \times 4 \times 16$  та  $10 \times 10 \times 40$  см, після виготовлення зразки тверднули в камері нормального тверднення.

Рухливість бетонної суміші оцінювалася за розпливом конусу без струшування і при струшуванні. При приготуванні бетонної суміші і формуванні зразків спостерігали, що найбільший ступінь пластифікації досягався за рахунок важкої фракції суперпластифікатора. При введенні важкої фракції 0,6 % від маси цементу бетонна суміш сильно розріджувалася, і роз-

плив конусу визначити було неможливо. Легка фракція суперпластифікатора майже не впливає на рухливість бетонної суміші, се-

редня фракція слабо збільшує рухливість, яка знаходиться в прямій залежності від дозування фракції (табл. 1).

Таблиця 1

**Властивості бетонних сумішей і бетонів суперпластифікатором**

| № скла-ду | Добавка С-3 або її фракції |                         |                    |                          | Розплив конусу при струшуванні | Призмена міцність 28 діб, МПа | Середня густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Втрата маси на повітрі за 150 діб, % | Водопоглинання за масою, % |
|-----------|----------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|--------------------------------------|----------------------------|
|           | Ви-гляд                    | Молекулярна маса, $M_k$ | Кількість          |                          |                                |                               |  |                                      |                            |
|           |                            |                         | % від маси цементу | Доли до кількості С-3, % |                                |                               |  |                                      |                            |
| 1         | -                          | -                       | -                  | -                        | 185                            | 26,5                          | 2078                                       | 2,7                                  | 7,38                       |
| 2         | С-3                        | 1280                    | 0,6                | 100                      | 254                            | 28,8                          | 1936                                       | 3,5                                  | 7,14                       |
| 3         | ЛФ                         | 480                     | 0,048              | 8                        | 171                            | 23,2                          | 2009                                       | -                                    | 7,43                       |
| 4         | СФ                         | 1580                    | 0,066              | 11                       | 200                            | 23,4                          | 2004                                       | -                                    | 7,19                       |
| 5         | ТФ                         | 3310                    | 0,486              | 81                       | 290                            | 30,6                          | 2109                                       | -                                    | 6,88                       |
| 6         | ЛФ                         | 480                     | 0,6                | 100                      | 208                            | 22,3                          | 1954                                       | 3,3                                  | 7,46                       |
| 7         | СФ                         | 1580                    | 0,6                | 100                      | 252                            | 21,8                          | 1962                                       | 2,2                                  | 6,16                       |
| 8         | ТФ                         | 3310                    | 0,6                | 100                      | 300                            | 32,4                          | 2115                                       | 2,1                                  | 4,37                       |

Складові суперпластифікатора залежно від їх молекулярної маси по різному впливають на міцність бетону і його структуру.

Бетон при малому дозуванні легкої фракції у віці трьох діб має більшу міцність, в порівнянні з еталонний складом і складом суперпластифікатором. У більш пізні терміни при малому вмісті легкої фракції спостерігалось невелике зниження міцності, а при більшому дозуванні – зниження міцності до 12 %.

З менш вираженим ефектом змінюється наростання міцності і її значення для складів бетону середньою фракцією суперпластифікатора.

Введення 0,6 % важкої фракції в бетонну суміш приводить до сильного її розрідження і до істотного уповільнення термінів (на третю добу бетон майже не затвердів). Надалі почався процес швидкого набору міцності.

Середню густина зразків контролювали у віці бетону 3, 7, 28 діб і в інтервалі від 80 до 130 діб. При зіставленні середньої густини контрольного складу у віці 28 діб, складів суперпластифікатором С-3 і з окремими його фракціями в рівних суперпластифікатору концентраціях показали: С-3, легка і середня фракції знижують (5...6 %), а важка збільшує (до 2 %) середню густина бетону. Це означає, що бетони С-3, легкою і середньою фракціями характеризуються більш пористою структурою.

При введенні в бетон окремих фракцій в кількостях, що перевищують їх вміст у складі

використовуваних концентрацій суперпластифікатора, водопоглинання бетону незначно відрізняється від аналогічного показника еталонного складу.

Наочною є картина для бетонів, в яких легка, середня і важка фракції вводилися в кількостях, відповідних дозуванням суперпластифікатора. Більшу кількість води поглинає бетон добавкою легкої фракції (7,45 %), меншу – з добавкою важкої фракції (4,36 %).

За результатами втрати маси бетону (при вологості середовища 50 % і температурі 23 °С) можна відзначити, що наявність в бетоні середньої фракції при зменшенні середньої густини бетону істотно знижує ступінь видалення води з пор бетону на повітрі і величину водопоглинання при зануренні його у воду.

Мала втрата маси на повітрі і найменше водопоглинання бетону з важкою фракцією при збільшенні середньої густини підтверджує високу щільність бетону з добавкою цієї фракції.

**Висновки**

Вплив С-3 на міцнісні характеристики тісно пов'язаний зі складом суперпластифікатор.

Легка фракція суперпластифікатора практично не впливає на рухливість бетонної суміші, але дещо прискорює процес твердіння бетону в ранні терміни.

Середня фракція збільшує рухливість бетонної суміші, при підвищених концентраціях (0,6 % від маси цементу) знижує середню густина і міцність бетону.

Важка фракція суперпластифікатора здійснює сильно виражену розріджуючу дію на бетонну суміш, уповільнює процеси структуроутворення і твердіння бетону на ранніх стадіях, формує щільну структуру бетону з підвищеною середньою густиною, збільшує міцність до 22 %, знижує водопоглинання за масою.

Варіюючи кількість різних фракцій, можна бетонні суміші і бетони із заданими властивостями за рухливістю, міцністю та іншими властивостями в широких межах.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Булгакова, М. Г. Влияние суперпластификаторов на основные свойства бетонов в конструкциях [Текст] / М. Г. Булгакова // Химические добавки для бетонов. – М.: НИИЖБ, 1987.
2. Рекомендации по физико-химическому контролю состава и качества суперпластификатора С-3 [Текст]. – М.: НИИЖБ, 1984.
3. Исследование и применение химических добавок в бетонах [Текст] : сб. науч. тр. / под. ред. В. Г. Батракова, В. Р. Фаликмана. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1989. – 139 с.
4. Комплексные пластифицирующие-ускоряющие добавки на основе суперпластификатора С-3 и промышленных смесей тиосульфата и роданата натрия [Текст] / Н. Ф. Башлыков и др. // Бетон и железобетон. – 2004. – № 6. – С. 13-16.
5. Сергиенко, А. П. Применение суперпластификатора «Полипласт-1» в летнее время [Текст] / А. П. Сергиенко // Бетон и железобетон в Украине. – 2006. – № 2. – С. 24-26.

Надійшла до редколегії 18.11.2008.

А. С. РАСПОПОВ (ДИИТ)

## РАСЧЕТ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ДЕКОМПОЗИЦИИ

Для декомпозиції дво- та тримірних стержневих систем розроблено ефективний алгоритм розділення системи на блоки та відповідна методика кодування станів кожної з підсистем. Показано, що структурний склад багатомірних моделей можна задавати за допомогою просторових матриць на основі дослідження топологічних властивостей графа системи.

Для декомпозиции двух- и трехмерных стержневых систем разработан эффективный алгоритм разделения системы на блоки и соответствующая методика кодирования состояний каждой из подсистем. Показано, что структурный состав многомерных моделей можно задавать с помощью пространственных матриц на основе исследования топологических свойств графа системы.

For decomposition of two- and three-dimensional rod systems the effective algorithm of dividing a system into blocks and the appropriate technique of coding for states of each from subsystems are developed. It is shown that the structure of multi-dimensional models can be set by means of space matrices based on the research of topological properties of the system graph.

Для решения задачи кодирования сложной стержневой системы необходимо выполнить ее декомпозицию на более простые конструктивные части. Каждая конструктивная часть может быть разделена на еще более мелкие подсистемы, размеры которых определяются возможностями кодирования или наличием уже готовых для них решений. В результате получаем несколько уровней  $q$ -мерных подсистем, образующих  $q$ -мерные цепи [1], для декомпозиции и кодирования состояний которых удобно использовать каскадные алгоритмы [2].

Как правило, каркас сложной системы формируется из набора одно-, двух- и трехмерных элементов. Конструктивные особенности самой системы также могут определять размеры составляющих ее подсистем и структуру их расположения внутри большой системы. В любом случае для уменьшения работы, затрачиваемой на кодирование, число подсистем выбирается минимальным. Если для выделенных подсистем уже определены их характеристики, то каждую из них можно представить в виде «черного ящика» с известными кодами внешних входов и произвольной внутренней структурой.

Например, разделяя трехмерную стержневую систему [5] плоскими сечениями, параллельными плоскости  $xu$ , получим  $p$  подсистем. Совокупность сечений вдоль плоскости  $xz$  выделяет еще  $mp$  подсистем. Последующие плоские сечения, ортогональные двум первым, приводят к  $mtp$  более мелким подсистемам. Таким образом приходим к разделению задачи

кодирования заданной системы на несколько задач кодирования составляющих ее подсистем, с помощью которых реализуется система в целом. Следуя каскадному алгоритму, процедуры кодирования  $k$ -й подсистемы строятся по принципу поэтапного использования входных последовательностей, передаваемых от сопрягаемых подсистем, принадлежащих различным уровням. При этом символами кода последующего уровня (ступени) являются символы кода предыдущей ступени. Очевидно, для подсистем одного уровня возможно использование параллельных процедур кодирования. В результате, переходя от совокупности подсистем первого каскада к последнему, получим набор последовательных кодов, характеризующих состояния всей системы. Применение такого алгоритма позволяет также использовать для трехмерного моделирования существующие двух- и одномерные модели. Соединение кодированных подсистем и получение топологического уравнения системы производим в обратном порядке на основе принципа ортогональности.

Предположим, что имеется  $p-1$  система пересекающихся ортогональных балок, соединенных между собой через узловые сечения  $(n-1)(m-1)$  упругими стержнями (стойками), параллельными между собой и оси  $z$ . В результате декомпозиции такой метасистемы [1] взаимно ортогональными плоскими сечениями, проходящими через центры внутренних пролетов балок каждого из направлений, получим в самом простом случае подсистему из шести стержней [4].

Рассмотрим возможные состояния типовой  $k$ -й ( $k=1, 2, \dots, p-1$ ) подсистемы (рис. 1) при последовательном изменении кодов НП, КП стержней 31, 32.

В отличие от плоского случая, изгибные колебания продольных и поперечных балок будут связаны с крутильными или продольными колебаниями ортогональных для них балок.

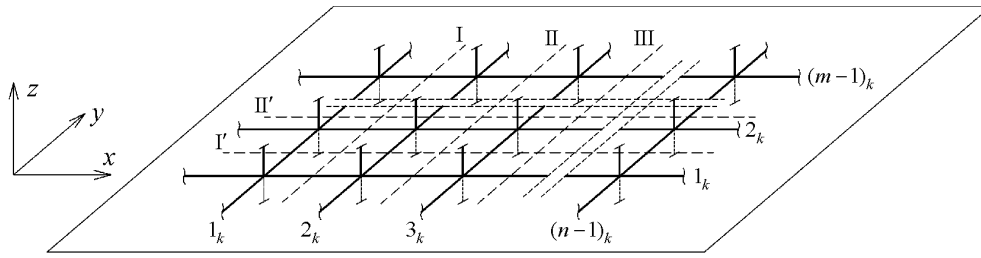


Рис. 1.  $k$ -я подсистема трехмерной стержневой конструкции

Как обычно, выделим из  $k$ -й системы (рис. 1)  $j_k$ -ю подсистему, аналогичную [5], и представим ее графом  $GR_{yj}$ , цепочки связанных подграфов  $GR_{y1}, GR_{y2}, \dots, GR_{yn-1}$ , разделяемых на компоненты  ${}^1G_{y1}, {}^2G_{y1}, {}^3G_{\varphi 1}, \dots, {}^1G_{yn-1}, {}^2G_{yn-1}, {}^3G_{\varphi n-1}$  (рис. 2).

Тогда, для любого из промежуточных бло-

ков II, III, ...,  $n-2$  можно составить таблицу переходов  $ART_1$  [4], характеризующих состояния стержней 11, 12; 21, 22 и 31, 32 при совместных изгибно-крутильных колебаниях. Возможные состояния подграфов приведены на рис. 9 [5], а соответствующая двумерная матрица  $\Omega_{\varphi yz}$  при фиксированных граничных условиях стержней 21, 22 и 31, 32 представлена выражениями [4].

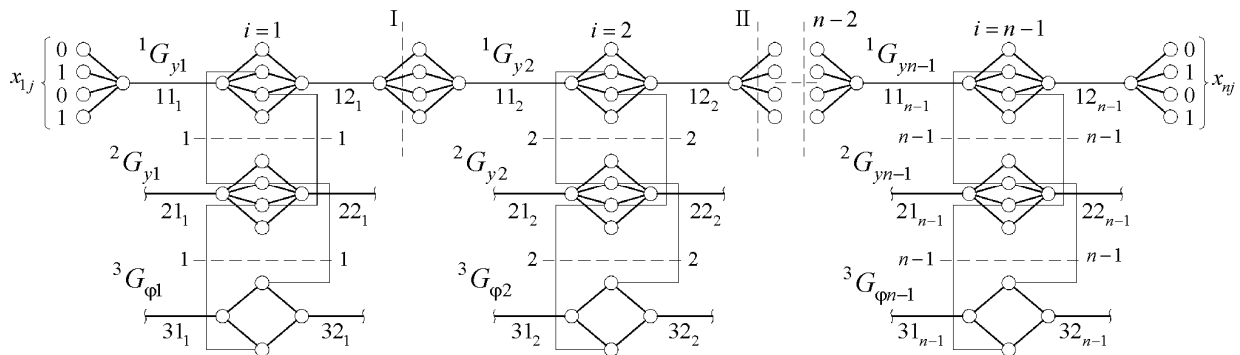


Рис. 2. Граф системы  $GR_{yj}$

Как уже отмечалось [4], элементы матрицы  $\Omega_{\varphi yz}$  в соответствии с кодами таблицы переходов соответствуют элементам матрицы  $\Omega_y$  для изгибных колебаний пересекающихся стержней 11, 12 и 21, 22 в плоскости  $xu$  с последовательным их умножением на матрицы  $w_{31}, w_{32}$  и  $w'_{31}, w'_{32}$ , характеризующие крутильные колебания стержней 31, 32. Поэтому алгоритмы построения пространственных матриц  $\Omega_{i_1 i_2 i_3}^{\varphi yz}$  и  $\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4}^{\varphi yz}$  при варьировании кодов НП стержня 21 и КП стержня 22 будет точно таким же, как и для пространственных матриц  $\Omega_{i_1 i_2 i_3}^y, \Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4}^y$  с

учетом дополнительных множителей  $w_{31}, w_{32}$  и  $w'_{31}, w'_{32}$  в выражениях для двумерных матриц, образованных соответствующими сечениями ориентации.

Рассмотрим возможные состояния системы [4] при последовательном изменении кодов КП ( $k_2 l_2$ ) стержня 32 – 01 и 10. В этом случае систему, представленную автоматом  $ART_2$ , можно описать пятимерной матрицей [3]

$$\Omega_{i_1 i_2 \dots i_5}^{\varphi yz} = \left\| a_{i_1 i_2 \dots i_5} \right\|, \quad (i_1, \dots, i_4 = 1, 2, \dots, 6; i_5 = 1, 2). \quad (1)$$

Тогда для двумерных матриц, образованных трехкратным сечением ориентации ( $i_1 i_2 i_3$ ) при

фиксированных значениях индексов  $i_1 i_2 i_5$  можно записать, например,

- при  $i_1 i_2 i_5 = 1$

$$\Omega_{11i_3i_4}^{\text{xyz}} = \left\| M_{y11} M_{y12} \quad M'_{y11} M'_{y12} \right\| \times \left\| \begin{array}{cc} V_{21}^{1100} \tilde{V}_{22}^{0011} & 0 \\ 0 & V_{21}'^{1100} \tilde{V}_{22}'^{0011} \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} w_{31} \tilde{w}_{32}^{01} \\ w_{31}' \tilde{w}_{32}'^{01} \end{array} \right\|; \quad (2)$$

- при  $i_1 = 2, i_2 = 1, i_5 = 2$

$$\Omega_{21i_3i_4}^{\text{xyz}} = \left\| M_{y11} M_{y12} \quad M'_{y11} M'_{y12} \right\| \times \left\| \begin{array}{cc} V_{21}^{1010} \tilde{V}_{22}^{0011} & 0 \\ 0 & V_{21}'^{1010} \tilde{V}_{22}'^{0011} \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} w_{31} \tilde{w}_{32}^{10} \\ w_{31}' \tilde{w}_{32}'^{10} \end{array} \right\|; \quad (3)$$

или в сокращенной форме

$$\Omega_{i_1 i_2 \dots i_5}^{\text{xyz}} = v_1 v_2 w_3. \quad (4)$$

В выражениях (2), (3) матрицы  $w_{32}$ ,  $w'_{32}$  в соответствии с кодами табл. 2 [4] имеют вид

$$\tilde{w}_{32}^{01} = \left\| \begin{array}{c} \cos \lambda_{\varphi_3} \\ \frac{1}{\beta_3 \lambda_{\varphi_3}} \sin \lambda_{\varphi_3} \end{array} \right\|; \quad \tilde{w}_{32}^{10} = \left\| \begin{array}{c} -\beta_3 \lambda_{\varphi_3} \sin \lambda_{\varphi_3} \\ \cos \lambda_{\varphi_3} \end{array} \right\|; \\ \tilde{w}'_{32}^{01} = \frac{\sin \lambda_{\varphi_3}}{\beta_3 \lambda_{\varphi_3}}; \quad \tilde{w}'_{32}^{10} = \cos \lambda_{\varphi_3} \quad (5)$$

Можно заметить, что матрицы  $v_1$ ,  $v_2$  (4) полностью совпадают с двумерными матрицами, образованными из пространственной матрицы  $\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4}^y$  сечением ориентации  $(i_1 i_2)$ . Поэтому, с учетом (5) несложно также получить остальные выражения для двумерных матриц при различных сочетаниях  $i_1 i_2 i_5$  ( $i_1, i_2 = 1, 2, \dots, 6; i_5 = 1, 2$ ).

Аналогично [4] выразим пространственную матрицу  $\Omega_{i_1 i_2 \dots i_5}^{\text{xyz}}$  в виде таблицы, в которой четырехмерные сечения отделяются вертикальной линией

$$\Omega_{i_1 i_2 \dots i_5}^{\text{xyz}} = \left\| a_{i_1 i_2 i_3 i_4} \mid a_{i_1 i_2 i_3 i_4 2} \right\| \left\| \begin{array}{c} \xrightarrow{(i_5)} \\ \xrightarrow{(i_4)} \\ \xrightarrow{(i_3)} \\ \xrightarrow{(i_1)} \end{array} \right\|; \quad (6)$$

В свою очередь, двумерные сечения пространственных матриц  $a_{i_1 i_2 i_3 i_4}$  и  $a_{i_1 i_2 i_3 i_4 2}$  при фиксированных значениях индексов  $i_1 i_2$  представляются в уже известной форме [4].

Варьирование кодов НП ( $k_1 l_1$ ) стержня 31 позволяет определить еще одну координату  $i_6$   $r$ -мерного пространства ( $r=6$ ) и составить  $r$ -мерную матрицу  $\Omega_{i_1 i_2 \dots i_6}^{\text{xyz}}$

$$\Omega_{i_1 i_2 \dots i_6}^{\text{xyz}} = \left\| a_{i_1 i_2 \dots i_6} \right\|,$$

$$(i_1, \dots, i_4 = 1, 2, \dots, 6; i_5, i_6 = 1, 2). \quad (7)$$

Для совокупности элементов двумерной матрицы  $\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4 i_5 i_6}^{\text{xyz}}$ , образованной  $m$ -кратным ( $m=4$ ) сечением ориентации  $(i_1 i_2 i_5 i_6)$  при фиксированных значениях индексов  $i_1 i_2$  и  $i_5 i_6$  можно записать, например,

- при  $i_1 i_2 i_5 i_6 = 1$

$$\Omega_{11i_3 i_4 11}^{\text{xyz}} = \left\| M_{y11} M_{y12} \quad M'_{y11} M'_{y12} \right\| \times \left\| \begin{array}{cc} V_{21}^{1100} \tilde{V}_{22}^{0011} & 0 \\ 0 & V_{21}'^{1100} \tilde{V}_{22}'^{0011} \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} w_{31}^{10} \tilde{w}_{32}^{01} \\ w_{31}'^{10} \tilde{w}_{32}'^{01} \end{array} \right\|; \quad (8)$$

- при  $i_1 i_2 = 6, i_5 i_6 = 2$

$$\Omega_{66i_3 i_4 22}^{\text{xyz}} = \left\| M_{y11} M_{y12} \quad M'_{y11} M'_{y12} \right\| \times \left\| \begin{array}{cc} V_{21}^{0011} \tilde{V}_{22}^{1100} & 0 \\ 0 & V_{21}'^{0011} \tilde{V}_{22}'^{1100} \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} w_{31}^{01} \tilde{w}_{32}^{10} \\ w_{31}'^{01} \tilde{w}_{32}'^{10} \end{array} \right\|. \quad (9)$$

Матрицы  $w_{31}$ ,  $w'_{31}$  в соответствии с кодами табл. 2 [4] преобразуются к виду

$$w_{31}^{10} = \left\| \begin{array}{cc} \cos \lambda_{\varphi_3} & -\beta_3 \lambda_{\varphi_3} \sin \lambda_{\varphi_3} \end{array} \right\|; \\ w_{31}'^{10} = \left\| \begin{array}{cc} \frac{1}{\beta_3 \lambda_{\varphi_3}} \sin \lambda_{\varphi_3} & \cos \lambda_{\varphi_3} \end{array} \right\|;$$

$$w_{31}^{10} = \cos \lambda_{\varphi_3}; \quad w_{31}'^{01} = \frac{1}{\beta_3 \lambda_{\varphi_3}} \sin \lambda_{\varphi_3}. \quad (10)$$

Используя выражения (10) с приведенными выше (5), а также матрицами, полученными из  $\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4}^y$  с помощью сечений ориентации  $(i_1 i_2)$  можно составить двумерные матрицы при различных сочетаниях  $i_1 i_2 i_5 i_6$  ( $i_1, i_2 = 1, 2, \dots, 6; i_5, i_6 = 1, 2$ ).

По аналогии (6), представим четырехмерные сечения пространственной матрицы  $\Omega_{i_1 i_2 i_3 i_4 i_5 i_6}^{\text{xyz}}$  в виде

$$\Omega_{i_2 i_3 i_4 i_5 i_6}^{xyz} = \left\| \begin{array}{cc} a_{i_2 i_3 i_4 11} & a_{i_2 i_3 i_4 12} \\ a_{i_2 i_3 i_4 21} & a_{i_2 i_3 i_4 22} \end{array} \right\| \begin{array}{c} \xrightarrow{(i_2)} \\ \xrightarrow{(i_3)} \\ \xrightarrow{(i_4)} \\ \xrightarrow{(i_5)} \\ \xrightarrow{(i_6)} \end{array} \quad (11)$$

Двумерные сечения пространственных матриц, входящих в выражение (11) при фиксированных значениях индексов  $i_1 i_2$  представляются в форме [4].

Пространственные матрицы  $\Omega_{i_1 \dots i_5}^{xyz}$  и  $\Omega_{i_1 \dots i_6}^{xyz}$  для изгибно-продольных колебаний системы пересекающихся балок также представляются в форме (1), (7) с последующим выделением  $m$ -мерных сечений (6), (11).

Далее, процедура построения ассоциированных матриц для  $k$ -й подсистемы ( $k=1, 2, \dots, p-1$ ) трехмерной стержневой конструкции будет аналогична процедуре составления частотного уравнения для системы пересекающихся балок, расположенных в одной плоскости.

Так, первая подсистема при  $k=1$  представляется одномерной матрицей-строкой  $V(GRT_1)$ , которую можно выразить в виде произведения ассоциированных матриц участков  $j=1, 2, \dots, m-1$ . В свою очередь, каждая подсистема  $j$  описывается произведением ассоциированных матриц участков  $i=1, 2, \dots, n-1$

$$V(GRT_1) = V_1(G_{\phi 1}) \prod_{j=2}^{m-2} \Phi_{1\phi j} \tilde{V}_1(G_{\phi m-1}), \quad (12)$$

где  $V_1(G_{\phi 1})$ ,  $\tilde{V}_1(G_{\phi m-1})$  – двумерные матрицы для первого ( $j=1$ ) и последнего ( $j=m-1$ ) участков  $k$ -й подсистемы ( $k=1$ ),  $\Phi_{1\phi j}$  – кубическая матрица промежуточных участков при  $j=2, 3, \dots, m-2$ :

$$V_1(G_{\phi 1}) = \Omega_{i_2 i_3 i_5}^{\phi 1} \prod_{i=2}^{n-2} \Omega_{i_2 i_3 i_5}^{\phi i} \Omega_{i_3 i_5}^{\phi n-1}; \quad (13)$$

$$\Phi_{1\phi j} = \Omega_{i_2 i_3 i_4 i_5}^{\phi 1} \prod_{i=2}^{n-2} \Omega_{i_1 \dots i_5}^{\phi i} \Omega_{i_3 i_4 i_5}^{\phi n-1}; \quad (14)$$

$$\tilde{V}_1(G_{\phi m-1}) = \Omega_{i_2 i_4 i_5}^{\phi 1} \prod_{i=2}^{n-2} \Omega_{i_2 i_4 i_5}^{\phi i} \Omega_{i_4 i_5}^{\phi n-1}. \quad (15)$$

Для любой из промежуточных подсистем ( $k=2, 3, \dots, p-2$ ) можно составить двумерную матрицу шестого порядка в следующем виде:

$$F_{\phi k} = V_k(G_{\phi 1}) \prod_{j=2}^{m-2} \Phi_{k\phi j} \tilde{V}_k(G_{\phi m-1}), \quad (16)$$

где  $V_k(G_{\phi 1})$ ,  $\tilde{V}_k(G_{\phi m-1})$  – кубические матрицы крайних участков ( $j=1, j=m-1$ )  $k$ -й подсистемы,  $\Phi_{k\phi j}$  – четырехмерная матрица промежуточных участков ( $j=2, 3, \dots, m-2$ ):

$$V_k(G_{\phi 1}) = \Omega_{i_2 i_3 i_5 i_6}^{\phi 1} \prod_{i=2}^{n-2} \Omega_{i_2 i_3 i_5 i_6}^{\phi i} \Omega_{i_3 i_5 i_6}^{\phi n-1}; \quad (17)$$

$$\Phi_{k\phi j} = \Omega_{i_2 \dots i_6}^{\phi 1} \prod_{i=2}^{n-2} \Omega_{i_1 \dots i_6}^{\phi i} \Omega_{i_3 \dots i_6}^{\phi n-1}; \quad (18)$$

$$\tilde{V}_k(G_{\phi m-1}) = \Omega_{i_2 i_4 i_5 i_6}^{\phi 1} \prod_{i=2}^{n-2} \Omega_{i_2 i_4 i_5 i_6}^{\phi i} \Omega_{i_4 i_5 i_6}^{\phi n-1}. \quad (19)$$

Наконец, для  $p-1$  подсистемы одномерная матрица-столбец может быть представлена в виде

$$\begin{aligned} \tilde{V}(GRT_{p-1}) &= \\ &= V_{p-1}(G_{\phi 1}) \prod_{j=2}^{m-2} \Phi_{(p-1)\phi j} \tilde{V}_{p-1}(G_{\phi m-1}), \end{aligned} \quad (20)$$

где  $V_{p-1}(G_{\phi 1})$ ,  $\tilde{V}_{p-1}(G_{\phi m-1})$  – двумерные матрицы для первого ( $j=1$ ) и последнего ( $j=m-1$ ) участков ( $p-1$ )-й подсистемы ( $k=p-1$ ),  $\Phi_{(p-1)\phi j}$  – кубическая матрица при значениях  $j=2, 3, \dots, m-2$ :

$$V_{p-1}(G_{\phi 1}) = \Omega_{i_2 i_3 i_6}^{\phi 1} \prod_{i=2}^{n-2} \Omega_{i_2 i_3 i_6}^{\phi i} \Omega_{i_3 i_6}^{\phi n-1}; \quad (21)$$

$$\Phi_{(p-1)\phi j} = \Omega_{i_2 i_3 i_4 i_6}^{\phi 1} \prod_{i=2}^{n-2} \Omega_{i_2 i_3 i_4 i_6}^{\phi i} \Omega_{i_3 i_4 i_6}^{\phi n-1}; \quad (22)$$

$$\tilde{V}_{p-1}(G_{\phi m-1}) = \Omega_{i_2 i_4 i_6}^{\phi 1} \prod_{i=2}^{n-2} \Omega_{i_2 i_4 i_6}^{\phi i} \Omega_{i_4 i_6}^{\phi n-1}. \quad (23)$$

Анализируя структуру полученных  $r$ -мерных матриц, можно отметить некоторые закономерности их образования. Так, ввод в систему дополнительной зависимой переменной или группы зависимых переменных, соответствующих одному из входов автомата, описывающего колебания сложной стержневой системы, добавляет еще одно измерение в евклидово пространство и в структуру матрицы  $\Omega$ . Отмеченное обстоятельство позволяет

предложить пирамидальный принцип [1] построения пространственных ассоциированных матриц, которые, в отличие от простых конструкций, относятся не к отдельным стержням, а к отдельным блокам или подблокам системы.

В общем случае, подавтомат  $A$ , характеризующий состояния промежуточной (внутренней) подсистемы, имеющей  $r$  входов, описывается  $r$ -мерной пространственной матрицей, порядок которой зависит от числа возможных перестановок кодов соответствующих входных переменных. Уменьшение числа «входов», например для крайних (граничных) подсистем, уменьшает соответственно количество координат  $r$ -мерного пространства. При этом  $r$ -мерная матрица для всей системы получается в результате последовательного произведения  $(r+1)$ - и  $(r+2)$ -мерных матриц для образующих ее подсистем. В итоге, на верхнем уровне «пирамиды» стоит скалярная величина, соответствующая некоторой точке евклидова пространства, определяемая произведением векторов, описывающих состояние обособленной замкнутой подсистемы.

В окончательной форме уравнение частот для изгибно-крутильных колебаний трехмерной стержневой системы [5] приводится к виду

$$V(GRT_1) \prod_{k=2}^{p-2} F_{\phi k} \tilde{V}(GRT_{p-1}) = 0. \quad (24)$$

Соответственно представляется частотное уравнение для изгибно-продольных колебаний пространственной стержневой системы

$$V(GRL_1) \prod_{k=2}^{p-2} F_{xk} \tilde{V}(GRL_{p-1}) = 0. \quad (25)$$

Таким образом частотное (топологическое) уравнение пространственной стержневой конструкции можно рассматривать как последовательность одно-, двух-, трех- и т. д.  $r$ -мерных матриц, соединенных в одну систему. Следуя отмеченным выше аналогиям, можно отметить пирамидальный принцип построения таких уравнений. На самом верхнем уровне, результирующее уравнение состоит из произведения одно- и двумерных матриц системы.

В качестве примера на рис. 3 приведен график-номограмма изменения частотного параметра  $\lambda_{z1}$  для изгибных колебаний шарнирно-опертых балок, лежащих в плоскости  $xu$ , и продольных колебаний ортогональных им балок с заделанными концами, расположенных

вдоль оси  $z$ . При прочих равных геометрических, инерционных и жесткостных характеристиках системы, различной принималась лишь относительная жесткость  $c'$  на растяжение-сжатие балок, параллельных оси  $z$ .

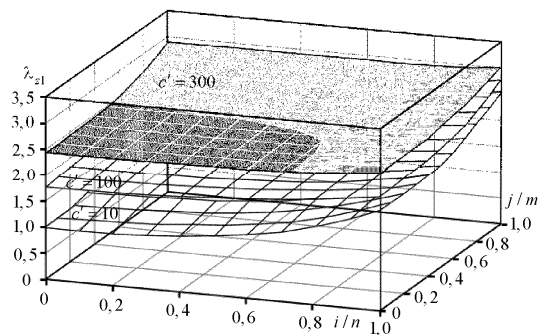


Рис. 3. Значения  $\lambda_{z1}$  для регулярной системы пересекающихся балок

Как видим, частотные поверхности для трехмерных систем во многом аналогичны графикам, полученным для плоских систем пересекающихся балок. Однако количество возможных сочетаний параметров для балок каждого из направлений будет существенно большим.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крон, Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика) [Текст] / Г. Крон. – М.: Наука, 1972. – 544 с.
2. Кунцманн, Й. Булева алгебра и конечные автоматы [Текст] / Й. Кунцманн, П. Наслин. – М.: Мир, 1969. – 294 с.
3. Соколов, Н. П. Пространственные матрицы и их приложения [Текст] / Н. П. Соколов. – М.: Физматгиз, 1960. – 300 с.
4. Распопов, А. С. Структура пространственных матриц для комбинированных колебаний многомерных стержневых систем [Текст] / А. С. Распопов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 139-145.
5. Распопов, А. С. Применение топологических методов к расчету пространственных колебаний двух- и трехмерных стержневых систем [Текст] / А. С. Распопов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 22. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 117-124.

Поступила в редколлегию 24.12.2008.

А. Л. ТЮТКИН (ДИИТ)

## КОНЦЕПЦИЯ СТАТУСНОСТИ В КОМПЛЕКСНОМ АНАЛИЗЕ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В статті наведено теоретичні положення концепції визначення статусу конструкцій підземних споруд для проведення комплексного аналізу.

В статье приведены теоретические положения концепции определения статуса конструкций подземных сооружений для проведения комплексного анализа.

In the article the theoretical positions of conception of status determination of constructions of underground structures for conducting the complex analysis are presented.

Развитие методов исследования основных параметров сложных систем, к которым относятся и конструкции подземных сооружений, практически всегда концептуально опиралось на определение напряженно-деформированного состояния (НДС). К основным параметрам системы можно отнести те глобальные понятия, которые эту систему описывают, как целостный объект, подчиняющийся целесообразным условиям существования и применения, т.е. – прочность, устойчивость и долговечность. Существующие методы определения этих параметров являются методами механики сплошной среды. Следует отметить, что методы механики сплошной среды в применении к реальным объектам, которые отличаются значительной сложностью в математическом описании, следуют правилам индукции, т.е. рассмотрение метода начинается с общих понятий и ведет к частным случаям. Индуктивный подход присущ значительно разработанным теориям, которые прошли этап дедукции – накопления и описания наблюдений и выработки общих гипотез, на которых базируется теория.

Исследование прочности и устойчивости конструкций подземных сооружений также основывается на определении НДС системы, которое анализируется вместе с определенными критериями этих параметров. Но особенность исследования НДС системы «подземное сооружение – окружающий массив» (или короче «крепь – массив») отмечена тем, что значительные размеры этих сооружений, присущая им нерегулярность конструкций, структурные особенности (скачкообразное изменение жесткостей, контактные условия, неравномерное распределение параметров) приводит к тому, что анализ НДС конструкции в целом затруднен и, поэтому, разделяется на ряд аналитиче-

ских действий в пределах его частей. Данная операция разделения, несомненно, целесообразна, а в некоторых случаях является единственно возможной, т.к. дает возможность более обстоятельного исследования системы и получения репрезентативных данных, но вместе с тем теряется некоторая комплексность подхода к исследованию, т.к. анализ частей системы в общем случае не позволяет сделать общие выводы о ее состоянии и поведении. Это следует из того факта, что анализ НДС исследуемой системы или ее частей заключается в процессе обычного сравнения наличного напряженного и/или деформированного состояний с критериями общих параметров прочности и устойчивости, хотя в случаях более комплексного анализа влияния одного или многих факторов, вносящих в систему некоторые изменения, требуется исследовать их влияние, что заключается в его многофакторном сравнении, которое является довольно сложным процессом. Поэтому автором предлагается для исследования прочности и устойчивости конструкций применить концепцию статусности НДС для комплексного исследования системы или ее частей.

Для определения статусности НДС введем в его комплексный анализ понятие «статус» ( $St$ ). Под статусом будем понимать изменение НДС вследствие изменения параметров системы в  $n$  раз, причем начальным статусом ( $St = 1$ ) будем называть статус НДС системы в стационарном состоянии (например, в состоянии равновесия). Ранее автором при изложении данной концепции вместо термина «статус» применялся термин «ранг» [1], однако после обсуждения рядом специалистов в области математической статистики данный термин изменен на термин «статус» в силу того, что термин «ранг» имеет устоявшуюся интерпретацию [2].

Таким образом, повышение или понижение статуса НДС вследствие изменения параметров системы количественно определяет влияние таких изменений. Сложность системы, отличающейся большими размерами и специфическими особенностями, состоит в том, что изменение параметров в локальных областях приводит к изменению статуса только в них. Изменение параметров системы значительных размеров постепенно затухают по координате и, таким образом, статус постепенно принимает значение равное единице. Соответственно статусом НДС исследуемой системы будет набор статусов от 1 до  $n$ . Здесь также можно отметить, что  $St < 1$ , что обусловлено случаями положительных изменений в системе, например оптимизации ее параметров. Две одинаковые системы с незначительным изменением параметров и  $St = 1$  идентичны друг другу.

Практически статус НДС системы определяется из сравнения напряженного и деформированного состояний исходной системы и той же системы с измененными параметрами:

$$St(\varepsilon) = \frac{\sigma_k}{\sigma_n}; \quad (1)$$

$$St(\varepsilon) = \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_n}, \quad (2)$$

где  $St(\sigma)$  и  $St(\varepsilon)$  – соответственно статусы напряженного и деформированного состояний;  $\sigma_k$  и  $\varepsilon_k$  – соответственно напряжения и перемещения системы с измененными параметрами;  $\sigma_n$  и  $\varepsilon_n$  – соответственно напряжения и перемещения исходной системы.

Таким образом, для практического определения статуса НДС системы и системы с измененными параметрами следует определить их НДС и провести их сравнение. Статус, полученный в его результате, дает возможность количественно оценить во сколько раз изменится НДС системы (или подсистем) из-за внесения в нее изменений. Следует добавить, что статус имеет дробное значение, т.к. изменение только в частном случае будет выражаться целым числом.

Также следует определить, что под стационарным состоянием системы следует выбирать такое состояние, которое может считаться явно определенным и равновесным, а сравниваемые с им состояния системы с измененными параметрами являлись результатом суперпозиции стационарного первичного состояния с влиянием привнесенных изменений. Например, в ис-

следовании прочности и устойчивости конструкций подземных сооружений, таким стационарным состоянием может быть состояние системы «крепление – массив» под действием собственного веса [3], а системы с измененными параметрами будут характеризоваться и действием собственного веса и влиянием на НДС привнесенных изменений.

Комплексный анализ системы «крепь – массив» с использованием процесса присвоения статуса может также быть проведен как анализ изменения подсистем и представлен как количественное изменение напряжений и деформаций вследствие изменений существенных параметров системы с помощью статуса (1)-(2), но, введя еще один показатель, этот анализ можно несколько расширить. Таким показателем является нормированный статус  $|St|$ , который представляет собой количественное изменение НДС системы (или подсистем) с изменением параметров относительно критериев прочности или устойчивости:

$$|St|(\sigma) = \frac{\sigma_k}{|\sigma|}; \quad (3)$$

$$|St|(\varepsilon) = \frac{\varepsilon_k}{|\varepsilon|}, \quad (4)$$

где  $|St|(\sigma)$  и  $|St|(\varepsilon)$  – соответственно нормированные статусы напряженного и деформированного состояний;  $\sigma_k$  и  $\varepsilon_k$  – соответственно напряжения и перемещения системы с измененными параметрами;  $|\sigma|$  и  $|\varepsilon|$  – соответственно нормированные значения напряжений и перемещений.

Следует отметить, что нормированный статус, в отличие от статуса системы (подсистемы), является дифференциальной характеристикой, т.к. он имеет смысл для каких-то локальных областей, изменения которых не столь значительны. Таким образом, понятие нормированного статуса несколько похоже на понятие «коэффициент запаса», но отличается от него тем, что значение статуса может быть меньше единицы, свидетельствуя о негативном влиянии изменений на НДС системы, а также тем, что статус может быть как интегральной (статус системы или подсистем), так и дифференциальной (нормированный статус точек системы) характеристикой. Также понятие статуса похоже на понятия теории риска, применяемой для оценки влияния изменений на НДС конструкции [4], но отличие состоит в том, что

теория риска основана на применении вероятностного подхода, а аналитические построения процесса определения статуса – на положениях детерминистических нестохастических процессов. Поэтому теория риска более применима для прогнозирования влияния технологических ошибок и наличия дефектов в конструкции [5], а процесс определения статуса можно использовать в прогнозировании изменения НДС вследствие изменений явного характера – разрушения частей конструкции, исследования комплексов нагрузок, влияния геометрических размеров и процесса оптимизации и так далее.

Т.к. статус является количественной характеристикой только НДС и не дает возможности анализировать или классифицировать причины, вызывающие его изменение, введем в комплексный анализ прочности и устойчивости конструкций подземных сооружений термин «вес» ( $Wt$ ), который будет качественно описывать изменения в системе. Качественный характер понятия веса заключается в том, что классифицировать изменения в такой сложной системе, как подземное сооружение, практически невозможно, т.к. их характер существенно различается, например, технологические особенности установки элементов, изменение коэффициента фильтрации массива, изменение геометрических размеров конструкции. Несомненно, эти явления ведут к изменению НДС, но их сущностный характер настолько различен, что создание классификации всех изменений потребует наличия огромного числа классов, отделов и подотделов, но не даст возможности комплексно проанализировать их влияние. Поэтому под весом будем понимать степень изменения НДС системы вследствие флуктуации параметра, и автором предложена первоначальная классификация весов, которая, конечно же, не является полной в силу своей первичности и несколько приблизительного характера распределения весов.

1.  $Wt = 1$  – незначительные локальные изменения, мало влияющие на систему в целом (относительно небольшие геометрические изменения конструкции, локальные тепловые явления, незначительные изменения свойств системы).

2.  $Wt = 2$  – значительные локальные изменения, слабо влияющие на систему в целом, но значительно влияющие на некоторые подсистемы (наличие слабой неоднородности массива, значительные геометрические изменения конструкции, тепловые явления в большей части системы).

3.  $Wt = 3$  – незначительные глобальные изменения, влияющие как на подсистемы, так и на систему в целом (неоднородность всех частей системы, тепловые явления во всей системе, некатастрофические изменения геометрических размеров системы).

4.  $Wt = 4$  – значительные глобальные изменения, значительно влияющие на систему в целом (нарушение частей системы, катастрофические тепловые явления, взрывы, катастрофические изменения геометрии системы).

Несомненно, представленная классификация изменений на основе веса, только разрабатывается, но полезность ее применения очевидна, т.к. уже исследованные изменения в системе «крепь – массив» дают возможность сделать вывод об их распределении по степени влияния на систему [6 – 8], т.е. по их весу.

Используя комплексный подход к НДС конструкций подземных сооружений, можно более четко обозначить вышеприведенную классификацию на основе веса, используя процесс определения статуса НДС. Практически это можно сделать, сравнивая статусы системы-исходника без изменений (или ее подсистем) и системы-вариации, в которой изменение классифицировано с помощью веса. Исследовав достаточное количество систем-вариаций с присвоенными им весами изменений и получив статусы НДС, можно будет скорректировать авторскую классификацию весов путем добавления в каждый класс веса границ статусов, то есть, например, у изменений с  $Wt = 1$  будут известны значения статусов, определяющий данный вес. Таким образом, качественная характеристика веса приобретет количественное выражение и даст возможность более строгой классификации флуктуаций параметров, вносящих изменения в НДС исследуемой системы. Следует также отметить, что современные расчетные комплексы (Plaxis, SCAD, Lira) еще не приспособлены даже к определению обычных коэффициентов запаса, хотя наиболее динамично развивающиеся из них (MSC/Nastran, ANSYS) могли бы реализовать процедуру определения статуса путем сравнения файлов результатов с построением изолиний и изополей статусов.

Проиллюстрируем вышеизложенный материал несколькими примерами. Проведем определение статуса двух систем и их подсистем с измененными параметрами, в качестве исходника используется станция метрополитена мелкого заложения [9], расчетная схема (рис. 1, а) представляет собой часть реальной колонной станции мелкого заложения Киевского метро-

политена.

Параметры конечно-элементной модели исходной станции: узлов – 19476, КЭ – 15 721; деформационные характеристики модели: окружающий массив – глина, модуль упругости  $E = 59$  МПа, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,35$ , плотность  $\gamma = 2,0$  т/м<sup>3</sup>; конструкция – железобетон, приведенный модуль упругости  $E =$

$= 370$  МПа, приведенный коэффициент Пуассона  $\mu = 0,1$ , плотность  $\gamma = 2,5$  т/м<sup>3</sup>. Глубина заложения станции – 10 м. В расчетах применялось только загрузке собственным весом.

Размеры конструкции станции взяты из проектной документации (рис. 1, б).

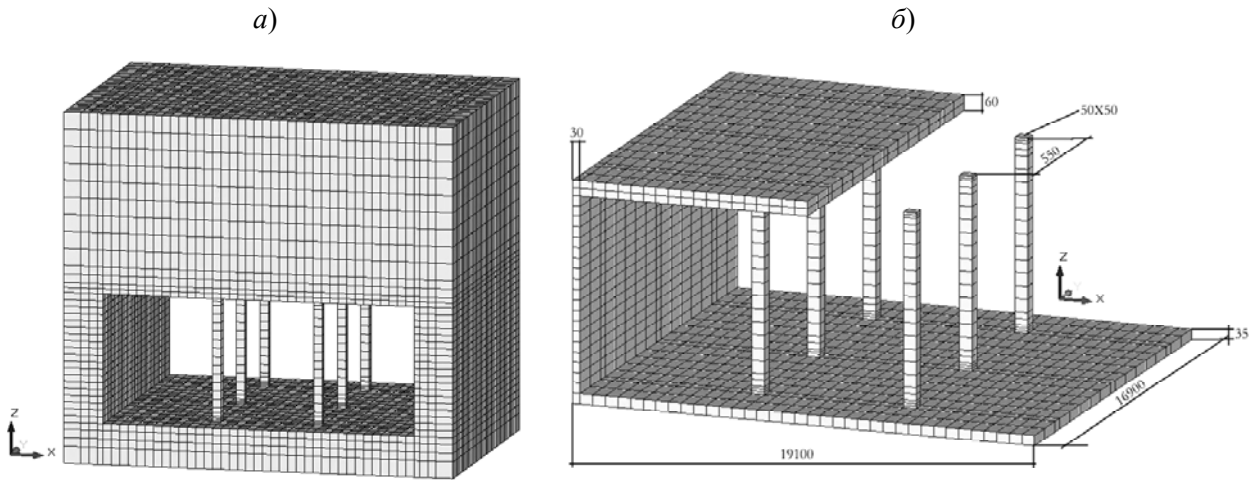


Рис. 1. Расчетная схема колонной станции мелкого заложения

В качестве систем-вариаций разработаны модели исходной станции с измененными геометрическими параметрами:

– модель № 1 – в качестве изменения принята неправильная постановка одной колонны

(рис. 2, а), вес изменения  $Wt = 1...2$ ;

– модель № 2 – в качестве изменения принято отсутствие одной колонны (рис. 2, б), вес изменения  $Wt = 2...3$ .

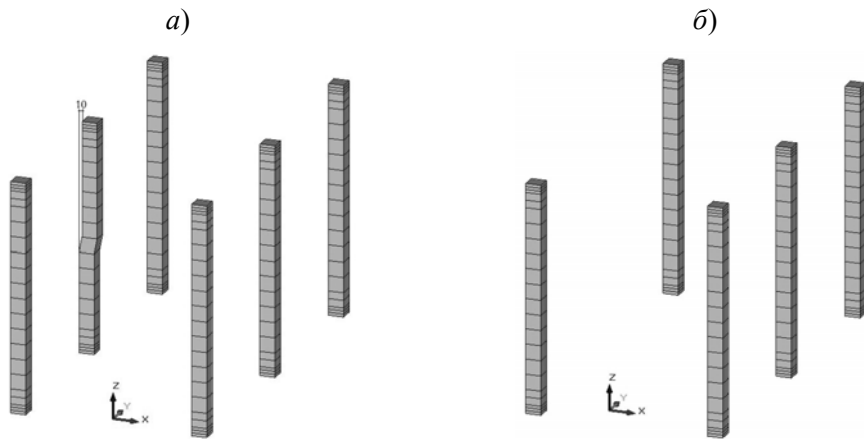


Рис. 2. Фрагмент моделей систем-вариаций: а) модель № 1; б) модель № 2

После расчетов по полученным результатам (рис. 3 – 4) проведен процесс определения статуса системы и ее подсистем. В качестве подсистем системы «крепь – массив»  $S$  выбраны следующие:  $S_1$  – окружающий массив;  $S_2$  – обделка станции без системы колонн;  $S_3$  – система колонн. Процесс определения статуса проведен только для параметров НДС, которые изменялись значительно, а именно для переме-

щений по оси  $Z$  и для напряжений по оси  $Z$ . Статус для подсистемы вычислялся с помощью авторского приема суммирования колонки результатов, который заключается в суммировании первого столбца в колонке результатов для двух систем и дальнейшем их сравнении. Такой прием является адекватным процессу определения статуса, т.к. в колонке результатов даны минимальное и максимальное значение параметра, а все остальные значения между ними

располагаются с постоянным шагом. Таким образом, колонки результатов, полученные в результате расчета двух моделей, прямо свиде-

тельствуют об изменении НДС системы, не отображая характера изменений, но выражая его количественно.

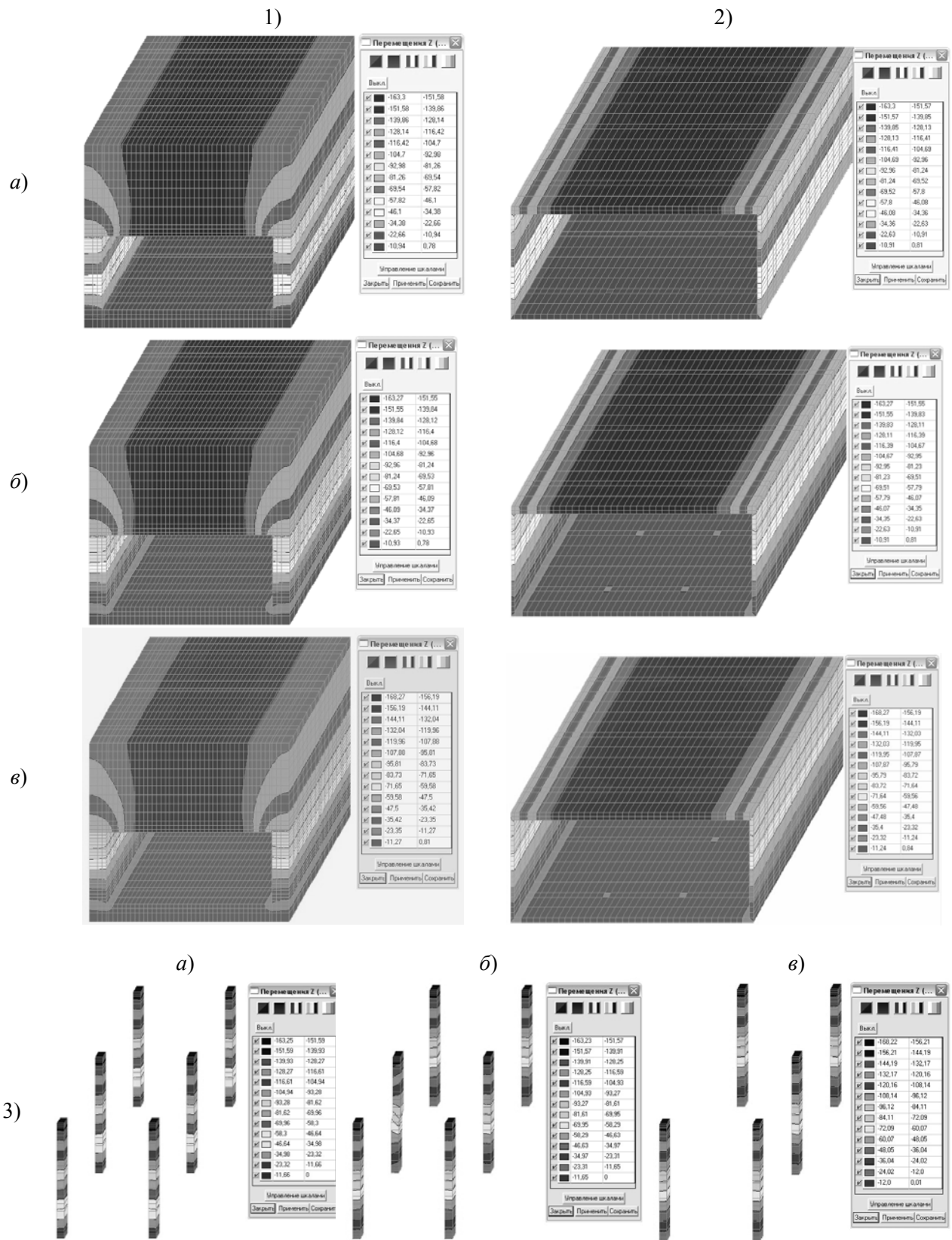


Рис. 3. Перемещения по оси Z в подсистемах: 1)  $S_1$ ; 2)  $S_2$ ; 3)  $S_3$   
 а) исходная система; б) модель № 1; в) модель № 2

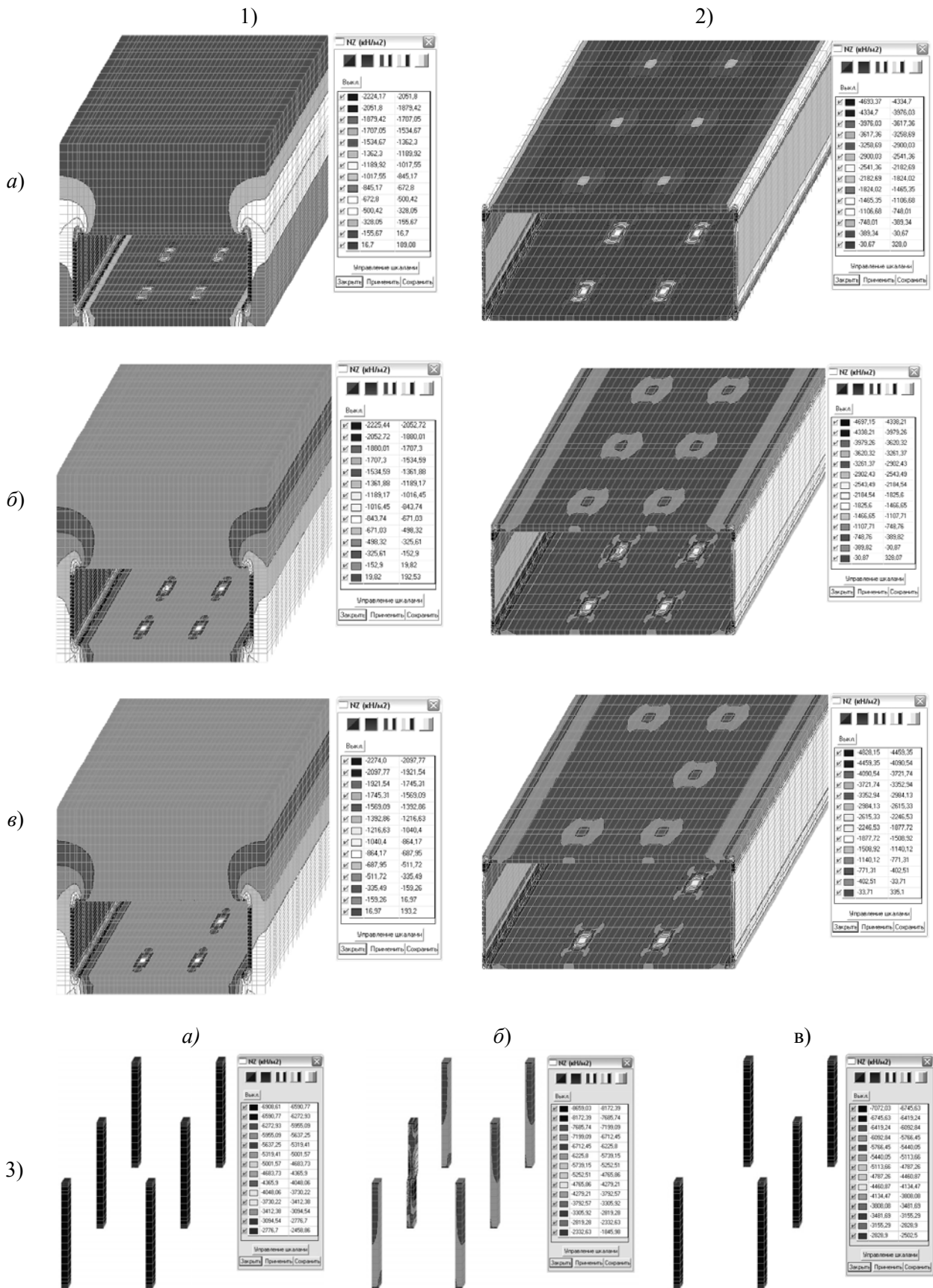


Рис. 4. Перемещения по оси Z в подсистемах: 1)  $S_1$ ; 2)  $S_2$ ; 3)  $S_3$   
 а) исходная система; б) модель № 1; в) модель № 2

Соответственно статус находится по следующим формулам:

$$St(\sigma) = \frac{\sum \sigma_k}{\sum \sigma_n}; \quad (5)$$

$$St(\varepsilon) = \frac{\sum \varepsilon_k}{\sum \varepsilon_n}, \quad (6)$$

где  $St(\sigma)$  и  $St(\varepsilon)$  – соответственно статусы напряженного и деформированного состояний;  $\sum \sigma_k$  и  $\sum \varepsilon_k$  – соответственно сумма напряжений и перемещений системы с измененными параметрами, найденные из колонки результатов;  $\sum \sigma_n$  и  $\sum \varepsilon_n$  – соответственно сумма напряжений и перемещений исходной системы, найденные из колонки результатов. Это еще раз показывает характер процесса определения статуса, как процесса, в результате которого получается количественная характеристика изменения вследствие флуктуаций параметров системы, выражающихся с помощью веса. В процессе определения статуса получены следующие статусы подсистем:

1. Статус напряженного состояния  $St(\sigma)$ .

а) модель № 1:  $S_1 - St(\sigma) = 0,99950$ ;  $S_2 - St(\sigma) = 1,00079$ ;  $S_3 - St(\sigma) = 1,13490$ .

б) модель № 2:  $S_1 - St(\sigma) = 1,02237$ ;  $S_2 - St(\sigma) = 1,02912$ ;  $S_3 - St(\sigma) = 1,02227$ .

2. Статус деформированного состояния  $St(\varepsilon)$ .

а) модель № 1:  $S_1 - St(\varepsilon) = 1,00000$ ;  $S_2 - St(\varepsilon) = 1,00000$ ;  $S_3 - St(\varepsilon) = 1,00000$ .

б) модель № 2:  $S_1 - St(\varepsilon) = 1,03135$ ;  $S_2 - St(\varepsilon) = 1,03135$ ;  $S_3 - St(\varepsilon) = 1,03618$ .

Анализ статусов подсистем свидетельствует о том, что предполагаемые веса изменений, предложенные выше, можно скорректировать таким образом: для модели № 1 –  $Wt = 1$ , для модели № 2 –  $Wt = 2$ , т.к. значение статусов изменяется незначительно в первом случае и существенно во втором. Также проведенный анализ показал, что значение статуса для установления влияния того или иного изменения в системе следует записывать до пятого знака после запятой, а также тот факт, что для каждой исследуемой системы повышенной сложности следует тарифировать систему статусов. Это связано с тем, что предполагаемое значительное изменение статуса для станции метрополитена мелкого заложения не подтвердилось,

поэтому следует протарифировать систему статусов таким образом: 1) статус равен 1,00000 – системы идентичны друг другу, изменения системы-вариации не вносят в НДС значительных изменений; 2) появление 5-го знака после запятой в значении статуса – системы практически идентичны друг другу; 3) появление 4-го или 3-го знака после запятой в значении статуса – незначительные изменения; 4) появление 2-го или 1-го знака после запятой в значении статуса – значительные изменения; 5) изменение значения статуса в 2 раза – система-вариация кардинально отличается от исходной системы.

Данное тарифирование системы статусов подходит к полученным данным, что видно из статусов деформированного состояния всех подсистем двух моделей. Из анализа этих статусов видно, что локальные изменения в модели № 1 не меняют статуса деформированного состояния подсистем, статусы подсистем модели № 2 свидетельствуют о значительном влиянии внесенных изменений во все подсистемы (появление второго знака после запятой). Из анализа статусов деформированного состояния также можно сделать вывод, что изменения, внесенные в исходную систему должны быть очень существенными (вес  $Wt = 3...4$ ), чтобы значительно увеличить значение статуса. Анализ статусов напряженного состояния подсистем показывает, что его изменение более выражено, чем изменение деформационного состояния и достаточно внести флуктуацию параметра с  $Wt = 2...3$ , чтобы значительно изменить статус некоторых подсистем. Это достаточно выражено в случае модели № 1, в которой флуктуация с  $Wt = 1...2$  (искривление колонны на 10 см) значительно увеличивает статус подсистемы  $S_3$  (система колонн), незначительно изменяя статусы остальных подсистем. Причем статус подсистемы  $S_1$  (окружающий массив) даже несколько уменьшился, что обусловлено изменением НДС конструкции, но данные изменения (4-й знак после запятой) являются незначительными.

Следует отметить, что проведенный анализ для его полноты следует дополнять анализом нормированных статусов, но такая процедура более трудоёмка и её выполнение затруднено отсутствием расчётных комплексов, которые могли бы её реализовать. Но такая процедура, проведенная один раз на основе первичного статуса, в дальнейшем бы позволила достаточно быстро, без кропотливого анализа отыскивать те расчеты, изменения в моделях которых приводят к уменьшению прочности и устойчи-

ности конструкций, а затем более тщательно их анализировать. Такая практика применения процесса определения статуса позволит проводить комплексный анализ НДС сложных систем с вносимыми в них изменениями, сберегая время на вариантный анализ, который можно опустить и, отыскав статусы напряженного и деформированного состояний системы или подсистем, переходить к анализу тех случаев, которые наиболее информативны.

Несомненно, предложенный процесс количественно-качественного анализа прочности на основе процесса определения статуса и описания изменений с помощью веса только начинает разрабатываться, но, имея явно выраженный прикладной характер, отличается актуальностью в области классификации изменений, влияющих на существенные параметры сложных систем, и отмечен научно-практической новизной и полезностью.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тюткин, А. Л. Понятия «ранга» и «веса» в комплексном анализе прочности и устойчивости тоннельных конструкций [Текст] / А. Л. Тюткин // Тезисы 66 Межд. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта», 11 – 12 мая 2006 г., Днепропетровск. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – С. 259-260.
2. Кендэл, М. Дж. Ранговые корреляции [Текст] / М. Дж. Кендэл. – М.: Статистика, 1975. – 214 с.
3. Петренко, В. І. Розрахунок трисклепінчастих станцій метрополітену глибокого закладення [Текст] / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тюткін. – Д.: Наука і освіта, 2004. – 176 с.
4. Сеницын, А. П. Расчет конструкций на основе теории риска [Текст] / А. П. Сеницын. – М.: Стройиздат, 1985. – 304 с.
5. Шашенко, А. Н. Методы теории вероятностей в геомеханике [Текст] / А. Н. Шашенко, Н. С. Сургай, Л. Я. Парчевский. – К.: Техника, 1994. – 216 с.
6. Баклашов, И. В. Механика подземных сооружений и конструкции крепей [Текст] / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. – М.: Недра, 1984. – 415 с.
7. Бульчев, Н. С. Проектирование и расчет крепи капитальных выработок [Текст] / Н. С. Бульчев, Н. Н. Фотиева, Е. В. Стрельцов. – М.: Недра, 1986. – 288 с.
8. Современные методы прочностных расчетов в метро- и тоннелестроении [Текст] / Е. А. Демешко и др. // Сб. тр. науч.-техн. конф. «Подземное строительство России на рубеже XXI века», Москва, 15-16 марта 2000 г. – М.: ТАР, 2000. – С. 200-207.
9. Фролов, Ю. С. Метрополитены на линиях мелкого заложения. Новая концепция строительства [Текст] / Ю. С. Фролов, Ю. Е. Крук. – М.: ТИМР, 1994. – 202 с.

Поступила в редколлегию 28.11.2008.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

У статті викладено результати теоретичних досліджень з метою математичного моделювання планування експериментів. Новим є те, що планування експериментів ведеться одночасно за трьома показниками якості. Цими показниками є міцність з'єднання покриття з основою, зносостійкість та товщина покриття. Розробка математичного моделювання планування експерименту за декількома показниками дає можливість зменшити кількість та вартість експериментів.

В статье представлены результаты теоретических исследований с целью математического моделирования планирования экспериментов. Новым является то, что планирование экспериментов проводится одновременно по трем показателям качества. Этими показателями является прочность сцепления покрытия с основой, износостойкость и толщина покрытия. Разработка математического моделирования планирования эксперимента по нескольким показателям дает возможность уменьшить количество и стоимость экспериментов.

In the article the results of theoretical researches aimed at the mathematical design of planning the experiments are presented. The new is that planning the experiments is conducted simultaneously on three indices of quality. They are coverage-to-basis strength of adhesion, wearproofness and coverage thickness. Development of mathematical design of planning the experiment on a few indices enables decreasing a quantity and cost of experiments.

На даний час у науковому світі методи наукових досліджень умовно можна розділити на теоретичні, теоретико-експериментальні і експериментальні [1]. Теоретичний метод побудований на узагальненні накопиченого досвіду або результатів експериментальних досліджень. Теоретико-експериментальний припускає створення або розвиток теорії з подальшою перевіркою експериментом, уточненням і визначенням необхідних параметрів. Експериментальний – припускає встановлення зв'язку між функціями і аргументами. Даний метод базується на математичному плануванні експериментів, регресійному і дисперсійному аналізі. Другий і третій перелічені методи наукових досліджень тісно зв'язані між собою і часто виступають єдиним цілим. У будь-якому випадку, побудова теорії вимагає експериментального підтвердження. Проте, на даний час проведення експериментів пов'язане з чималими фінансовими витратами і часто вимагає тривалого часу, тому при підготовці до експериментів необхідно використовувати математичний апарат, направлений на мінімізацію кількості експериментів без втрати якості та достовірності результатів.

Як вирішення позначеної проблеми виступає математичне планування експериментів. Існують різні методи планування, що набули широкого поширення в науково-технічній літературі [2]. Метою даної статті є розвиток теорії планування експериментів і застосування до конкретних практичних завдань.

При відновленні деталей за вихідні показники узяті міцність зчеплення  $\sigma_{зч}$  покриття зі зношеною поверхнею, зносостійкість і товщина покриття. Ці показники вибрані виходячи з таких міркувань. При будь-якому способі відновлення деталей (за основу взято наплавлення, газотермічне напилення і гальванічні методи нанесення покриттів), міцність зчеплення  $\epsilon$ , фактично, головним показником якості технологічного процесу. Даний показник безпосередньо впливає на надійність і безпеку експлуатації деталей і вузлів, тому цей показник повинен бути максимальним  $\sigma_{зч} \rightarrow \max$ . Зносостійкість є найважливішим експлуатаційним показником, оскільки головне завдання зрештою – підвищення ресурсу експлуатації, зниження вартості ремонту деталей, підвищення надійності. Тому цей показник також повинен прагнути до максимуму. Товщина покриття важлива з погляду точності нанесення відновлюючого покриття з урахуванням припусків на механічну (фінішну) обробку, що, у свою чергу, впливає на вартість відновлення деталей. Цей показник повинен розраховуватися перед процесом відновлення деталей, він не прагне ні до максимуму, ні до мінімуму, але при цьому необхідно товщину покриття визначити таким чином, щоб припуск на фінішну обробку був мінімальним, тобто можна сказати, що товщина покриття повинна бути можливо мінімальною.

Таким чином, приходимо до завдання, коли технологічний процес оцінюється за трьома по-

казниками. Розглядаючи теорію планування експерименту і не обмежуючи спільності розгляду, вважатимемо, що кожний із трьох показників необхідно отримати якомога меншим.

Позначимо через  $x$  вектор технологічних параметрів, а якість відновлення – через  $F_i(x)$ ,  $i = \overline{1,3}$ . У математичному плані переходимо до завдання векторної оптимізації

$$\begin{pmatrix} F_1(x) \\ F_2(x) \\ F_3(x) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (1)$$

за умови  $x \in X$ , де  $X$  – область допустимих значень параметрів технологічного процесу.

Необхідно відзначити, що функції  $F_i(x)$ ,  $i = \overline{1,3}$  невідомі, і їх значення при конкретному  $x$  можуть бути визначені тільки на підставі відповідного експерименту.

Перш за все, нагадаємо, що множина  $X_* \subseteq X$  є рішенням задачі векторної оптимізації (1), якщо будь-яка точка  $x_* \in X_*$  є ефективною і будь-які дві точки з  $X_*$  незрівняні між собою за Парето.

Значення множини  $X_*$  дозволяють в просторі функціоналів  $F_i(x)$  побудувати деяку поверхню, що відображає взаємозв'язок між цими трьома показниками.

Основна ідея планування експерименту за трьома показниками полягає в тому, що вибирається деяка початкова точка  $x(0) \in X$  і в околиці цієї точки за одним з відомих методів виконується експеримент. За наслідками цього експерименту апроксимуються функції  $F_i(x)$ ,  $i = \overline{1,3}$ .

Нехай  $\tilde{F}_i(x)$ ,  $i = \overline{1,3}$  є функціями апроксимацій, тоді для них розглядається задача:

$$\begin{pmatrix} \tilde{F}_1(x) \\ \tilde{F}_2(x) \\ \tilde{F}_3(x) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (2)$$

за умови  $x \in X$ .

Вирішивши цю задачу, отримуємо множину  $\tilde{X}_* \subseteq X$ , яка з певною точністю є наближенням множини  $X_*$ .

Виконаний в околиці точки  $x(0)$  експеримент дозволяє оцінити градієнти функцій  $F_i(x)$  в даній точці та отримати конус напрямів зменшення всіх трьох функцій.

Вибравши напрямок з даного конуса, обчислюємо наступну точку планування експерименту за формулою

$$x(1) = x(0) + g(0)t, \quad (3)$$

де  $\alpha_i > 0$ ,  $g_i$  – напрямки з конуса убунання, вершина якого знаходиться в точці  $x(0)$ ;

$t$  – крок.

Подібна процедура продовжується до тих пір, поки не буде виконано співвідношення:

$$\alpha_1 g_1 + \alpha_2 g_2 + \alpha_3 g_3 = 0, \quad (4)$$

де  $\alpha_i > 0$ ,  $g_i$  – градієнти, що оцінюються за наслідками експерименту.

Після того, як буде виконано співвідношення (4) по всіх точках даного процесу виконуємо побудову функцій  $\tilde{F}_i(x)$ , а потім вирішуємо задачу (2).

Щодо невідомих функцій  $F_i(x)$ ,  $i = \overline{1,3}$  припускаємо, що вони є квадратичними формами.

Дане припущення дозволяє визначати мінімальне число експериментів. Так, наприклад, якщо технологічний процес визначається двома параметрами  $x_1$  і  $x_2$ , то в загальному вигляді функції  $F_i(x)$  мають вигляд:

$$F(x_1, x_2) = a_{11}x_1^2 + 2a_{12}x_1x_2 + a_{22}x_2^2 + a_{10}x_1 + a_{02}x_2 + a_{00}.$$

Звідки витікає, що число експериментів повинне бути не меншого шести, щоб можна було визначити коефіцієнти  $a_{ij}$ ,  $i, j = 0, 1, 2$ .

У математичному експерименті приймаємо:

$$F_1(x_1, x_2) = (x_1 - 1)^2 + (x_2 - 2)^2 + 100;$$

$$F_2(x_1, x_2) = (x_1 - 3)^2 + (x_2 - 2)^2 + 200;$$

$$F_3(x_1, x_2) = (x_1 - 3)^2 + (x_2 - 4)^2 + 300.$$

Вибираємо в якості початкового центру експерименту точку

$$x(0) = [5, 7].$$

З кроком 0,5 будемо повний факторний план експерименту навколо вибраної точки і отримуємо наступні результати (табл. 1).

На підставі результатів даного експерименту обчислюємо градієнти функцій в точці  $x(0)$ .

$$g_1(x(0)) = \nabla F_1(x(0)) = (8; 10);$$

$$g_2(x(0)) = \nabla F_2(x(0)) = (4; 10);$$

$$g_3(x(0)) = \nabla F_3(x(0)) = (4; 6).$$

Таблиця 1

| № пор. | $x_1$ | $x_2$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1      | 5,5   | 7,5   | 150,5 | 236,5 | 318,5 |
| 2      | 5,5   | 6,5   | 140,5 | 226,5 | 312,5 |
| 3      | 4,5   | 6,5   | 132,5 | 222,5 | 308,5 |
| 4      | 4,5   | 7,5   | 142,5 | 232,5 | 314,5 |

На рис. 1 представлені дані вектора.

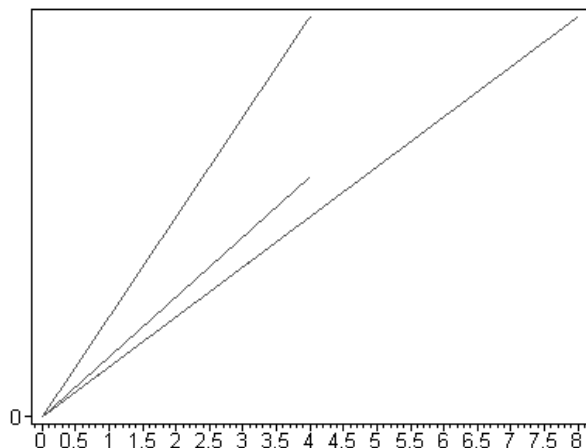


Рис. 1. Розташування градієнтів в початковій точці

Як впливає із значень градієнтів і рис. 1, градієнти  $g_1(x(0))$  і  $g_2(x(0))$  визначають конус убування всіх функцій  $F_1, F_2, F_3$ .

Вибираємо напрям  $g$  переходу в новий центр експерименту таким чином:

$$g = -(g_1(x(0)) + g_2(x(0))) / 2 = (-6; 10).$$

У даному напрямі з кроком 0,5 обчислюємо нову точку центру експерименту  $x(1)$ :

$$x(1) = x(0) + 0.5g = (2; 2).$$

В околиці точки  $x(1)$  виконуємо експеримент, і результати представляємо у вигляді табл. 2.

Таблиця 2

| № пор. | $x_1$ | $x_2$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1      | 2,5   | 2,5   | 102,5 | 200,5 | 302,5 |
| 2      | 2,5   | 1,5   | 102,5 | 200,5 | 306,5 |
| 3      | 1,5   | 1,5   | 100,5 | 202,5 | 308,5 |
| 4      | 1,5   | 2,5   | 100,5 | 202,5 | 304,5 |

Значення градієнта в точці  $x(1)$  за даними

табл. 2 дорівнюють

$$g_1(x(1)) = (2; 0);$$

$$g_2(x(1)) = (-2; 0);$$

$$g_3(x(1)) = (-2; -4).$$

На рис. 2 представлено взаємне розташування даних векторів.

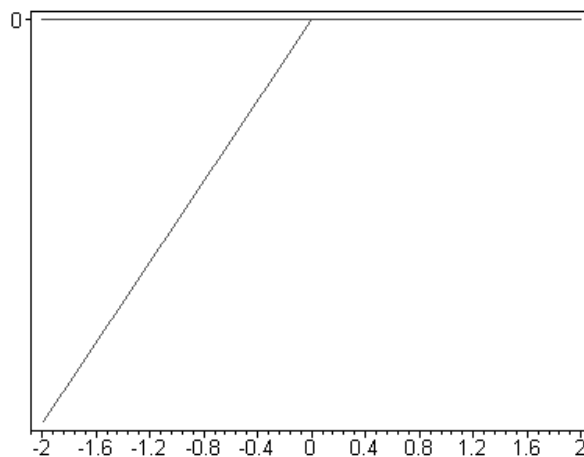


Рис. 2. Розташування градієнтів в наступній точці

За результатами експериментів виконаємо апроксимацію у вигляді квадратичних форм.

На рис. 3, 4, 5 дано графічне представлення результатів апроксимації, а над кожним з рисунків її аналітичний вигляд.

Використовуючи прийняті позначення результати апроксимації можна записати у вигляді

$$\tilde{F}_1 = 105 - 2x_1 - 4x_2 + x_1^2 + 4.6 \cdot 10^{-12} x_1 x_2 + x_2^2;$$

$$\tilde{F}_2 = 213 - 6x_1 - 4x_2 + x_1^2 + 7.25 \cdot 10^{-13} x_1 x_2 + x_2^2;$$

$$\tilde{F}_3 = 325 - 6x_1 - 8x_2 + x_1^2 + 6.6 \cdot 10^{-13} x_1 x_2 + x_2^2.$$

Як впливає з даного уявлення, доданками з добутком  $x_1, x_2$  можна знехтувати і для подальшого аналізу прийняти залежності

$$\tilde{F}_1 = 105 - 2x_1 - 4x_2 + x_1^2 + x_2^2;$$

$$\tilde{F}_2 = 105 - 2x_1 - 4x_2 + x_1^2 + x_2^2;$$

$$\tilde{F}_3 = 325 - 6x_1 - 8x_2 + x_1^2 + x_2^2.$$

По даних залежностях визначаємо межі області рішення задачі (2).

З рівняння

$$\nabla \tilde{F}_1 + \lambda \nabla \tilde{F}_2 = 0 \text{ за умови } \lambda \geq 0$$

отримуємо

$$\begin{pmatrix} -2 + 2x_1 \\ -4 + 2x_2 \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} -6 + 2x_1 \\ -4 + 2x_2 \end{pmatrix} = 0,$$

звідки визначаємо параметричне завдання межі

$$\begin{cases} x_1 = \frac{1 + 3\lambda}{1 + \lambda}; \\ x_2 = 2. \end{cases}$$

При  $\lambda = 0$  маємо  $x_1 = 1$ ,  $x_2 = 2$ , а при  $\lambda \rightarrow \infty$  отримуємо  $x_1 = 3$ ,  $x_2 = 2$ .

Таким чином, відрізок між цими точками складає частину межі множини рішення задачі (2).

Розглянувши рівняння

$$\nabla \tilde{F}_1 + \lambda \nabla \tilde{F}_3 = 0$$

і рівняння

$$\nabla \tilde{F}_2 + \lambda \nabla \tilde{F}_3 = 0,$$

знаходимо решту складових меж множини рішень задачі (2).

На рис. 6 представлено рішення задачі (2)

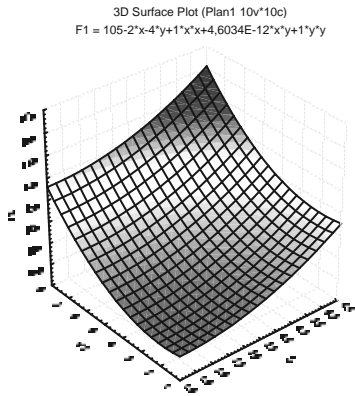


Рис. 3. Апроксимація  $F_1$

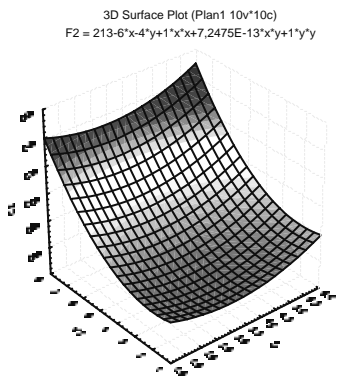


Рис. 4. Апроксимація  $F_2$

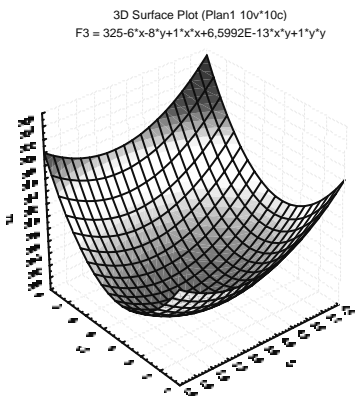


Рис. 5. Апроксимація  $F_3$

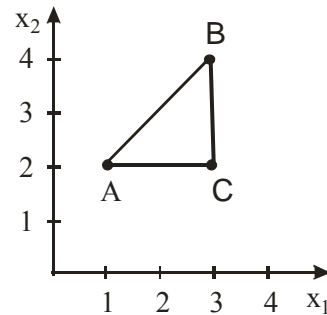


Рис. 6. Геометричне представлення рішення задачі (2)

Точки трикутника  $ABC$  є набором раціональних параметрів технологічного процесу. Таким чином, у статті побудовано область допустимих параметрів, з якої необхідно вибирати значення параметрів при реалізації технологічного процесу.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Рыжов, Э. В. Математические методы в технологических исследованиях. [Текст] / Э. В. Рыжов, О. А. Горленко. – К: Наук. думка, 1990. – 184 с.
2. Сулов, А. Г. Научные основы технологии машиностроения [Текст] / А. Г. Сулов, А. М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.

Надійшла до редколегії 24.12.2008.

А. Н. ГОРЯИНОВ, А. В. АЛПЕЕВА (Харьковская национальная академия городского хозяйства)

## РАБОТА ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЬНОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Вивчено існуючі методи оцінки роботи вантажного транспорту й розроблена модель функціонування вантажного транспорту в логістичній системі з урахуванням міського електричного транспорту.

Изучены существующие методы оценки работы грузового транспорта и разработана модель функционирования грузового транспорта в логистической системе с учетом городского электрического транспорта.

In the article the present evaluation methods of freight transport operation are studied and a model of functioning of freight transport in the city logistic system is developed taking into account the urban electrical transport.

### Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями

На сегодняшний день грузовой автомобильный транспорт оказывает непосредственное влияние на развитие всех отраслей народного хозяйства, практически он выполняет все виды местных перевозок грузов на небольшие расстояния, а также значительную часть технологических и внутрипромышленных перевозок [1]. В то же время автомобильный транспорт является не единственным транспортом, который может осуществлять грузовые перевозки в городе.

Поэтому управление и организация работы грузового транспорта является одной из главных задач при формировании городских логистических систем. Исходя из вышесказанного, целесообразным является рассмотреть основные методы и модели оценки эффективности работы грузового транспорта в логистических системах.

### Анализ последних исследований и публикаций

Существующие подходы к организации перевозок грузов в городах связано в большинстве случаев непосредственно с организацией работы грузового автомобильного транспорта [2 – 3]. При этом за рамками исследования остаются вопросы, связанные с организацией работы электрического транспорта для перевозки груза и взаимодействие автомобильного транспорта с городским электрическим транспортом в одной логистической системе.

### Формулировка целей

Целью данной работы является анализ существующих моделей оценки работы грузового транспорта и разработка модели функционирования грузового транспорта в логистической системе с учетом городского электрического транспорта.

### Основной материал

Анализ литературы позволил выделить [3 – 4] ряд показателей, которые оценивают работу грузового автомобильного транспорта – рис. 1.

Проведенные исследования показали, что г. Харьков имеет разветвленную сеть трамвайных и троллейбусных маршрутов. Протяженность трамвайных путей составляет 236,6 км, а протяженность троллейбусных линий – 478,2 км [5]. В городе имеется участок трамвайного пути и спецчастей по ул. Чеботарской и подъездных путей ст. «Харьков-Товарная», который предназначен только для движения грузовых вагонов. Исходя из этого, «ХКП «Горэлектротранс» имеет возможность обеспечивать предприятие транспортными услугами по подаче на подъездные пути предприятий и в обратном направлении на железнодорожную станцию загруженных и пустых железнодорожных вагонов. Маневровые работы предприятий выполняются с помощью электровозов «ХКП «Горэлектротранс» (рис. 2).

«ХКП «Горэлектротранс» обеспечивает прохождение железнодорожных вагонов, которые прибывают к обслуживаемому предприятию логистической системы, по подъездным железнодорожным и трамвайным колеям, об-

служивает и ремонтирует путевое хозяйство и контактную сеть. Обслуживаемое предприятие, в свою очередь, оплачивает оказанные услуги.

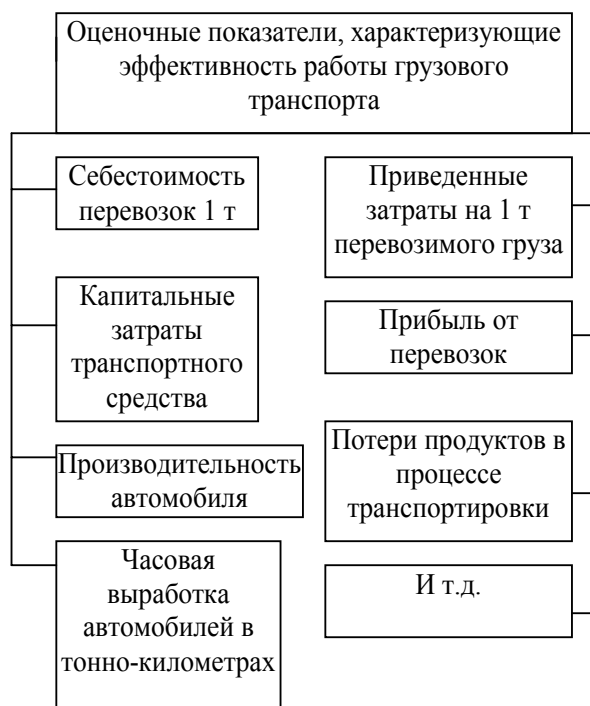


Рис. 1. Схема показателей, характеризующих эффективность работы грузового транспорта



Рис. 2. Электровоз Э-3 с двумя товарными вагонами на улице Чеботарская [6]

Анализ работы электровозов по одному из договоров с предприятием позволяет получить следующую картину использования грузовых трамвайных вагонов для перевозки грузов – рис. 3.

Использование электрического транспорта рассматривается и за рубежом. Успешный опыт применения электрического транспорта для грузовых перевозок отмечает немецкая компания VOLKSWAGEN AG, которая использует грузовой трамвай при доставке деталей из ло-

гистического центра на завод изготовления автомобилей. А венская компания TINA VIENNA назвала проект по грузовым перевозкам с помощью трамвая «новейшей городской системой логистики» [7].

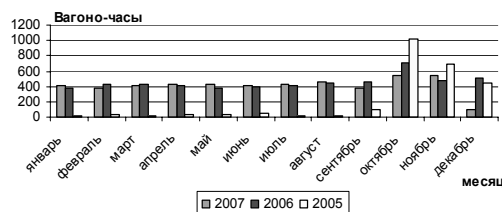


Рис. 3. Вагоно-часы работы электровоза Э-3 за период 2005-2007 гг.

Этими странами круг использования электрического транспорта не ограничивается. Так, возможность использования «новейшей городской системы логистики» рассматривается в Испании, Бельгии, Франции, Италии, Финляндии и т.д. Предложенные мероприятия, связанные с организацией грузовых перевозок, в этих городах, помимо критериев эффективности, оцениваются и отношением участников логистической системы (грузоотправитель, грузополучатель, транспортное предприятие), ответственности, городской власти [8]. Проанализировав результаты исследования [8], можно сделать вывод, что одним из эффективных мероприятий является не только перевозка груза электрическим транспортом, а и функционирование муниципального распределительного центра.

Несмотря на столь успешное применение электрического транспорта для перевозок груза, поиск в литературных источниках показателей, характеризующих работу грузового электрического транспорта, не дал результата. И, следовательно, на сегодняшний момент отсутствует модель функционирования логистической системы с учетом работы городского электрического транспорта (трамвай, троллейбус).

Для учета параметров городского электрического транспорта при формировании городских логистических систем предлагается следующая модель:

$$Z_{лс}^{рц} = Z_{лс1}^{рц} + Z_{лс2}^{рц} + \dots + Z_{лсz}^{рц} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $Z_{лс}^{рц}$  – затраты логистических систем города;  $Z_{лс1}^{рц}, Z_{лс2}^{рц}, \dots, Z_{лсz}^{рц}$  – затраты отдельных групп логистических систем города (группы могут выделяться на основании).

Затраты групп логистических систем можно определить следующим образом:

$$Z_{лсz}^{рц} = \sum_{n=1}^L Z_{лсn_z} + \sum_{i=1}^P Z_{i_z}^{рц}, \quad (2)$$

где  $Z_{i_z}^{рц}$  – затраты  $i$ -го логистического распределительного центра, который обслуживает  $L$ -ое количество логистических систем  $z$ -ой группы;  $Z_{лсn_z}$  – затраты  $n$ -ой логистической системы, которая входит в  $z$ -ую группу, обслуживаемую специальным логистическим распределительным центром;  $L$  – общее количество логистических систем, которые входят в  $z$ -ую группу, обслуживаемую специальным логистическим распределительным центром;  $P$  – общее количество логистических распределительных центров, которые обслуживают  $L$ -ое количество логистических систем  $z$ -ой группы;

Затраты  $n$ -ой логистической системы, которая входит в  $z$ -ую группу, обслуживаемую специальным логистическим распределительным центром, определяются следующим образом

$$Z_{лсn_z} = \sum_{m=1}^F Z_{m_{n_z}}^{отпр} + \sum_{m=1}^D Z_{m_{n_z}}^{тр} + \sum_{m=1}^C Z_{m_{n_z}}^{получ}, \quad (3)$$

где  $Z_{m_{n_z}}^{отпр}$  – затраты  $m$ -ого отправителя в  $n$ -ой логистической системе, которая входит в  $z$ -ую группу, обслуживаемую специальным логистическим распределительным центром;  $Z_{m_{n_z}}^{тр}$  – затраты  $m$ -ого транспортного предприятия в  $n$ -ой логистической системе, которая входит в  $z$ -ую группу, обслуживаемую специальным логистическим распределительным центром;  $Z_{m_{n_z}}^{получ}$  – затраты  $m$ -ого получателя в  $n$ -ой логистической системе, которая входит в  $z$ -ую группу, обслуживаемую специальным логистическим распределительным центром;  $F$  – общее число отправителей в  $n$ -ой логистической системе, которая входит в  $z$ -ую группу, обслуживаемую специальным логистическим распределительным центром;  $C$  – общее число получателей в  $n$ -ой логистической системе, которая входит в  $z$ -ую группу, обслуживаемую специальным логистическим распределительным центром.

Ввиду того, что объектом исследования является исследование движения грузового транспорта, далее выделим все затраты транспорта как единую функцию:

$$Z_{тр}^{гор} = \sum_{z=1}^S \sum_{n=1}^L \sum_{m=1}^D Z_{m_{n_z}}^{тр} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $S$  – общее количество групп, в которые входит  $L$ -ое количество логистических систем, обслуживаемые специальным логистическим распределительным центром  $z \in \overline{1; S}$ ;  $L$  – общее количество логистических систем, которые входят в  $z$ -ую группу, обслуживаемую специальным логистическим распределительным центром  $n \in \overline{1; L}$ ;  $D$  – общее число транспортных предприятий в  $n$ -ой логистической системе, которая входит в  $z$ -ую группу, обслуживаемую специальным логистическим распределительным центром  $m \in \overline{1; D}$ ;  $Z_{m_{n_z}}^{тр}$  – затраты  $m$ -ого транспортного предприятия в  $n$ -ой логистической системе, которая входит в  $z$ -ую группу, обслуживаемую специальным логистическим распределительным центром.

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

Проведенные исследования позволили определить достаточно серьезный потенциал развития города как транспортно-логистического комплекса. В дальнейших исследованиях необходимо определить влияние определенных групп факторов на функционирование логистической системы с учетом работы городского электрического транспорта.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Организация и планирование грузовых автомобильных перевозок [Текст] / под ред. Л. А. Александрова. – М.: Высш. шк., 1986. – 336 с.
2. Вельможин, А. В. Измерение эффективности автоперевозок [Текст] / А. В. Вельможин. – Волгоград: Нижне-Волж. кн. изд-во, 1985. – 144 с.
3. Воркут, А. И. Грузовые автомобильные перевозки [Текст] / Воркут А. И. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк., 1986. – 447 с.
4. Неруш, Ю. М. Логистика [Текст] / Ю. М. Неруш. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 389 с.
5. Сайт агентства новостей «Медиа-объектив» [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://Media-objectiv.com>
6. Сайт авторской группы проекта «Харьков транспортный» [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://gortransport.kharkov.ua>
7. Light ideas for urban freight [Текст] // International Railway Journal. – 2007. – vol. 47, issue 6 (November). – P. 35-36.
8. City freight. Inter- and intra- city freight distribution networks. Final report. 2005 [Текст]. – 239 p.

Поступила в редколлегию 28.03.2008.

А. Н. ГОРЯИНОВ, Ю. В. БУГАЕВ (Харьковская национальная академия городского хозяйства)

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДЕ

У статті розглядаються питання, пов'язані з організацією дорожнього руху вантажного транспорту в логістичній системі міста. Метою роботи є розгляд основних проблем, що стосуються дорожнього руху в місті.

Статья изучает вопросы, связанные с организацией дорожного движения грузового транспорта в логистической системе города. Целью работы является рассмотрение основных проблем, касающихся дорожного движения в городе.

The paper is dealt with the issues related to the organization of traffic of truck transport in logistic system of a city. The purpose of paper is consideration of the basic problems concerning the city traffic.

### **Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями**

Автотранспорт, осуществляющий перевозки грузов для производственных предприятий разных отраслей, входит в состав системы товародвижения, которая понимается как логистическая система. Следуя логистическому подходу и развивая хозяйственные связи, предприятия при обслуживании заказчиков конкурируют друг с другом в сфере повышения качества доставки продукции с наименьшими затратами [1].

Транспортное движение можно отнести к основным видам деятельности человека, которое имеет исключительное значение для развития общества. Транспорт можно в основном характеризовать как организованную и специальным образом реализованную деятельность, которая служит для перемещения людей или грузов с одного места (источник – отправная точка пути) на другое, которое является целью пути [2].

Следовательно, актуальным является вопрос организации дорожного движения с точки зрения повышения эффективности работы транспорта в сложных системах, в том числе логистических системах города.

### **Анализ последних исследований и публикаций**

В общей проблеме повышения экономичности, безопасности и удобства перевозок на автомобильном транспорте особое место занимает организация дорожного движения (ОДД). Методы и средства ОДД оказывают непосредственное влияние на формирование транспорт-

ных потоков, режимы и безопасность их движения [2].

В целом провозные способности автотранспорта в полной мере должны отвечать нуждам населения и оказывать содействие развитию экономики страны. Общественно-экономические изменения, которые происходят в народном хозяйстве Украины, сказываются и на автомобильном транспорте [3].

Анализ литературных источников по организации дорожного движения грузового транспорта в городе позволил сделать вывод, что данному вопросу уделяется недостаточно внимания. В основном организация дорожного движения в качестве объекта рассматривает транспортные потоки без выделения грузового транспорта как подсистемы в рамках логистической системы.

Поэтому целесообразным является исследование грузового автомобильного транспорта с учетом особенностей обслуживания участников логистической системы.

### **Формулировка целей**

Целью данной работы является определение современного состояния организации дорожного движения грузового транспорта в логистической системе города.

### **Основной материал**

Основные положения относительно решения проблемы повышения эффективности государственного регулирования транспортного обеспечения внешнеэкономической деятельности в полном объеме реализованы в Законе Украины «Об автомобильном транспорте». Дан-

ный закон определяет основы организации и эксплуатации автомобильного транспорта [4].

По результатам исследования установлено, что основной задачей государственного регулирования деятельности автомобильного транспорта есть формирование рынка услуг путем реализации единой экономической, инвестиционной, научно-технической и социальной политик [5].

На основании [5] можно составить следующую схему – рис. 1.



Рис. 1. Схема функций государственного регулирования деятельности автомобильного транспорта

Согласно [6], технологию любого процесса перевозки грузов характеризуют три принципа – рис. 2.

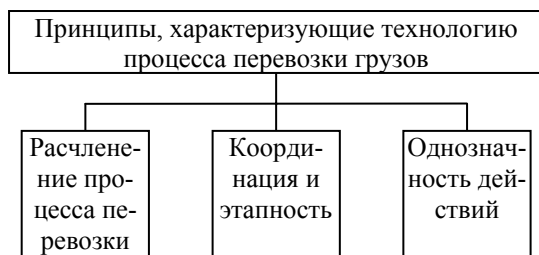


Рис. 2. Схема принципов, которые характеризуют технологию процесса перевозки грузов

Цель разбиения процесса перевозки грузов на этапы заключается в определении границ внутрисистемных требований к субъекту, который будет работать по данной технологии. Любая операция должна обеспечивать приближение объекта управления к поставленной цели и обеспечивать переход одной операции в другую. Последняя операция этапа должна быть своеобразным введением к первой операции следующего этапа. При этом технология должна представлять единую систему оптимизированных связей между технологиями всех эта-

пов. Чем точнее описание процесса перевозки грузов будет отвечать его объективной логике, тем большая вероятность достижения высочайшего эффекта деятельности людей, занятых в нем.

Разрабатываемые технологии должны учитывать требования основных экономических законов и, в первую очередь, закона повышения производительности общественной работы. Координация и поэтапность действий, направленных к достижению поставленной конкретной цели, должны базироваться на внутренней логике функционирования и развития определенного перевозочного процесса. Технология не создается «на пустом месте», а имеет связь с технологией прошлого и будущего. Технология, действующая сегодня, должна базироваться на принципах, которые позволяли бы легко переделывать ее в технологию будущего [6]. Рассматривая дорожные аспекты работы грузового транспорта, в качестве этапов можно выделить движение по магистралям, движение по второстепенной дороге, движение через сложные перекрестки, движение на подъездах к участку логистической системы.

Каждая технология должна предусматривать однозначность выполнения включенных в нее этапов и операций. Отклонение выполнения одной операции отражается на всей технологической цепочке. Чем значительнее отклонения параметров от запроектированных технологией, тем больше опасность нарушить весь процесс перевозки груза и получить результат, не соответствующий проекту [6]. К примеру, изменение характеристик транспортных потоков приводит к изменению времени выполнения операции запланированного транспортного процесса в работе грузового транспорта.

Проблема рационализации материальных потоков в транспортно-логистических системах стоит перед руководством всех больших городов. Современные методы научных исследований, методы выявления узлов генерации и поглощения потоков, специфика формирования потоков в районах дислокации мест приложения работы, активное подключение математического аппарата, возможность моделирования территориально-пространственных процессов – все это позволит существенным образом обогатить сформированную практику проектирования и прогнозирования транспортного каркаса, прибавить этому процессу системный характер [6]. При использовании указанных методов целесообразным является учет дорожных факторов, которые являются неотъемлемой частью

при обслуживании материальных потоков в логистических системах города.

Опыт исследования и решение проблем гармонизации транспортных систем, проведенный в разных странах, показывает, что существует большая группа общих проблем, с которой приходится сталкиваться исследователям [7].

Руководствуясь материалом [7], можно составить следующую схему основных проблем ОДД – рис.3. В этой схеме предложено разделить существующие проблемы на две группы: технические и технологические, информационные и финансовые.

К рассмотренной [7] совокупности проблем предложено сформулировать как проблему определение развития коммерческого транспорта.

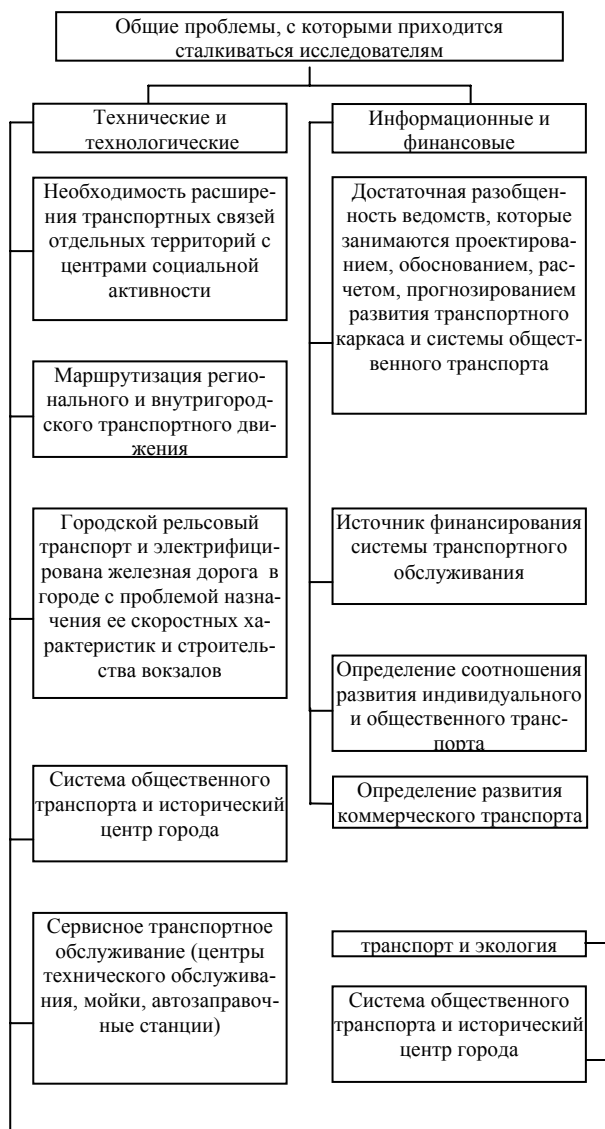


Рис. 3. Схема основных проблем встречающихся при исследовании ОДД

## Выводы и перспективы дальнейших исследований

Организация дорожного движения грузового транспорта при обслуживании логистических систем является актуальной. Вследствие роста интенсивности дорожного движения проблема своевременной транспортировки груза в логистической системе города будет все острее. Это подтверждается бурным развитием логистики и недостатком научного и практического материала об учете дорожных факторов при планировании работы грузового транспорта.

В работе сформулированы основные проблемы, которые касаются дорожного движения в городе и выделена проблема организации дорожного движения коммерческого транспорта.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бычков, В. П. Экономика автотранспортного предприятия [Текст] / В. П. Бычков. – ИНФРА-М, 2006. – 384 с.
2. Системологія на транспорті [Текст] / за заг. ред. М. Ф. Дмитриченка. – К.: Знання України, 2005. – 450 с.
3. Коваленко, В. М. Вантажні автомобільні перевезення [Текст] / В. М. Коваленко, В. К. Щуріхін, Н. Б. Машика. – К.: Літера ЛТД, 2006. – 304 с.
4. Збірник законодавчих та нормативних документів, що регламентують діяльність підприємств автомобільного транспорту всіх форм власності [Текст]. – Вип. 3. – К.: ТОВ Вид-во «Київська книжкова фабрика», 2003. – 608 с.
5. Ткаченко, А. Державне регулювання діяльності в галузі транспорту [Текст] / А. Ткаченко // Вісник Національної академії державного управління при Президенті України. – 2004. – № 2. – С. 271-276.
6. Грузовые автомобильные перевозки [Текст] / А. В. Вельможин и др. – М: Горячая линия - Телеком, 2006. – 560 с.
7. Зырянов, В. В. Транспортные задачи при реализации проекта «Сити – Логистика» [Текст] / В. В. Зырянов, Н. В. Кочерга // Материалы межд. науч.-практ. конф. «Прогресс транспортных средств и систем – 2005». – В 2-х ч. / Волгоград. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2005. – С. 21-22.

Поступила в редколлегию 09.07.2008.

А. Н. ГОРЯИНОВ, М. В. ОЛЬХОВА (Харьковская национальная академия городского хозяйства)

## ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Представлено підходи до формування транспортного обслуговування з позицій різних авторів. Розглянуто формування технології транспортного обслуговування логістичної системи.

Представлены подходы к формированию транспортного обслуживания с позиций различных авторов. Рассмотрено формирование технологии транспортного обслуживания логистической системы.

In the paper approaches to formation of transportation service are presented from positions of various authors. The formation of transportation service technology of logistical system is considered.

### Введение

Обеспечение каналов снабжения сырьем, полуфабрикатами и распределение готовой продукции в рамках логистической системы требует решения комплекса транспортных проблем. Предприятию, фирме, концерну при реализации каналов распределения готовой продукции приходится решать вопросы, связанные с доставкой, т.е. выбирать вид транспорта, методы организации перевозок, тип транспортных средств и т.д. – иными словами, решать вопросы транспортного обслуживания [1].

Рост числа торговых, транспортных, экспедиторских, складских и других предприятий-подрядчиков служит причиной повышения уровня сложности взаимодействия, как между перечисленными предприятиями, так и между производителями и потребителями продукции. Это требует разработки новых форм и методов управления, организации, координации, обеспечения транспортного обслуживания потребителей транспортных услуг.

### Анализ последних публикаций

Анализ последних достижений и публикаций [1 – 6] позволил сформировать подходы к транспортному обслуживанию, представленные на рис. 1. Вопросы транспортных технологий рассматривали [1 – 6, 11], при этом основное внимание авторов [2 – 4] уделено вопросам организации и оперативного управления транспортными процессами.

Различные авторы, рассматривая вопросы транспортных технологий, применяют такие понятия, как перевозка грузов (грузовые перевозки) [2 – 4], система доставки грузов [3, 4],

транспортровка [4], транспортная услуга [2, 3]. Перечисленные понятия неразрывно связаны с понятием транспортного обслуживания, рассмотренного в [1, 2, 5, 6]. Вопросы влияния отдельных технико-эксплуатационных показателей работы автотранспорта на эффективность ЛС рассмотрены в [10].

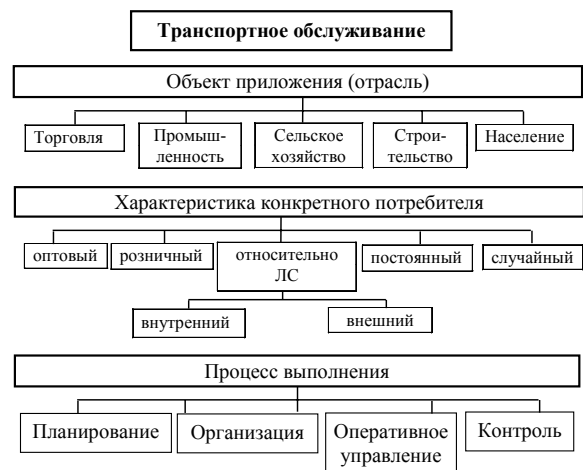


Рис. 1. Существующие подходы к транспортному обслуживанию

Резюмируя проведенный анализ литературы, необходимо отметить, что нет терминологически закрепленного понятия, и каждый автор применяет то понятие, которое он считает необходимым. Поэтому существует некая неоднозначность в терминологии. Одной из причин этому, на наш взгляд, является влияние логистики на транспорт. Вопросы формирования технологии транспортного обслуживания логистической системы остаются не до конца рассмотренными.

## Цель и постановка задачи

Целью данной работы является рассмотрение вопроса формирования технологии транспортного обслуживания с учетом особенностей функционирования ЛС.

## Результаты исследований

Транспорт – обслуживающая отрасль [7], а обслуживание – работа по удовлетворению нужд и потребностей [8], тогда соответственно наиболее полным понятием в ЛС относительно транспорта будет транспортное обслуживание ЛС.

В данном исследовании более подробно остановимся на существующих определениях транспортного обслуживания. Транспортное обслуживание – деятельность, связанная с перемещением груза в пространстве и во времени, которая направлена на осуществление доставки груза и выполнение погрузочно-разгрузочных работ на всем протяжении перевозки от грузоотправителя до грузополучателя [5]. Транспортное обслуживание – деятельность, связанная с процессом перемещения грузов и пассажиров в пространстве и во времени и предоставления сопутствующих этой деятельности транспортных услуг, которые включают: выбор соответствующей упаковки согласно физическим свойствам товара (груза); нанесение на упаковку маркировки, штрих-кодов и спецобозначений; использование унифицированной транспортной тары, формирование грузовых единиц, пакетирование и контейнеризацию; выбор оптимального (рационального, приемлемого) вида перевозки и транспортных средств; наиболее полное использование грузоподъемности транспортных средств посредством правильной загрузки; соблюдение технологий при ведении погрузочно-разгрузочных работ; использование современных технологий и подходов к организации размещения, учета товаров и запасов на складах и терминалах; применение современных информационных технологий и компьютерной поддержки [1]. Транспортное обслуживание – ряд деятельностей, основными из которых являются разработка схемы транспортировки, выбор перевозчика и согласование ставок оплаты, оперативное управление перевозками, осуществление перевозки, выполнение расчетов и контроль доставки [11].

Как видно, предлагаемые различными авторами определения «транспортного обслуживания» расходятся. Для детального анализа предложена формализация транспортного обслужи-

вания по затратам с позиций рассмотренных авторов. Так, по определению Схановой С. Э., затраты на транспортное обслуживание составляют:

$$Z_{\text{тр}}^{\text{обсл}} = Z_{\text{трк}} + Z_{\text{ПРР}}, \quad (1)$$

где  $Z_{\text{тр}}^{\text{обсл}}$  – затраты на транспортное обслуживание, у.е.;

$Z_{\text{трк}}$  – затраты на осуществление транспортировки, у.е.;

$Z_{\text{ПРР}}$  – затраты на осуществление погрузочно-разгрузочных работ, у.е.

Приведенное определение в [1] относится к клиенту (фирма, предприятие и т.д.). Формализуя его, получаем:

$$Z_{\text{тр}}^{\text{обсл}} = Z_{\text{упак}} + Z_{\text{марк}} + Z_{\text{тара}} + Z_{\text{вид ТС}} + \\ + Z_{\text{укомпл ТС}} + Z_{\text{перем}} + Z_{\text{ПРР}} + Z_{\text{скл.оп}} + Z_{\text{ИТ}}, \quad (2)$$

где  $Z_{\text{упак}}$  – затраты, связанные с выбором упаковки согласно физическим свойствам товара, у.е.;

$Z_{\text{марк}}$  – затраты, связанные с нанесением на упаковку маркировки, штрих-кодов и обозначений, у.е.;

$Z_{\text{тара}}$  – затраты, связанные с использованием унифицированной транспортной тары, с формированием грузовой единицы, пакетированием, контейнеризацией, у.е.;

$Z_{\text{вид ТС}}$  – затраты, связанные с выбором вида транспортного средства, у.е.;

$Z_{\text{укомпл ТС}}$  – затраты, связанные с укомплектованием транспортного средства, у.е.;

$Z_{\text{перем}}$  – затраты, связанные с перемещением груза, у.е.;

$Z_{\text{ПРР}}$  – затраты на осуществление погрузочно-разгрузочных работ, у.е.;

$Z_{\text{скл.оп}}$  – затраты на складские операции (использование современных технологий и подходов к организации размещения запасов на складах и терминалах), у.е.;

$Z_{\text{ИТ}}$  – затраты, связанные с применением современных информационных технологий, у.е.

Третья формулировка применена к цепи поставок. Математический вид будет следующий:

$$Z_{\text{тр}}^{\text{обсл}} = Z_{\text{схем}} + Z_{\text{П}} + Z_{\text{упр}}^{\text{опер}} + Z_{\text{пер}} + Z_{\text{расч}}, \quad (3)$$

где  $Z_{\text{схем}}$  – затраты, связанные с разработкой схемы транспортировки, у.е.;

$Z_{\text{п}}$  – затраты, связанные с выбором перевозчика и согласования ставок оплаты, у.е.;

$Z_{\text{упр}}^{\text{опер}}$  – затраты на оперативное управление перевозками и контроль доставки, у.е.;

$Z_{\text{пер}}$  – затраты на осуществление перевозки, у.е.;

$Z_{\text{расч}}$  – затраты, связанные с выполнением расчетов на транспортное обслуживание, у.е.

Проанализировав данные определения с точки зрения затрат, необходимо обратить внимание на разный подход авторов к транспортному обслуживанию. Эту неоднозначность позиций можно объяснить следующим образом. ЛС может быть субъектом или объектом приложения транспортного обслуживания. Потребитель транспортных услуг относительно ЛС может быть внешний или внутренний (см. рис. 1). То есть, взаимосвязь субъекта и объекта является важной при формировании технологии транспортного обслуживания. К сожалению, в рассмотренных источниках нет однозначности в распределении перечисленных операций относительно субъекта и объекта. Представленные в литературе вопросы транспортного обслуживания относятся к некоторым формам логистических систем, рассмотренных в [12].

Далее представим транспортное обслуживание со стороны временного фактора. На рис. 2 – 4 изображены схемы транспортного обслуживания с точки зрения затрат времени на каждую операцию.

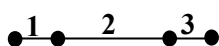


Рис. 2. Схема выполнения операций транспортного обслуживания во времени, на основании [5]:

- 1 – время, затрачиваемое на погрузочные работы;
- 2 – время на перемещение;
- 3 – время, затрачиваемое на разгрузочные работы

На схемах (рис. 3, 4) представлен один из возможных вариантов выполнения операций транспортного обслуживания. Отличия вышеперечисленных определений транспортного обслуживания можно объяснить тем, что рассматриваются различные объекты. Наиболее простой вид представлен в [5] – рис. 2. На рис. 3 представлен наиболее широкий круг операций при транспортном обслуживании, потому что автор [1] рассматривает логистическую систему, в [11] транспортное обслуживание – относительно цепи поставок (рис. 4). Однако, называя логистическую систему потреби-

телем транспортных услуг, имеется в виду отдельное предприятие, фирма, грузополучатель. В качестве недостатков предложенных определений необходимо отметить, что отсутствует конкретизация перевозочного процесса, т.е. технологические особенности работы транспорта при обеспечении транспортного обслуживания не рассмотрены.

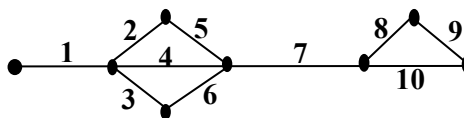


Рис. 3. Схема выполнения операций транспортного обслуживания во времени, на основании [1]:

- 1 – время, затрачиваемое на выбор соответствующей упаковки согласно физическим свойствам товара (груза);
- 2 – время, затрачиваемое на нанесение на упаковку маркировки, штрих-кодов и спецобозначений;
- 3 – время, затрачиваемое на формирование грузовых единиц, пакетирование и контейнеризацию, использование унифицированной транспортной тары;
- 4 – время, затрачиваемое на выбор оптимального вида перевозки и транспортных средств;
- 5 – наиболее полное использование грузоподъемности транспортных средств посредством правильной загрузки;
- 6 – время, затрачиваемое на погрузочные работы;
- 7 – время на перемещение;
- 8 – время, затрачиваемое на разгрузочные работы;
- 9 – время на использование современных технологий и подходов к организации размещения, учета товаров и запасов на складах и терминалах;
- 10 – время на применение современных информационных технологий и компьютерной поддержки

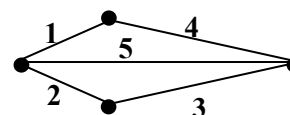


Рис. 4. Схема выполнения операций транспортного обслуживания во времени, на основании [11]:

- 1 – время, затрачиваемое на разработку схемы транспортировки;
- 2 – время, затрачиваемое на выбор перевозчика;
- 3 – время на осуществление перевозки;
- 4 – время на оперативное управление;
- 5 – время на выполнение расчетов и контроль

Таким образом, полагаясь на цель данной работы, предлагается рассмотреть понятие технологии и особенности функционирования ЛС. В данном случае, рассматривая вопросы технологии, под логистической системой понимается совокупность предприятий, нуждающихся в транспортном обслуживании. В такой ситуации транспортное предприятие сталкивается с проблемой выбора приоритета предоставления транспортного обслуживания той или иной подсистеме (предприятию). Поэтому важной является технология транспортного обслуживания. На основании целесообразности той или

иной технологии применительно к конкретной подсистеме ЛС и необходимо определять приоритетность обслуживания. В зависимости от приоритетов транспортного предприятия, на основании этих технологий, используя различные комбинации рассмотренных операций, формируется технология транспортного обслуживания ЛС.

Технология (*греч.* «искусство», «мастерство») – совокупность методов обработки, изготовления материалов (полуфабрикатов) в процессе производства продукции [9]; совокупность приемов, применяемых в каком-либо мастерстве [7]. Продукцией транспортного предприятия является услуга, следовательно, технология транспортного обслуживания – совокупность методов, приемов, способов предоставления транспортных услуг. В [9] представлена технология процесса перевозки груза. На основании этого источника предлагается определить технологию процесса транспортного обслуживания ЛС как способ реализации предприятием транспортных услуг, перевозочного процесса путем расчленения его на систему последовательных, взаимосвязанных этапов и операций, целью которых является достижение эффективности транспортного предприятия. Задача технологии – сократить продолжительность и трудоемкость перевозки груза за счет уменьшения числа выполняемых операций и этапов процесса перевозки [9]. Однако если учитывать особенности ЛС [2, 3, 12] и транспортного обслуживания (которое состоит не только из перевозки груза), то данную задачу необходимо уточнить. Задачей технологий также является сокращение затрат на транспортное обслуживание, поэтому ранее была приведена формализация транспортного обслуживания по затратам и схемы длительности операций во времени.

### Выводы

Вопрос формирования технологии транспортного обслуживания является одним из главных для транспортного предприятия. На основании целесообразности той или иной технологии применительно к конкретной подсистеме ЛС необходимо определять приоритетность обслуживания. В зависимости от приоритетов транспортного предприятия, на основании этих технологий могут использоваться различные комбинации рассмотренных операций и формироваться технология транспортного обслуживания ЛС.

Представленные в литературе вопросы транспортного обслуживания относятся к некоторым формам логистических систем и не учитывают технологические особенности работы транспорта при транспортном обслуживании. Целесообразным является исследование данного вопроса для других форм и классов систем.

С учетом развития производственных отношений и логистики, в том числе вопросов технологии транспортного обслуживания, касающихся ЛС, является целесообразным исследовать в дальнейшем и определить стратегии поведения транспортных предприятий в тех или иных условиях функционирования города.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Транспортная логистика [Текст] / под общ. ред. Л. Б. Миротина. – М.: Изд-во «ЭКЗАМЕН», 2002. – 512 с.
2. Воркут, Т. А. Проектирование систем транспортного обслуживания в ланцюгах поставок [Текст]: монографія / Т. А. Воркут. – К.: НТУ, 2002. – 248 с.
3. Курганов, В. М. Логистика. Управление автомобильными перевозками. Практический опыт [Текст] / В. М. Курганов. – М.: Книжный мир, 2007. – 448 с.
4. Логистика: управление в грузовых транспортно-логистических системах [Текст] / под ред. Л. Б. Миротина. – М.: Юристъ, 2002. – 414 с.
5. Сханова, С. Э. Транспортно-экспедиционное обслуживание [Текст] / С. Э. Сханова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 432 с.
6. Транспортное обслуживание торгово-оптовых баз [Текст] / А. И. Воркут и др. – К.: Техніка, 1985. – 112 с.
7. Толковый словарь русского языка под редакцией Т. Ф. Ефремовой [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [www.slovoedia.com](http://www.slovoedia.com)
8. Большой бухгалтерский словарь [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [www.slovoedia.com](http://www.slovoedia.com)
9. Грузовые автомобильные перевозки [Текст] / А. В. Вельможин и др. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 506 с.
10. Горяинов, А. Н. Влияние технико-эксплуатационных показателей на эффективность логистической системы [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / А. Н. Горяинов. – К., 2004. – 17 с.
11. Воркут, Т. А. Системний аналіз організації транспортного обслуговування в ланцюгах поставок [Текст] / Т. А. Воркут // Вісник: Наук.-техн. зб. № 8. – К.: НТУ, 2000. – С. 45-49.
12. Крикавський, Є. В. Логістика. Основи теорії [Текст] / Є. В. Крикавський. – Львів: Інтелект-Захід, 2006. – 456 с.

Поступила в редколлегию 31.03.2008.

А. Н. ГОРЯИНОВ, Т. Ф. ФЕДОРОВА (Харьковская национальная академия городского хозяйства)

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК И ТИПОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ МЕЖДУГОРОДНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ ГРУЗОВ

Запропонована регресійна модель визначення вартості технічного обслуговування в залежності від техніко-економічних та техніко-експлуатаційних параметрів транспортних засобів при міжміських вантажних перевезеннях.

Предложена регрессионная модель определения стоимости технического обслуживания в зависимости от технико-экономических и технико-эксплуатационных параметров транспортных средств при междугородных перевозках грузов.

A regression model of determination of maintenance cost in dependence on technical-economic and technical-operational parameters of vehicles in interurban freight transportations is suggested.

### Введение

Рационализация работы в сфере транспортного обслуживания производства и потребления содержит в себе резервы снижения себестоимости продукции и услуг, увеличения прибыли и повышения конкурентоспособности предприятий транспорта [1]. В условиях современных требований к рынку транспортных услуг использование различных марок и типов транспортных средств при междугородных перевозках грузов (МПП) в логистической системе обуславливается удовлетворением спроса на перевозку с наименьшими затратами. Следовательно, требует пересмотра учет эксплуатационных затрат поставщика транспортной услуги в зависимости от технико-эксплуатационных и технико-экономических параметров самого транспортного средства (ТС).

### Анализ последних достижений и публикаций

Анализ литературных источников [2 – 4] позволил выделить ряд формализованных способов определения затрат на техническое обслуживание и ремонт ТС. Среди положительных моментов можно отметить учет с помощью коэффициентов в математических моделях влияния срока эксплуатации ТС [4] и марки (производителя) [2] на затраты на техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р) автомобилей. Среди недостатков следует подчеркнуть следующее: авторы в [4, 5] используют данные, где коэффициенты инфляции значительным порядком превышают затраты на запасные части, материалы для ТО и Р. Также при расчете затрат не

рассматривается их зависимость от технико-экономических и технико-эксплуатационных параметров ТС.

### Постановка задачи

Основной целью данной работы является определение и формализация зависимостей затрат на ТО ТС от их технико-экономических и технико-эксплуатационных параметров.

### Результаты исследований

Следует отметить, что определение затрат на ТО и Р является исходной величиной для дальнейшего расчета текущих (эксплуатационных) затрат  $C_{\text{ТЕК}}$  на перевозку грузов автотранспортом в междугородном сообщении [6] по формуле:

$$C_{\text{ТЕК}} = C_{\text{Т}} + C_{\text{М}} + C_{\text{ОР}} + C_{\text{Ш}} + C_{\text{З}} + C_{\text{Д}} + C_{\text{П-Р}} + C_{\text{А}}, \quad (1)$$

где  $C_{\text{Т}}$  – затраты на топливо, грн;  $C_{\text{М}}$  – затраты на эксплуатационные материалы, грн;  $C_{\text{ОР}}$  – затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт, грн;  $C_{\text{Ш}}$  – затраты на шины, грн;  $C_{\text{З}}$  – заработная плата водителя, грн;  $C_{\text{Д}}$  – дорожная составляющая, грн;  $C_{\text{П-Р}}$  – затраты на погрузочно-разгрузочные работы, грн;  $C_{\text{А}}$  – отчисления по транспортному средству, по которому нормы амортизации установлены на 1000 км пробега, грн.

В соответствии с Приказом Министерства транспорта Украины от 30.03.98 г. № 102 «Об утверждении Положения о техническом обслуживании и ремонте дорожных транспортных средств автомобильного транспорта» и на основе [2] затраты на ТО и Р предлагается рассчитывать по формуле:

$$C_{OP} = \frac{K_{\Gamma} \cdot L_3}{1000} \left( T_{PTO1} \cdot C_{CTO1} + T_{PTO2} \cdot C_{CTO2} + T_{PPR} \cdot C_{CTP} + (H_{MAT} + H_{3ч}) k_{ин} \right) \quad (2)$$

где  $K_{\Gamma}$  - корректирующий коэффициент, учитывающий год эксплуатации ТС;  $L_3$  - общий пробег при выполнении заявки на МПГ, км;  $T_{PTO1}$  - трудоемкость стоимости технического обслуживания первого ТО-1, чел-час/1000 км;  $T_{PTO2}$  - трудоемкость стоимости технического обслуживания второго ТО-2, чел-час/1000 км;  $T_{PPR}$  - трудоемкость текущего ремонта, чел-час/1000 км;  $C_{Tгод}$  - стоимость часа работ по ТО и Р, грн/час;  $H_{MAT}$ ,  $H_{3ч}$  - нормы затрат на материалы и запасные части, грн/1000 км;  $k_{ин}$  - коэффициент увеличения затрат для иномарок.

Отличие предлагаемой формулы от рассматриваемой в [2] заключается в следующем. В [2] автор рассматривает затраты на ТО и Р, учитывая в модели затрат только трудоемкость текущего ремонта (ТР), не рассматривая при этом самого ТО. В предлагаемой модели затрат на ТО и Р трудоемкости ТО-1, ТО-2 измеряются в чел-час/1000 км, а в Положении - чел-час на одно обслуживание. Для перевода данной величины в чел-час/1000 км используются следующие формулы:

$$T_{PTO1} = \frac{T_{PTO1}^H}{L_{TO1}}; \quad (3)$$

$$T_{PTO2} = \frac{T_{PTO2}^H}{L_{TO2}}, \quad (4)$$

где  $T_{PTO1}^H$ ,  $T_{PTO2}^H$  - нормативные трудоемкости, чел-час на одно обслуживание;  $L_{TO1}$ ,  $L_{TO2}$  - периодичность ТО-1, ТО-2, км.

Следует отметить, что в Положении  $L_{TO1} = 4000$  км,  $L_{TO2} = 16000$  км. В примечании периодичности отмечено, что если периодичность, указанная в Положении, отличается от периодичности, определенной заводом-изготовителем, то следует руководствоваться последней. Более того, в Положении система ТО и Р предусматривает:

- подготовку к продаже;
- ТО в период обкатки;
- ежедневное обслуживание;
- ТО-1;
- ТО-2;
- сезонное техническое обслуживание;
- текущий ремонт;
- капитальный ремонт;
- ТО во время консервации ТС;
- ТО и Р ТС на линии.

Современный рынок ТО и Р свидетельствует о различных от нормативных периодичностях, перечнях системы ТО и Р. Например, система ТО и Р тягача Scania приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Система ТО и Р тягача Scania**

| Обозначение ТО | Периодичность, км                 |
|----------------|-----------------------------------|
| R              | разово, после первых 5000...20000 |
| X              | каждые 22500                      |
| S              | каждые 45000                      |
| M              | каждые 90000                      |
| L              | каждые 180000                     |

Для различных марок ТС существуют свои критерии определения стоимости ТО и Р. Для ТС марки ЗИЛ, МАЗ стоимость ТО ТС определяется в зависимости от затраченных нормочасов [7]. Трудоемкость работ по ТО автомобилей марки ЗИЛ представлена в табл. 2, для марки МАЗ - в табл. 3.

Таблица 2

**Трудоемкость работ по ТО автомобилей марки ЗИЛ**

| Наименование работ              | Норма времени, нормо-час |            |            |              |
|---------------------------------|--------------------------|------------|------------|--------------|
|                                 | ЗИЛ-5301                 | ЗИЛ-433100 | ЗИЛ-433360 | Спец-техника |
| Предэксплуатационная подготовка | 4,7                      | 9,3        | 5,8        | 10,5         |
| ТО-1000 (обкатка)               | 12,8                     | 13,9       | 13,9       | 13,9         |
| ТО-4000                         | 10,5                     | 10,5       | 10,5       | 12,8         |
| ТО-8000, 12000                  | 12,8                     | 12,8       | 12,8       | 12,3         |
| ТО-16000, 20000, 24000, 28000   | 12,8                     | 13,9       | 13,9       | 15,1         |

Таблица 3

**Трудоемкость работ по ТО автомобилей  
марки МАЗ**

| Наименование работ | Норма времени, нормо-час |           |            |           |
|--------------------|--------------------------|-----------|------------|-----------|
|                    | автомобиль               |           | полуприцеп |           |
|                    | 2-х осный                | 3-х осный | 2-х осный  | 3-х осный |
| ТО – 1000          | 10                       | 12        | 6          | 8         |
| ТО – 1             | 10                       | 12        | 6          | 7         |
| ТО – 2             | 18                       | 24        | 8          | 9         |

Стоимость 1 нормо-часа = 650 руб., а для иномарок 1105 руб. (по данным российского сайта [7]).

Затраты на ТО и Р европейских автомобилей рассмотрены автором в [8] и представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Затраты на ТО и Р европейских автомобилей**

| Грузоподъемность, т | Наработка до списания, тыс. км | Срок службы, лет | Затраты на ТО и Р от цены в год, % |
|---------------------|--------------------------------|------------------|------------------------------------|
| До 3                | 200...300                      | 6                | 19                                 |
| 3...7               | 400                            | 7                | 21                                 |
| 8...10              | 550...650                      | 7                | 15,5                               |
| 12,5                | 600                            | 7                | 15                                 |
| Более 15            | 600...700                      | 7                | 13                                 |

Автором в [8] отмечено, что приведенные в табл. 3 величины могут быть использованы для приближенной оценки затрат на ТО и Р иномарок, эксплуатирующихся в отечественных автотранспортных предприятиях, но при этом значения удельных затрат должны быть увеличены на 25...35 %.

Рассмотрим более детально влияние технико-экономических и технико-эксплуатационных параметров ТС на затраты на ТО на примере марки КамАЗ. Исследования проводились на основании данных стоимости сервисных услуг на техническое обслуживание автомобилей марки КамАЗ и технических характеристик моделей ТС [9].

В соответствии с классификацией и системой обозначения автотранспортных средств, определяемой отраслевой нормалью ОН 025 270-66 [10], по второй цифре индекса модели транспортного средства был определен тип ТС. Данные, сформированные для анализа

влияния технико-экономических и технико-эксплуатационных параметров ТС на стоимость ТО, приведены в табл. 5.

Таблица 5

**Технико-экономические и технико-эксплуатационные параметры ТС**

| Индекс модели | Тип       | Грузоподъемность, т | Количество ведущих осей |
|---------------|-----------|---------------------|-------------------------|
| 1             | 2         | 3                   | 4                       |
| 55111         | самосвал  | 13                  | 2                       |
| 65115         | самосвал  | 15                  | 2                       |
| 55102         | самосвал  | 7                   | 2                       |
| 54115         | сед.тягач | 12                  | 2                       |
| 53215         | бортовой  | 11                  | 2                       |
| 43114         | бортовой  | 6,1                 | 3                       |
| 43118         | бортовой  | 10                  | 3                       |
| 6520          | самосвал  | 20                  | 2                       |
| 6522          | самосвал  | 19                  | 3                       |

Продолжение табл. 5

| Стоимость, грн | Мощность двигателя, л.с. | Стоимость ТО-1 (без расходных материалов), грн | Стоимость ТО-2 (без расходных материалов), грн |
|----------------|--------------------------|--|--|
| 5              | 6                        | 7  | 8  |
| 172000         | 240                      | 250,6  | 951,6  |
| 193000         | 260                      | 250,6  | 951,6  |
| 167000         | 240                      | 250,6  | 951,6  |
| 146000         | 240                      | 207,6  | 831  |
| 162600         | 240                      | 250,6  | 847,2  |
| 166600         | 240                      | 323,6  | 964,2  |
| 181000         | 260                      | 323,6  | 964,2  |
| 256200         | 320                      | 318  | 916  |
| 310000         | 320                      | 318  | 916  |

Обработка вышеуказанных данных производилась с помощью блока программы регрессионного анализа Multiple Regression статистического программного обеспечения STATISTICA.

В качестве независимого фактора вначале был выбран показатель – стоимость ТО-1. После обработки результатов программой STATISTICA получены следующие регрессионные модели определения стоимости (для по-

ставка транспортной услуги – затрат, соответственно) технического обслуживания:

$$C_{\text{ТО-1}} = 229,779 - 21,06 \cdot T_{\text{ТС}} - 4,817 \cdot q + 0,001 \cdot C_{\text{ТС}}; \quad (5)$$

$$C_{\text{ТО-1}} = 455,867 - 402,4 \cdot (N_{\text{VOS}})^{-1}; \quad (6)$$

$$C_{\text{ТО-1}} = 252,416 - 27,28 \cdot T_{\text{ТС}} + 0,0007 \cdot C_{\text{ТС}}, \quad (7)$$

где  $C_{\text{ТО-1}}$  – стоимость ТО-1, грн;  $T_{\text{ТС}}$  – тип транспортного средства (для бортового – «3», для седельного тягача – «4», для самосвала – «5»);  $q$  – грузоподъемность ТС, т,  $6 < q \leq 20$ ;  $C_{\text{ТС}}$  – стоимость ТС, грн,  $14600 \leq C_{\text{ТС}} \leq 310000$ ;  $N_{\text{VOS}}$  – количество ведущих осей,  $N_{\text{VOS}} \in Z$ ,  $Z = 2; 3$ .

Значения статистических критериев оценки полученных регрессионных моделей ТО-1 представлены в табл. 6.

Таблица 6

**Значения статистических критериев оценки регрессионных моделей ТО-1**

| Номер модели | Коэффициент корреляции $R$ | Критерий Фишера $F$ | Критерий Стьюдента $t$ | Уровень достоверности $p$ |
|--------------|----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|
| 5            | 0,844                      | 4,13                | 4,29                   | 0,0078                    |
| 6            | 0,766                      | 9,974               | 7,93                   | 0,00009                   |
| 7            | 0,79                       | 4,998               | 4,81                   | 0,0029                    |

Полученные регрессионные модели затрат на ТО-1 имеют удовлетворительные значения статистических критериев оценки, что говорит о возможности использования их в дальнейших исследованиях. Из зависимости, представленной между факторами в регрессионных моделях (5), (6), (7), можно сделать следующие заключения:

- для типов ТС стоимость ТО-1 по возрастанию будет иметь такую иерархию: самосвал – седельный тягач – бортовой автомобиль. Это можно попытаться объяснить с помощью конструктивных особенностей каждого из типов автомобилей, которые характеризуют доступность и трудоемкость технического обслуживания;

- чем больше стоимость автомобиля, тем больше затраты на ТО-1;

- чем больше грузоподъемность и количество ведущих осей ТС, тем меньше затраты на ТО-1.

Аналогичным образом производилась обработка результатов для независимого фактора – ТО-2, были получены следующие модели:

$$C_{\text{ТО-2}} = 669,91 + 40,58 \cdot T_{\text{ТС}} - 5,87 \cdot q + 66,107 \cdot N_{\text{VOS}}; \quad (8)$$

$$C_{\text{ТО-2}} = 595,035 + 49,6 \cdot T_{\text{ТС}} + 105,37 \cdot N_{\text{VOS}} - 0,0007 \cdot C_{\text{ТС}}. \quad (9)$$

Значения статистических критериев оценки полученных регрессионных моделей ТО-2 представлены в табл. 7.

Таблица 7

**Значения статистических критериев оценки регрессионных моделей ТО-2**

| № модели | Коэффициент корреляции $R$ | Критерий Фишера $F$ | Критерий Стьюдента $t$ | Уровень достоверности $p$ |
|----------|----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|
| 8        | 0,79                       | 1,73                | 4,98                   | 0,0041                    |
| 9        | 0,71                       | 1,7                 | 3,9488                 | 0,0108                    |

Полученные регрессионные модели затрат на ТО-2 имеют удовлетворительные значения статистических критериев оценки, что говорит о возможности использования их в дальнейших исследованиях. Из зависимости, представленной между факторами в регрессионных моделях (8), (9), можно сделать следующие заключения:

- стоимость ТО-2 для типов ТС увеличивается согласно последовательности (бортовой автомобиль – седельный тягач – самосвал);

- чем больше количество ведущих осей ТС, тем больше затраты на ТО-2;

- чем больше стоимость автомобиля, тем меньше затраты на ТО-2.

При проведении исследований зависимости стоимости технического обслуживания от мощности двигателя ТС были получены слабые значения корреляции.

Принимая, что  $C_{\text{ТО-1}} = T_{\text{рТО1}} \cdot C_{\text{чТО1}}$ , а  $C_{\text{ТО-2}} = T_{\text{рТО2}} \cdot C_{\text{чТО2}}$ , подставим полученные регрессионные модели в формулу (2), получим:

$$C_{OP} = \frac{K_{\Gamma} \cdot L_3}{1000} \left( \begin{array}{l} 229,779 - 21,06 \cdot T_{TC} - \\ - 4,817 \cdot q + 0,001 \cdot C_{TC} + \\ + 669,91 + 40,58 \cdot T_{TC} - 5,87 \cdot q + \\ + 66,107 \cdot N_{VOS} + T_{РПР} \cdot C_{ЧТР} + \\ + (H_{МАТ} + H_{ЗЧ}) k_{ин} \end{array} \right) \quad (10)$$

Сделав преобразование и приведение подобных слагаемых, получаем модель затрат на ТО и Р в виде:

$$C_{OP} = \frac{K_{\Gamma} \cdot L_3}{1000} \left( \begin{array}{l} 899,689 + 19,52 \cdot T_{TC} - \\ - 10,687 \cdot q + 0,001 \cdot C_{TC} + \\ + 66,107 \cdot N_{VOS} + T_{РПР} \cdot C_{ЧТР} + \\ + (H_{МАТ} + H_{ЗЧ}) k_{ин} \end{array} \right) \quad (11)$$

Подходом, на основании которого можно определить затраты на ТО и Р, является использование удельного веса каждой составляющей затрат (затрат на материалы, на запасные части, на заработную плату ремонтных рабочих) в общих затратах на ТО и Р, представленных автором в [11], которые являются «переходным мостом» между данными, которые использовались в плановой экономике и современными расценками рынка.

### Выводы

Проведенный анализ определения стоимости транспортного обслуживания разных типов транспортных средств позволил выделить как положительные стороны, такие как учет марки транспортного средства, срока эксплуатации, так и отрицательные – недостаточное рассмотрение влияния технико-экономических и технико-эксплуатационных параметров ТС на рассматриваемые затраты. Предложенная модель стоимости технического обслуживания и ремонта позволяет оценить затраты на техническое обслуживание с помощью технико-экономических и технико-эксплуатационных параметров ТС. Среди всех параметров ТС, сильно коррелируемых со стоимостью ТО, можно выделить такие, как тип, грузоподъемность, количество ведущих осей, стоимость, слабо коррелирует – мощность двигателя. В дальнейших исследованиях следует более подробно рассмотреть влияние типа разных марок на рассматриваемые затраты.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архипов, С. В. Использование логистических подходов в управлении транспортным предприятием – один из факторов менеджмента качества [Текст] / С. В. Архипов // Политранспортные системы: материалы V Всерос. НТК, Красноярск, 21–23 ноября 2007 г.: в 2-х ч. – Ч. 1. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т; Политехн. ин-т, 2007. – С. 57-61.
2. Моисеева, Н. К. Экономические основы логистики [Текст]: учебник / Н. К. Моисеева. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 528 с.
3. Транспортні технології в системах логістики [Текст] / М. Ф. Дмитренко та ін. – К.: ІНФОРМАВТОДОР, 2007. – 676 с.
4. Экономика автосервиса. Создание автосервисного участка на базе действующего предприятия [Текст] / Б. Ю. Сербиновский и др. – М.: ИКЦ «МарТ»; Ростов-на-Дону: Издательский центр «МарТ», 2006. – 432 с.
5. Інвестиційний потенціал у логістиці: На прикладі автотранспорту [Текст] / К. Е. Фесенко та ін. – К.: Наук. світ, 2002. – 259 с.
6. Горяинов, А. Н. Определение модели перевозки грузов в междугородном сообщении [Текст] / А. Н. Горяинов, Т. Ф. Федорова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Математика и кибернетика – фундаментальные и прикладные аспекты. – № 2/6 (26) – Х.: Технологический Центр, 2007. – С. 17-20.
7. Заголовок сайта: ООО «ИНАВТОМАРКЕТ ПОМОРЬЕ» [Электрон. ресурс]. Меню «Прайс-листы», вкладка «техническое обслуживание», прайс основных работ по автомобилям ЗИЛ. – Режим доступа: [http://www.iam-sever.ru/data/files/prices/repair\\_zil.xls](http://www.iam-sever.ru/data/files/prices/repair_zil.xls); прайс основных работ по автомобилям МАЗ. – Режим доступа: [http://www.iam-sever.ru/data/files/prices/repair\\_maz.xls](http://www.iam-sever.ru/data/files/prices/repair_maz.xls)
8. Логистика автомобильного транспорта [Текст] / В. С. Лукинский и др. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 368 с.
9. Сайт ТЕХАВТОЦЕНТРА [Электрон. ресурс]. Запчасти для грузовиков. Вкладка из каталога «автомобили КАМАЗ». – Режим доступа: <http://www.avtocenter.ru/kamaz.htm>
10. Краткий автомобильный справочник [Текст] / А. Н. Понизовкин и др. – М.: АО «ТРАНСКОСАТИНГ», НИИАТ, 1994. – 779 с.
11. Шинкаренко, В. Г. Экономическая оценка нововведений на автомобильном транспорте [Текст]. – изд. 3-е, перераб. и доп. / В. Г. Шинкаренко, О. М. Жарова. – Х.: ХНАДУ, 2004. – 156 с.

Поступила в редколлегию 31.03.2008.

М. А. ГРИГОРОВ, О. О. ЛОБАШОВ, О. В. ПРАСОЛЕНКО (Харківська національна академія міського господарства)

## ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У НАЙКРУПНІШИХ МІСТАХ З УРАХУВАННЯМ МЕРЕЖІ ПАРКОВКИ

Розглянуто підхід щодо оцінки характеристик руху транспортних потоків у найкрупніших містах з урахуванням необхідності мережного моделювання, який на відміну від існуючих дозволяє розраховувати характеристики руху з урахуванням впливу інтенсивності транспортного потоку.

Рассмотрен подход к оценке характеристик движения транспортных потоков в крупнейших городах с учетом сетевого моделирования, который в отличие от существующих позволяет рассчитывать характеристики движения с учетом влияния интенсивности транспортного потока.

The approach to an estimation of characteristics of transport traffic streams in the largest cities is considered taking into account network modelling which contrary to existing ones allows expecting characteristics of the traffic with account of influence of transport stream intensity.

### Постановка проблеми

Зростання автомобілізації у найкрупніших містах вимагає впровадження постійного та своєчасного управління транспортними потоками. Сучасні методи управління транспортними потоками у містах не враховують систему: «мережа парковки автомобільного транспорту – транспортні потоки» і внаслідок цього не можуть бути використані на сучасному етапі щодо обґрунтування мережі парковки автомобільного транспорту в умовах міста. У зв'язку з цим, актуальною є розробка нових наукових підходів щодо оцінки характеристик руху транспортних потоків у найкрупніших містах з подальшим обґрунтуванням доцільності розташування мережі парковки автомобільного транспорту.

### Аналіз останніх публікацій

Сучасні підходи щодо оцінки характеристик руху транспортних потоків у найкрупніших містах ґрунтуються на макромоделях транспортної мережі [1, 2]. При цьому запропоновані прогностичні моделі, призначені для моделювання транспортних потоків у мережах з відомою геометрією і характеристиками функціонування. За допомогою цих моделей можна розрахувати наслідки зміни у функціонуванні транспортної мережі в результаті впровадження тих чи інших заходів з організації дорожнього руху. Моделі цього типу застосовуються для підтримки рішень в напрямку містобудування та плану розвитку міста. Недоліком їх є складність визначення параметрів потокоутворюючих і потокопоглинаючих об'єктів міста та неврахування

впливу паркування автомобілів на розподіл транспортних потоків по мережі.

### Ціль роботи

Аналіз літературних джерел дозволив сформулювати цілі та задачі дослідження. Для моделювання транспортних потоків з урахуванням мережі парковки автомобільного транспорту доцільно розробити математичну модель функціонування транспортних потоків у транспортній мережі міста. Апробацію підходу до оцінки характеристик руху транспортних потоків з урахуванням мережі парковки провести на прикладі транспортної мережі м. Харкова.

### Основний матеріал

На першому етапі моделювання транспортної мережі м. Харкова необхідно розробити модель транспортної мережі. Транспортна мережа подається у вигляді топологічної схеми, на якій мережа представляється у вигляді вузлів і дуг. Вузлами мережі є перехрестя доріг і пункти транспортного тягіння, дугами – перегони між перехрестями [1].

Вхідні дані для розробки моделі доцільно згрупувати в чотири блоки (файли вихідних даних) [3]:

- дані про ділянки транспортної мережі (характеристики дуг мережі і руху по них);
- дані про паркування автомобілів на ділянках мережі (геометричні параметри, що враховують спосіб паркування);
- дані про транспортний попит (обсяги утворення і поглинання потоків у вузлах мережі в годину «пік», ємність парковки);

- дані про обмеження маневрів на перехрестях (траси заборонених маршрутів руху).

Наступним етапом макромодельовання транспортних потоків є включення до макромоделі блоку, який враховує парковку на вулично-дорожній мережі (ВДМ) з будь-якими способами розстановки. Автомобілі, припарковані поблизу тротуару, зменшують ширину проїзної частини дороги та її пропускну здатність. Зменшення ширини проїзної частини проявляється у зміні ефективної ширини проїзної частини, м:

$$B_{\text{пч еф}} = B_{\text{пч}} - B_{\text{парк}}, \quad (1)$$

де  $B_{\text{пч еф}}$  – ефективна ширина проїзної частини, м;

$B_{\text{пч}}$  – ширина проїзної частини, м;

$B_{\text{парк}}$  – ширина проїзної частини, яка займається припаркованим автомобілем поблизу тротуару.

У табл. 1 наведено значення  $B_{\text{парк}}$  відповідно до способів постановки [4]. Використання значень  $B_{\text{парк}}$  можливе для знаходження  $B_{\text{пч еф}}$ .

Таблиця 1

**Значення ширини проїзної частини  $B_{\text{парк}}$  відповідно до способу постановки автомобілів, м**

| Спосіб постановки         | Ширина проїзної частини, м, $B_{\text{парк}}$ |
|---------------------------|---|
| Паралельно до тротуару    | 2,0   |
| Під кутом 30° до тротуару | 4,3   |
| Під кутом 45° до тротуару | 4,8   |
| Під кутом 60° до тротуару | 5,2   |
| Під кутом 90° до тротуару | 4,6   |

Ці способи паркування автомобілів (див. табл. 1) можливі як при односторонньому, так і при двосторонньому рухові.

Після визначення ефективної ширини проїзної частини треба розрахувати її пропускну здатність з урахуванням способів постановки. Уявляється можливим для визначення пропускну здатності проїзної частини для різних способів постановки, при моделюванні транспортних потоків використати моделі зміни пропускну здатності від способу постановки. Найбільшу точність розрахунків за результатами проведених досліджень має математична модель проф. Поліщука В. П. [5].

Коли автомобілі розташовані вздовж проїзної частини, то пропускну здатність буде [4]

$$A = \frac{3600v}{(l+2) + v(1-V) + 0.13v^2} \cdot \xi(1-B), \quad (2)$$

де  $V$  – швидкість, з якою автомобіль вливається у загальний потік, з тротуару, км/год.;

$l$  – довжина автомобіля, м;

$\xi$  – кількість смуг руху;

$B$  – коефіцієнт зменшення проїзної частини, м.

Коли автомобілі розташовані під кутом, то пропускну здатність буде змінюватися за рахунок зміни  $B$  [4]:

$$B = \frac{(l \sin \alpha + b \cos \alpha) + 1.1}{m}, \quad (3)$$

де  $\alpha$  – кут розташування автомобілів відносно проїзної частини, град.;

$b$  – ширина автомобіля, м;

$m$  – ширина проїзної частини, м.

Далі в блок макромоделі, який враховує паркування автомобілів, буде включено моделі зміни пропускну здатності ВДМ від способу постановки. Тобто на дугах, де відсутнє паркування, розподіл транспортних потоків виконується на основі припущення, що пропускну здатність однієї смуги руху дорівнює 750 авт./год. [6], а там, де присутнє паркування, – з урахуванням моделей зміни пропускну здатності ВДМ від способу постановки.

Далі в макромоделі доцільно врахувати параметри транспортного попиту відповідно до ємності паркування на ВДМ. Даний підхід є доцільним тільки в центральній частині міста і характеризується кількістю автомобілів, що прибувають і залишають парковку.

Програмне забезпечення моделі функціонування транспортної мережі розробляється для рішення ряду взаємозалежних задач по розрахунку параметрів транспортних потоків у місті. Одним з параметрів функціонування мережі є критерій ефективності. Розроблена програма має можливість вести розрахунки за двома критеріями ефективності: транспортні витрати, час. Вихідними характеристиками транспортної мережі є: матриця найкоротших відстаней; матриця кореспонденцій; характеристики функціонування транспортної мережі [7].

Після проведення розрахунків характеристик транспортної мережі можна визначити вплив паркування автомобілів на показники ефективності функціонування. Зміну цих показників на транспортній мережі визначимо при різних способах паркування.

Треба зазначити, що параметри функціонування транспортних потоків залежать від фак-

тичних характеристик функціонування транспортної мережі. Запропоновані критерії мінімум витрат часу і мінімум транспортних витрат враховують розподіл транспортних потоків по ВДМ міста з урахуванням даних характеристик. Визначення впливу паркування на показники ефективності функціонування транспортних потоків потребує проведення експерименту на моделі функціонування транспортної мережі. При цьому попередньо було доведено адекватність моделі шляхом порівняння розрахункової інтенсивності від фактичної, отриманої за обстеженнями.

Експеримент здійснювали при зміні вхідних характеристик функціонування транспортної мережі, а саме, параметрів та місця розташування паркування. Дані досліджень наведено на рис. 1 – 2 відповідно.

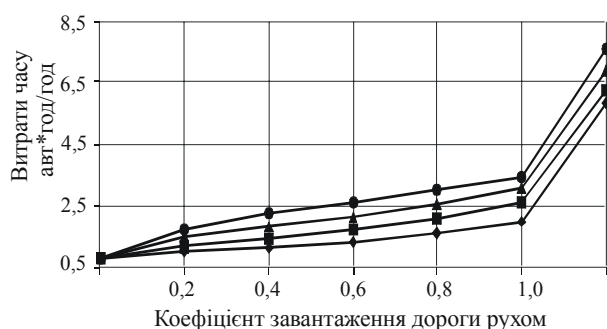


Рис. 1. Графік зміни витрат часу при збільшенні коефіцієнта завантаження дороги рухом

◆ - паркування паралельно; ■ - паркування під кутом 30°;  
▲ - паркування під кутом 45°; ● - паркування під кутом 60°.

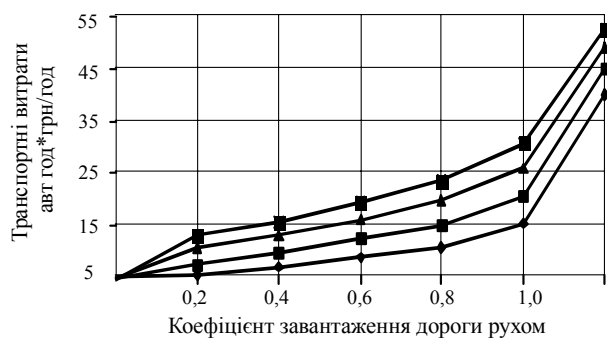


Рис. 2. Графік зміни транспортних витрат при збільшенні коефіцієнта завантаження дороги рухом

◆ - паркування паралельно; ■ - паркування під кутом 30°;  
▲ - паркування під кутом 45°; ● - паркування під кутом 60°.

З графіків (див. рис. 1 – 2) видно, що при збільшенні коефіцієнта завантаження дороги рухом при значенні 0,8 різко зростають витрати часу й транспортні витрати транспортних потоків.

## Висновки та перспективи подальших досліджень

Врахування мережі парковки автомобільного транспорту як обмеження для функції розподілу транспортних потоків по ВДМ дозволило визначити її вплив на характеристики функціонування транспортної мережі міста. Використана адекватна математична модель функціонування транспортної мережі дозволяє розраховувати основні характеристики дорожнього руху: інтенсивність, щільність і швидкість з використанням наступних критеріїв ефективності функціонування: витрати часу і транспортні витрати на пересування по дугах транспортної мережі. Експериментальні дослідження поведінки транспортних потоків при варіюванні параметрами паркувальної мережі дозволило отримати закономірності зміни витрат транспортного часу і транспортних витрат, при збільшенні коефіцієнта завантаження дороги рухом, для різних способів паркування.

В подальших дослідженнях увага буде приділена обґрунтуванню доцільності розташування мережі парковки в умовах міста.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения [Текст]: справочник / В. У. Рэнкин и др. [пер. с англ.]. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
2. Брайловский, Н. О. Управление движением транспортных средств [Текст] / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский. – М.: Транспорт, 1975. – 112 с.
3. Лобашов, О. О. Моделирование транспортных потоков в містах з урахуванням мережі парковки автомобільного транспорту [Текст] / О. О. Лобашов, О. В. Прасоленко // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – Вып. 69. – К.: Техніка, 2006. – С. 161-165.
4. Лобанов, Е. М. Транспортная планировка городов [Текст] / Е. М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
5. Поліщук, В. П. До питання паркування автомобілів [Текст] / В. П. Поліщук, О. О. Загоруй // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – Вып. 56. – К.: Техніка, 2004. – С. 133-138.
6. Иносэ, Х. Управление дорожным движением [Текст] / Х. Иносэ, Т. Хамада; под ред. М. Я. Блинкина [пер. с англ.]. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
7. Прасоленко, А. В. К вопросу о критериях эффективности функционирования транспортной сети города [Текст] / А. В. Прасоленко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Вып. 1/2 (19). – 2006. – С. 15-17.

Надійшла до редколегії 31.03.2008.

М. А. ГРИГОРОВ, Я. В. САНЬКО (Харківська національна академія міського господарства)

## ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНІВ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ ЕВОЛЮЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

Розглянуті закономірності визначення замкнутого й розімкнутого стану параметрів систем, на основі ентропійних характеристик й еволюційних процесів у середовищі, дозволяють із певною точністю спрогнозувати тривалість цих періодів.

Рассмотренные закономерности определения замкнутого и разомкнутого состояния параметров систем, на основе энтропийных характеристик и эволюционных процессов в среде, позволяют с определенной точностью спрогнозировать длительность этих периодов.

The considered regularities of determination of closed and opened state of system parameters on the basis of entropic characteristics and evolution processes in the environment allow predicting the duration of these periods with certain precision.

### Вступ

Наявність інформації про майбутні потреби, можливі результати й наслідки керуючих дій – необхідна передумова оптимального керування будь-якою системою. Така інформація може бути отримана як результат науково обґрунтованих прогнозів [1].

Результат будь-якої діяльності технічних систем характеризується послідовністю періодів прискореного зростання з періодами відносно уповільнених темпів. Для прискорених темпів зростання характерним є замкнутий, в організаційному відношенні, стан технічної системи, а для уповільнених – розімкнений [2].

### Аналіз останніх публікацій

Автори [3] розглядають замкнений стан, коли між системою та середовищем взагалі відсутній обмін речовиною та енергією, або такий обмін не призводить до збільшення кількості станів системи. Розімкнена система, навпаки, під впливом середовища змінює свої функціональні стани.

Але існують такі системи, у яких не відбувається обмін речовиною та енергією з навколишнім середовищем, а її максимальна ентропія непостійна.

### Мета та постановка задачі

Основною метою є дослідження впливу середовища на стан системи, з урахуванням еволюційних процесів.

Основною задачею є з'ясування, яким чином змінюється максимальна ентропія системи під час її еволюції.

### Рішення задачі

Факторами зовнішнього середовища, які впливають на розвиток системи є: погоднокліматичні; соціальні та економічні.

Безумовно вплив кожного з цих факторів призводить до збільшення максимальної ентропії, а відповідно і до розімкнення системи. Але якщо система постійно функціонує в режимі обміну з середовищем, то необхідним є розподіл всієї сукупності факторів на зовнішні та внутрішні.

Якщо розглянути погоднокліматичні фактори (опади, атмосферний тиск, вологість та ін.), то з часом вони суттєво не змінилися і мають постійний характер. Тому ці фактори можна віднести до зовнішніх.

Соціальні фактори завдяки науковотехнічному прогресу постійно збільшують свій вплив на функціонування будь-якої технічної системи і тому вони також відносяться до зовнішніх.

Такі економічні фактори, як інфляція, девальвація, різке зростання курсу іноземних валют напряму відносяться до зовнішніх.

А от такий економічний показник, як фінансування окремих видів транспорту (трамвай, тролейбус та метрополітен), що є державною власністю, відноситься до внутрішніх. Передача цих видів транспорту у приватну власність неможлива, бо вони є соціальними перевізниками в містах, забезпечуючи перевезення фінансово нестабільних верств населення.

В моделі функціонування системи в замкнутому стані [1] автори припускають, що всі фактори зовнішнього середовища не змінюють свою абсолютну організацію і тому зміна імо-

вірності переходу середовища з фактичного в заданий стан дорівнює нулю.

Що стосується трамваю, тролейбусу та метрополітену, то в еволюції розвитку цих видів транспорту відбувається постійне фінансування з державного та місцевого бюджетів у вигляді дотацій, що само по собі вже є обміном із зовнішнім середовищем. Але система залишається замкненою в організаційному відношенні і лише впровадження нових технологій, нового рухомого складу, введення нових маршрутів призводить до розмикання системи.

Таким чином, розв'язання системи рівнянь [1] необхідно проводити з урахуванням впливу економічного фактору зовнішнього середовища у якості компенсуючого коефіцієнта.

Але на першому етапі необхідно розглянути всю передісторію розвитку цих видів транспорту, для того щоб спрогнозувати замкнені та розімкнені стани окремих параметрів.

Тривалість періодів (лагів) замкнутого й розімкнутого станів системи може бути визначена за результатами аналізу динамічного ряду даних про величину максимальної ентропії системи. Для оцінки максимальної ентропії системи може бути використана наступна методика [1]:

1) для кожного перетину часу визначаються максимальні й мінімальні значення досліджуваного параметра (координата, показник) системи:

$$X_{\min} \leq X \leq X_{\max}, \quad (1)$$

2) для кожного перетину часу розраховується середньоквадратичне відхилення досліджуваного параметра від середнього арифметичного за формулою:

$$s^2 = \sqrt{\frac{\sum p(X - \bar{X})^2}{n}}, \quad (2)$$

3) для кожного перетину часу розраховуються помилки середньої арифметичної за формулою:

$$m_{\bar{X}} = \frac{s^2}{\sqrt{n-1}}, \quad (3)$$

4) розраховується максимальна ентропія досліджуваного параметра в розглянутому перетині часу за формулою:

$$\begin{aligned} H_{\max} &= \log \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2m_{\bar{X}}} = \\ &= \log \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2s^2} \sqrt{n-1}. \end{aligned} \quad (4)$$

За результатами оцінки максимальної ентропії параметрів системи в кожному з розглянутих перетинів часу будується динамічний ряд (ряд розвитку) максимальної ентропії.

Моменти виходу функції  $H_{\max} = f(t)$  за межі довірчого інтервалу виділяють на кривій розвитку ділянки, що змінюється та що не змінюється максимальною ентропією. Ці ділянки визначають лаги розімкнутого й замкнутого станів системи.

Після аналізу періодів замкнених та розімкнених станів необхідно спрогнозувати ці стани для параметрів системи на майбутнє за залежністю:

$$t_{n+1} = k \cdot t_n, \quad (6)$$

де  $t$  – тривалість періоду, рік;

$k$  – коефіцієнт, який враховує періодичність переходу з одного в інший стан;

$n$  – номер періоду.

## Висновки

Визначивши, які з факторів середовища відносяться до зовнішніх та внутрішніх, можна сказати що процес еволюції розвитку будь-якої технічної системи залежить від її фінансової стабільності. Еволюційний процес дає змогу не лише спрогнозувати зростання або занепад системи, але й стан, в якому знаходиться система. Що, в свою чергу, дає змогу робити довгострокові прогнози параметрів транспортної системи.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гаврилов, Э. В. Дальнесрочное прогнозирование расчетных характеристик для проектирования и эксплуатации автомобильных дорог [Текст] / Э. В. Гаврилов, М. А. Григоров, В. К. Доля. – Одесса, 2006. – 188 с.
2. Гаврилов, Э. В. Долгосрочное прогнозирование расчетных характеристик на автомобильном транспорте [Текст] / Э. В. Гаврилов, Н. В. Ярещенко, И. В. Мусиенко // Вестник ХГАДТУ. – Вып. 12-13. – Х.: Изд-во ХГАДТУ, 2000. – С. 23-30.
3. Гаврилов, Э. В. Динамика энтропии расчетных характеристик грузовых автомобилей [Текст] / Э. В. Гаврилов, И. В. Мусиенко // Вестник ХГАДТУ. – Вып. 15-16. – Х.: Изд-во ХГАДТУ, 2001. – С. 14-17.

Надійшла до редколегії 31.03.2008.

Ю. О. ДАВІДІЧ, Д. П. ПОНКРАТОВ (Харківська національна академія міського господарства)

## ВИЗНАЧЕННЯ МАРШРУТУ ПОДАЧІ ТАКСОМОТОРУ ЗАМОВНИКУ В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Розглянуто питання підвищення ефективності роботи таксомоторного транспорту за рахунок вдосконалення автоматизованої системи диспетчерського управління його технологічними процесами. Запропоновано визначати маршрут подачі таксомотора замовнику за критерієм мінімум часу. Для вирішення даної задачі розроблено методику визначення маршруту подачі таксомотору, використання якої сприятиме зменшенню часу очікування пасажирами поїздки та зниженню експлуатаційних витрат перевізника.

Рассмотрены вопросы повышения эффективности работы таксомоторного транспорта за счет совершенствования автоматизированной системы диспетчерского управления его технологическими процессами. Предложено определять маршрут подачи таксомотора заказчику по критерию минимум времени. Для решения данной задачи разработана методика определения маршрута подачи таксомотора, использование которой будет способствовать уменьшению времени ожидания пассажирами поездки и снижению эксплуатационных затрат перевозчика.

The issues of overall performance increase of taxi transport due to improvement of automated system of dispatching management by its technological processes are considered. The route of taxi submission to a customer is offered to be determined by a criterion of minimum time. To solve the given task the taxi submission route determination technique is developed. It will promote the reduction of passengers' waiting time and the decrease in operational expenses of a carrier.

### Вступ

Розвиток міських інфраструктур, підвищення чисельності та рухомості населення призводять до постійного зростання обсягів пасажирських перевезень у містах. В зазначених умовах все більш підвищені вимоги висуваються до міського пасажирського транспорту, основною задачею якого є – своєчасне, якісне і повне задоволення потреб населення в перевезеннях. Основна роль у вирішенні транспортної проблеми належить міському пасажирському транспорту загального користування, до якого відноситься і таксомоторний транспорт.

Основними перевагами таксомоторного транспорту в порівнянні з іншими видами міського пасажирського транспорту загального користування є: висока швидкість сполучення, і як наслідок економія витрат часу пасажирів на переміщення; можливість здійснення поїздки за індивідуально обраним маршрутом; більший комфорт та зручність провозу багажу. Вказані переваги створюють передумови для розвитку даного виду перевезень на перспективу.

У комплексі заходів, спрямованих на підвищення ефективності роботи таксомоторного транспорту, одне з ведучих місць займає автоматизація оперативно-диспетчерського управ-

ління його технологічними процесами. Результатом робіт у цьому напрямку – все більш інтенсивне впровадження автоматизованих систем диспетчерського управління технологічними процесами таксомоторних перевезень. Накопичений досвід експлуатації даних систем переконливо свідчить про те, що вони є ефективним засобом вдосконалення управління таксомоторним транспортом і підвищення якості обслуговування пасажирів.

### Аналіз публікацій

Диспетчерське управління таксомоторними перевезеннями передбачає використання комплексу методів, що спрямовані на забезпечення максимальної відповідності умов і режимів роботи таксомоторів потребам населення в перевезеннях, а також виконання функції контролю та аналізу перевізного процесу. Впровадження прогресивних методів диспетчерського управління повинне сприяти зниженню тривалості найму таксі пасажирами та зменшенню експлуатаційних витрат підприємств [1, 2].

Автоматизація диспетчерського управління таксомоторними перевезеннями дозволяє вирішувати цілу низку завдань, до яких слід віднести: прийом і виконання термінових та попередніх замовлень на таксі; організація подачі так-

сі за телефонним викликом, у найбільш короткій проміжок часу з найменшим холостим пробігом, в усі години доби і з гарантіями для населення з боку автотранспортного підприємства; введення оперативного контролю за розподілом таксі за стоянками і забезпечення достатньої кількості автомобілів на кожній стоянці, особливо в години найбільшого попиту; введення автоматичної сигналізації про наявність і розподіл таксі на стоянках; скорочення часу простою таксі на стоянках шляхом направлення їх за замовленнями і за рахунок своєчасного перемикання на найближчі стоянки з підвищеним попитом; організація технічної допомоги автомобілям на лінії [1 – 4].

Розвиток науково-технічного прогресу обумовив вдосконалення технічного обладнання автоматизованих систем управління. Сучасні автоматизовані системи засновані на використанні самих досконалих технічних засобів, до яких слід віднести супутникові системи визначення координат рухомих об'єктів. Використання таких систем дозволяє отримувати інформацію про місцезнаходження таксомоторів та їх стан (зайнято, вільно) у режимі реального часу [1, 5].

Найбільш перспективним напрямком вдосконалення диспетчерського управління таксомоторними перевезеннями є використання автоматизованих систем на основі обчислювального комплексу [1].

### **Мета дослідження**

Метою дослідження є розробка методики визначення маршруту подачі таксомотору замовнику в умовах функціонування автоматизованої системи управління.

### **Основний матеріал**

Прийнята система обслуговування населення автомобілями таксі допускає наступні види їх найма: на стоянках, у шляху прямування, а також по замовленнях. У даній статті в подальшому увагу буде приділено останньому виду найму.

Витрати часу пасажирів на пересування можна представити як суму їх значень на виконання відповідних елементів технологічного процесу. Внаслідок цього витрати часу пасажирів на пересування при наймі таксі за замовленням містять у собі витрати часу на: замовлення таксі, передачу замовлення водію, подачу таксомотора замовнику і рух пасажирів в таксі.

Вдало налагоджена диспетчеризація управління дозволяє виконувати прийом замовлення, його обробку (підбір пари «замовлення – таксі») та передачу замовлення водію за мінімальний проміжок часу. Вартість проїзду пасажирів у таксі залежить від відстані та умов поїздки, та визначається системою її розрахунку за прийнятим тарифом. Оплата подачі таксомотору замовником здійснюється за фіксованим тарифом незалежно від її відстані, внаслідок чого інтереси перевізника та замовника мають супутню направленість. Перевізник прагне мінімізувати експлуатаційні витрати, що пов'язані з подачею таксомотору, а замовник зацікавлений у зменшенні часу очікування поїздки.

Сучасний розвиток крупних та найкрупніших міст України характеризується зростанням рівня автомобілізації їх населення. Це у свою чергу позначається на підвищенні інтенсивності руху на вулично-дорожній мережі та виникненні заторів. В зазначених умовах маршрут подачі, що забезпечує найменший пробіг транспортного засобу, не завжди буде мінімальним за часом. Крім цього величина експлуатаційних витрат залежить від умов руху на окремих елементах маршруту та тривалості затримок у перехресті. Внаслідок цього при визначенні маршруту подачі таксомотора замовнику, в якості критерію, доцільно застосовувати не пробіг, а час руху.

Час руху транспортного засобу є випадковою величиною та залежить від значної кількості факторів, що характеризують водія, транспортний засіб, параметри транспортних потоків, дорожні та погодно-кліматичні умови.

Для врахування випадкового характеру часу руху та факторів, що впливають на його значення була розроблена імітаційна модель, алгоритм якої представлено на рис. 1.

Використання імітаційної моделі передбачає опис вулично-дорожньої мережі, заснований на зображенні її у виді графа, який складається з вершин (перехресті мережі) та ребер (ділянок мережі). Ділянки дороги між перехрестями мають початок, закінчення і характеризуються цілим рядом параметрів, таких як довжина ділянки, допустима швидкість руху, ширина проїзної частини, пропускна здатність, обмеження руху та ін.

Опис мережі у виді графа одержав широке поширення при вирішенні багатьох інженерних транспортних задач завдяки високій точності та зручності використання. Але цей метод має і недоліки. По-перше, зберігається проблема відсутності інформації про взаємодію транспорт-

них потоків у вузлах (наявність затримок) і про характеристики самих вузлів. По-друге, незважаючи на наявність інформації про обмеження руху на ділянках, немає інформації про заборонені напрямки руху на перехрестях мережі. Ви-

рішення даної проблеми можливе шляхом зображення перехрестя у вигляді підграфу, вершинами якого є всі входи і виходи перехрестя, а ребра – дозволені напрямки руху.

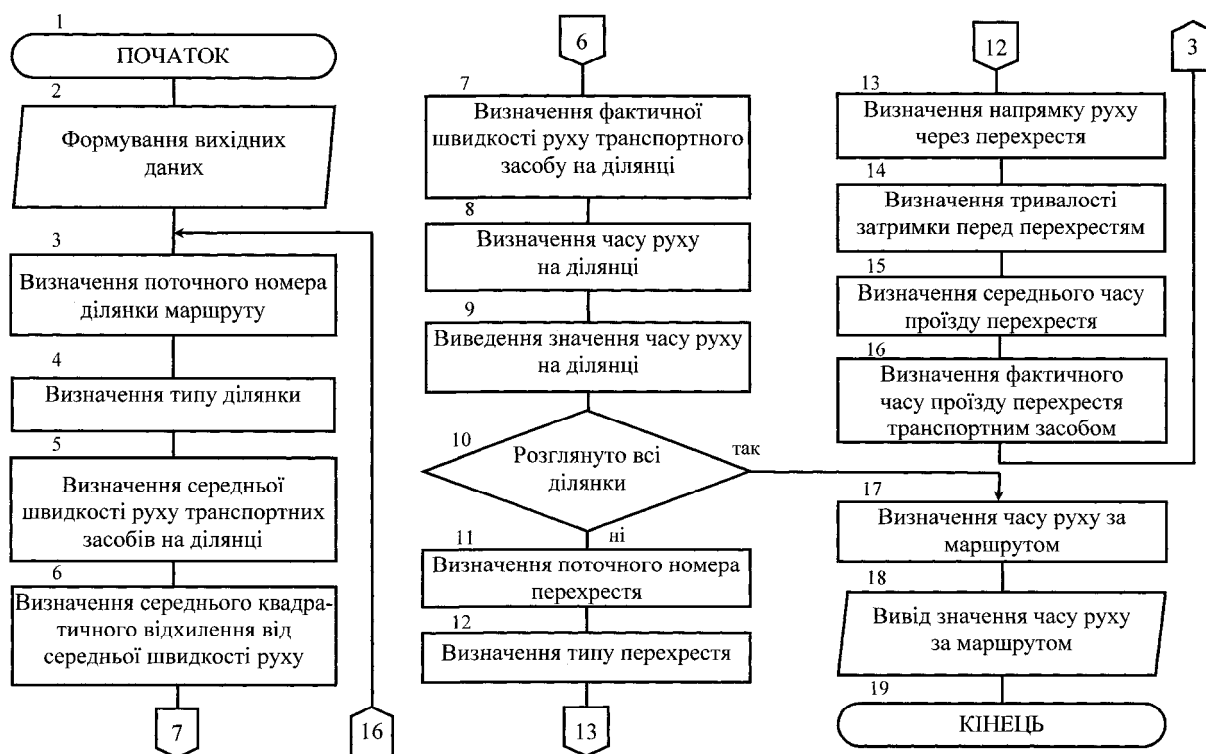


Рис. 1. Схема алгоритму імітаційної моделі руху автомобілів-таксі по вулично-дорожній мережі

Вихідними даними при моделюванні руху транспортних засобів є параметри, що характеризують водія, автомобіль і умови руху по елементах траси маршруту. Маршрут руху складається з  $n$  ділянок між перехрестями та  $m$  перехресть вулично-дорожньої мережі,  $m = n - 1$ . Моделювання руху відбувається послідовно для кожної  $i$ -ої ділянки маршруту та  $j$ -го перехрестя.

Модель диференціює ділянки з одностороннім і двостороннім рухом, регульовані і нерегульовані перехрестя. Особливо враховується напрямок руху через перехрестя (прямо, праворуч та ліворуч).

Для визначення параметрів руху на виділених складових маршруту розроблено комплекс регресійних моделей. Наприклад, середня швидкість руху транспортного засобу на ділянці з двостороннім рухом визначається за залежністю:

$$V_{\text{дв}} = 7,41L + 3,04K + 0,33V + 0,42U - 0,21B, \quad (1)$$

де  $L$  – довжина ділянки, км;

$K$  – кількість смуг проїзної частини у напрямку руху, од.;

$V$  – швидкість транспортного потоку в напрямку руху, км/год.;

$U$  – питома потужність двигуна транспортного засобу, к.с./т.;

$B$  – вік водія, років.

Отримавши значення середньої швидкості руху на ділянці між перехрестями (див. рис. 1, блок 5) імітаційна модель переходить до визначення середнього квадратичного відхилення швидкості руху (див. рис. 1, блок 6). При цьому вважаємо, що зміна швидкості руху підлягає нормальному закону розподілу.

Для врахування випадкового характеру формування швидкості руху використовується метод статистичного моделювання. Для отримання псевдовипадкових чисел застосовується метод Неймана. Отриману в результаті величину швидкості руху приймаємо за фактичну (див. рис. 1, блок 7). Час руху на ділянці визначається як відношення довжини ділянки до швидкості руху на ній (див. рис. 1, блок 8).

Наступним етапом відбувається порівняння поточного номера ділянки з кількістю ділянок на маршруті (див. рис. 1, блок 11). Якщо  $i \geq n$ , то процес обчислень закінчується, в іншому випадку модель переходить до розрахунку витрат часу на проїзд перехрестя. Для цього визначається тип перехрестя, напрямок руху через нього (див. рис. 1, блок 12, 13), після чого розраховується час затримки транспортного засобу перед перехрестям (див. рис. 1, блок 14) з використанням залежностей, наведених у праці [6].

Внаслідок того, що проїзд перехрестя займає незначний проміжок часу та водії обирають різні траєкторії руху при здійсненні маневрів, в якості параметру руху через перехрестя використовувався час його проїзду. Для визначення середнього значення часу проїзду перехрестя використовуються відповідні регресійні моделі (див. рис. 1, блок 15). Фактичне значення часу проїзду через перехрестя визначається аналогічно, як і на ділянках (див. рис. 1, блок 16).

Розрахунки повторюються до виконання умови  $i \geq n$ , після чого витрати часу на проїзд складових маршруту підсумовуються, внаслідок чого отримуємо загальний час руху за маршрутом (див. рис. 1, блок 17, 18). Результати перевірки імітаційної моделі на адекватність вказують на те, що вона дозволяє визначати час руху за маршрутом з достатньою точністю.

Таким чином, до комплексу функціональних завдань автоматизованої системи управління таксомоторами, після підбору пари «замовлення – таксі», входить визначення маршруту, що забезпечить мінімум часу подачі автомобіля.

Для цього диспетчер вводить у систему адресу клієнта. Вулично-дорожня мережа представляється у вигляді топологічної схеми – сукупності транспортних вузлів і ланок між ними, внаслідок цього автоматично відбувається визначення номеру транспортного вузла, у якому перебуває замовник.

Наступним етапом, з використанням методу Флойда визначаються всі маршрути, пробіг за якими ( $l_i$ ) не перевищує 50 % відносно найкоротшого ( $l_{\min}$ ), тобто виконується умова  $l_i \leq 1,5 l_{\min}$ . Після цього у базу даних автоматизованої системи оперативного управління таксомоторами вводять вихідну інформацію, необхідну для розрахунку часу руху за маршрутом.

З використанням імітаційної моделі руху автомобілів-таксі по вулично-дорожній мережі міста визначаються витрати часу на проїзд кожним маршрутом і обирається той, що забезпечує мінімальний час подачі. В результаті закінчення розрахунків диспетчер системи отримує інформацію про рекомендований маршрут. Дана інформація передається водію. Рух за даним маршрутом забезпечить мінімальний час подачі таксомотора замовнику.

## Висновки

Розроблена методика визначення маршруту подачі таксомотору замовнику в умовах функціонування автоматизованої системи управління дозволяє визначати маршрут подачі автомобіля замовнику, який забезпечить мінімальний час руху. Це сприятиме, з одного боку, підвищенню якості обслуговування пасажирів за рахунок зменшення часу очікування поїздки, а з іншого, зниженню експлуатаційних витрат перевізника завдяки здійсненню подачі автомобіля більш раціональним з цього погляду маршрутом.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Игнатенко, А. С. Управление качеством таксомоторных пассажирских перевозок [Текст] / А. С. Игнатенко. – М.: Транспорт, 1988. – 127 с.
2. Лигум, Ю. С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами пассажирского автомобильного транспорта [Текст] / Ю. С. Лигум. – К.: Техника, 1989. – 239 с.
3. Оперативное управление городским пассажирским автотранспортом [Текст] / В. М. Рева и др.; под ред. Ю. С. Лигума. – К.: Техника, 1982. – 176 с.
4. Павленко, Г. П. Автоматизированные системы диспетчерского управления движением пассажирского городского транспорта [Текст] / Г. П. Павленко, В. С. Половников, А. П. Лопатин. – М.: Транспорт, 1979. – 207 с.
5. Белятинский, А. А. Современные системы управления движением [Электрон. ресурс] / А. А. Белятинский, О. В. Шпита, О. П. Басов. – Режим доступа: <http://www.Khadi.Kharkov.ua>.
6. Кременец, Ю. А. Технические средства организации дорожного движения [Текст] / Ю. А. Кременец. – М.: Транспорт, 1990. – 255 с.

Надійшла до редколегії 31.03.2008.

К. В. ДОЛЯ (Управління Головної державної інспекції на автомобільному транспорті у Харківській області)

## ДИФЕРЕНЦІЙОВАНА ОЦІНКА МІСЬКОЇ ПАСАЖИРСЬКОЇ ТРАНСПОРТНОЇ РОБОТИ

Розглянуто сучасний стан системи тарифоутворення на міському маршрутному пасажирському транспорті. Зазначено, що в умовах діючої системи єдиного тарифу величина плати за проїзд не залежить від відстані поїздки, внаслідок чого величина тарифу не відповідає розміру отриманої пасажирами послуги. Запропоновано диференційований підхід щодо визначення величини тарифу залежно від міської пасажирської транспортної роботи, що буде враховувати інтереси як перевізника, так і пасажирів.

Рассмотрено современное состояние системы тарифообразования на городском маршрутном пассажирском транспорте. Отмечено, что в условиях действующей системы единого тарифа величина платы за проезд не зависит от расстояния поездки, вследствие чего величина тарифа не соответствует размеру получаемой пассажирами услуги. Предложен дифференцированный подход к определению величины тарифа в зависимости от городской пассажирской транспортной работы, что позволит учитывать интересы как перевозчика, так и пассажиров.

The up-to-date tariffs system state of the city route passenger transport is considered. The fare rate as to the current blanket one is noted not to be changing on the travel distance. Consequently, the fare doesn't correspond to the service rate obtained by the passengers. The differentiated approach to determination of fare rate depending upon the city passenger transportation work taking into account the interests of a carrier as well as passengers is suggested.

### Вступ

Транспорт є одним із секторів економіки, результати якого повною мірою відчувають на собі мешканці муніципальних утворень. Це визначає істотний вплив міського пасажирського транспорту як на ефективність міської економіки в цілому, так і на якість реалізації основних соціальних функцій. В умовах розвитку ринкових відносин головна роль у вирішенні проблем даного сектору міського господарства належить виконавчій владі муніципальних утворень. Можливими заходами в цьому напрямку є встановлення обмежень на величину затвердженого тарифу на перевезення з урахуванням соціально-економічних складових і забезпечення належного контролю з боку державних органів.

### Аналіз публікацій

При встановленні тарифу на перевезення слід прагнути до визначення його об'єктивної величини, що сприятиме створенню умов для підвищення фінансово-економічної стійкості й ефективності роботи перевізників, поліпшенню якості послуг і створенню умов, що стимулюють користування населенням послугами пасажирського транспорту [1].

Система тарифів принципово може передбачати різні варіанти оплати пасажирами проїзду на маршрутах міського пасажирського транспорту. В практиці пасажирських перевезень застосування знайшли: система єдиного тарифу і система диференційованих тарифів. При системі єдиного тарифу вартість проїзду пасажира не залежить від відстані поїздки у межах одного маршруту. Диференційовані тарифи (або тарифи за відстанню) передбачають сплату за проїзд пасажирами в залежності від відстані їх поїздки [2, 3].

### Мета дослідження

Метою даної роботи є розробка підходу щодо оцінки міської пасажирської транспортної роботи.

### Основний матеріал

Здебільш тарифи на перевезення пасажирів утворюються шляхом проведення калькуляції, яку перевізник подає до державних органів для затвердження величини тарифу. За даних обставин можливість в коригуванні тарифу більшою частиною належить перевізнику, який при проведенні калькуляції, зменшуючи величину обсягу перевезень з урахуванням змін вартості палива, мастильних матеріалів, має можливість

отримання широкого діапазону значень. Нерідко для встановлення найбільш вигідного для перевізника тарифу останній виконує калькуляцію експлуатаційних витрат з урахуванням використання в якості палива таких марок бензину, як А-95 та А-83, які є технологічно передбаченими для експлуатації багатьох марок пасажирського транспорту, що використовуються в даний час на ринку пасажирських перевезень. Проте в дійсності зазначені транспортні засоби використовують газове пальне, що значно зменшує собівартість перевезень і, як наслідок, збільшує прибуток перевізника. Використовуючи таку постановку питання, перевізники масово підвищують тарифи у період сезонних коливань вартості палива (весна, осінь). Підвищення тарифу на перевезення весною надає можливість в отриманні звичного перевізнику прибутку влітку, при сезонному зниженні обсягів перевезень. Восени підвищення тарифу зберігає прибуток перевізника при збільшенні витрат палива на експлуатацію транспортних засобів в зимовий період.

Спираючись на отриману від перевізника заяву про підвищення тарифу на перевезення пасажирів на маршруті, державні органи недостатньо уваги приділяють перевірці відповідності проведеної калькуляції до реальних умов. Однією з причин такого становища є відсутність власної служби з обстежень пасажиропотоків у муніципальної влади та можливості замовлення даних обстежень (через обмеженість місцевих бюджетів).

Таким чином, з урахуванням відсутності належного контролю з боку державної влади у перевірці використаних перевізником первинних даних для обчислення собівартості перевезень, регулювання тарифу на проїзд у міському пасажирському транспорті фактично передано в руки перевізників, які, скориставшись можливістю, прагнуть до встановлення величини тарифу, виходячи з власних потреб, та нехтують інтересами пасажирів. Це призвело до ситуації, при якій очевидно різні в техніко-економічному порівнянні маршрути, мають однакову величину плати за проїзд.

Розрахунок економічно обумовленої величини тарифу на міські перевезення можливо проводити за наступною формулою [1]:

$$T = [P(1 + H/100)]/Q, \quad (1)$$

де  $P$  – величина економічно обґрунтованих витрат на експлуатаційну діяльність підприємства, отримана в результаті розрахунку бізнес-планів, грн;

$H$  – середня економічно обґрунтована норма валового прибутку перевізників, %;

$Q$  – планований обсяг перевезень пасажирів, пас.

Змінні витрати перевізника є кількісним показником, величина якого прямо пропорційно залежить від пробігу транспортного засобу. Це обумовлює аналогічний вид залежності між пробігом та загальною величиною витрат на експлуатаційну діяльність підприємства. В той же час, спостерігається прямо пропорційна залежність величини тарифу від значення загальних витрат на експлуатаційну діяльність підприємства, рівня рентабельності перевезень та зворотно пропорційна від планованого обсягу перевезень пасажирів.

Пробіг, а як наслідок і експлуатаційні витрати на паливно-мастильні матеріали перевізника обумовлені довжиною маршруту.

З метою визначення впливу довжини маршруту на величину тарифу проведемо розрахунки для наступних вихідних умов: перевезення здійснюються автобусами ПА3-322305; вид палива – пропан; кількість перевезених пасажирів за рейс – 40; державні субсидії відсутні, як наслідок, пільговий контингент відсутній; рівень рентабельності двадцять відсотків, довжина маршруту п'ять, десять та п'ятнадцять кілометрів; інші параметри, що використовуються для проведення розрахунків, приймаємо постійними. Отримані значення використовуємо для побудови графіку залежності величини економічно обґрунтованого тарифу ( $T$ ) від довжини маршруту ( $L_m$ ) (рис. 1). Отримані дані використовуємо для визначення функціональної залежності тарифу від довжини маршруту методом математичної прямої інтерполяції (формула Лагранжа):

$$T = 0,59(L_m - 15)(L_m - 10)/50 - 0,73(L_m - 5) \times \\ \times (L_m - 15)/25 + 0,84(L_m - 5)(L_m - 10)/25, \quad (2)$$

де  $L_m$  – довжина маршруту.

Водночас не є правомірним вживання єдиного тарифу на перевезення пасажирів за маршрутом в цілому, а саме: користувач під час здійснення маршрутної поїздки, не має можливості скористатись послугою з перевезення на одну одиницю відстані або на декілька таких одиниць.

В умовах єдиного тарифу пасажир сплачує за проїзд встановлену величину тарифу незалежно від розміру отриманої послуги. Таким чином, пасажир позбавлений можливості сплачувати за дійсно отриманими ними послуги.

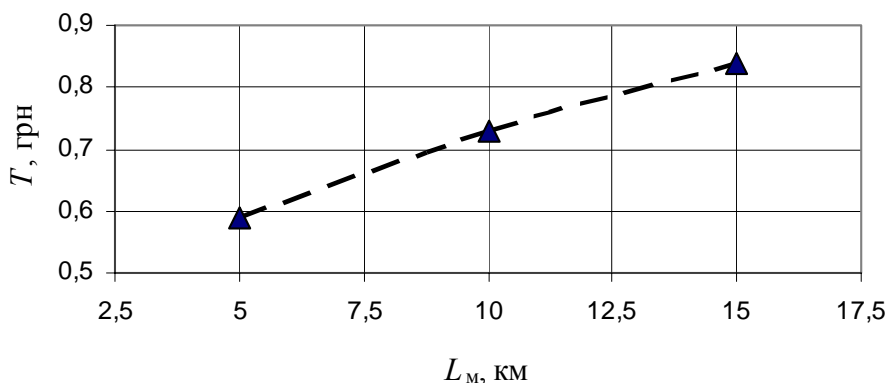


Рис. 1. Залежність величини економічно обґрунтованого тарифу від довжини маршруту

Скасування даної невідповідності можливо шляхом встановлення величини тарифу та отримання плати за проїзд залежно від її відстані. Для цього розіб'ємо маршрут довжиною  $L$  на  $j$  частин, при цьому частини  $j$  є його підмаршрутами. На основі даних про обсяги перевезень для виділених частинах маршруту обчислимо тарифи на перевезення пасажирів для всіх підмаршрутів.

Пасажир, користуючись послугою з перевезення, має можливість проїзду від ділянки  $L_1$  до  $L_j$ , у даній ситуації тариф його проїзду складатиме  $T = T_1 + T_2 + \dots + T_j$ .

Для отримання максимально уточненого тарифу кількість частин  $j$  має наближуватись до нескінченності, проте це призводить до неможливості вживання даного методу тарифікації на практиці. Для практичного застосування даного методу зональної оплати проїзду розіб'ємо маршрут на підмаршрути по зупинках із максимальним пасажирообміном. Для отриманих підмаршрутів (зон) розраховуються тарифи.

Особа, відповідальна за збір коштів за проїзд пасажирів, забезпечується квитками, підтверджуючими здійснення плати, для кожної зони окремо. Таким чином, пасажир отримує у касира декілька квитків та сплачує сумарну вартість проїзду по зонах, або один квиток у разі переміщення в межах однієї зони. При цьому величина плати за проїзд становитиме:

$$T = \sum_{j=1}^n T_j, \quad (3)$$

де  $T_j$  – тариф на перевезення у відповідній зоні;  
 $n$  – кількість тарифних зон.

Таким чином, запропонований метод тарифікації дозволяє застосовувати диференційовану величину сплати пасажирами за проїзд залежно від його відстані. Це забезпечить отримання перевізником величини прибутку залеж-

но від виконаної транспортної роботи, а пасажиру витрати коштів згідно до отриманої послуги.

### Висновки

Сучасний стан тарифоутворення на міському маршрутному пасажирському транспорті характеризується недостатньо належним контролем з боку державних органів. Це призводить до економічно безпідставних тарифів, які завищують витрати населення на переміщення, та позбавляють можливості направлення даних коштів на задоволення інших потреб, що в свою чергу гальмує соціально-економічний розвиток населення.

Встановлення величини тарифу залежно від відстані поїздки забезпечить отримання перевізником величини прибутку залежно від виконаної транспортної роботи, а пасажиру – сплату за проїзд згідно до отриманої послуги.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Шефтер, Я. И. Разработка методических рекомендаций по тарифообразованию на пассажирские перевозки в городском и пригородном сообщении [Текст] / Я. И. Шефтер. – М.: НИИАТ, 2005. – 64 с.
2. Спирин, И. В. Перевозка пассажиров городским транспортом [Текст] / И. В. Спирин. – М.: Академкнига, 2004. – 413 с.
3. Анисимов, А. П. Экономика, организация и планирование работы автомобильного транспорта [Текст] / А. П. Анисимов, В. К. Юфин. – М.: Транспорт, 1980. – 328 с.

Надійшла до редколегії 31.03.2008.

В. К. ДОЛЯ, Е. И. ЛЕЖНЕВА (Харьковская национальная академия городского хозяйства)

## К УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ В СИСТЕМАХ ЛОГИСТИКИ

Проведено аналіз моделей представлення й оцінки ризиків стосовно до систем логістики при керуванні процесами в ланцюгах постачань.

Проведен анализ моделей представления и оценки рисков применительно к системам логистики при управлении процессами в цепях поставок.

The analysis of models of risk representation and estimation as applied to logistic systems at management of processes in delivery chains is conducted.

### Введение

В условиях рыночной экономики особенно важно уметь использовать методы принятия решений в условиях риска. К задачам принятия решений в условиях риска и неопределенности можно отнести проблемы, в рамках решения которых при соответствующем анализе оказывается, что из-за влияния «внешних», не зависящих от лица, принимающего решения (ЛПР), случайных воздействий или факторов конечный экономический результат для рассматриваемых решений заранее не определен. Каждое ЛПР может по-своему относиться к рискам или возможным потерям применительно к анализируемым ситуациям. Поэтому, определяя для одной и той же задачи управления рисками (или задачи принятия решения в условиях неопределенности) наилучшее или оптимальное решение, но применительно к различным ЛПР, можно получать соответственно и различные рекомендации. Следует отметить, что в этом нет никакого противоречия, поскольку каждый участник рынка может и должен уметь реализовать именно свое отношение к риску и возможным потерям при поиске наилучшего решения.

### Анализ публикаций

Одной из важнейших ключевых проблем в финансовой и предпринимательской деятельности является проблема соотношения, или баланса, между риском и доходом. Что же такое риск? Рассмотрим это понятие на содержательном уровне. В словаре Уэбстера риск определяется как «опасность, возможность убытка или ущерба» [1]. Следовательно, применительно к анализу конечного экономического результата риск отождествляется с возможностью поступления какого-либо неблагоприятного события,

влияющего на такой результат: например, потери некоторой части или всего дохода, появление дополнительных расходов и т.п. Другими словами, под риском понимается возможная опасность потерь, вытекающая из специфики тех или иных явлений природы и человеческой деятельности.

В общем случае риск следует рассматривать с различных позиций. Соответственно, риск может «выступать» в качестве различных категорий: это и историческая, и социально-психологическая, и экономическая категории, в том числе и формально-математическая категория [2]. Необходимо отметить, в частности, что риск как экономическая категория обуславливается группой случайных событий, каждое из которых может произойти или не произойти. При реализации конкретного события из указанной группы соответствующие оценки конечного результата на качественном уровне могут характеризовать три типа возможных экономических результатов: отрицательный (проигрыш, ущерб, убыток); нулевой (статус-кво) и положительный (выигрыш, выгода, прибыль). С понятием риска связывают, как правило, вероятность отрицательного (в некоторых ситуациях и нулевого) экономического результата.

### Постановка задачи

Рисками можно управлять, а именно: можно использовать различные приемы, методы, средства и подходы для перераспределения соответствующего возможного экономического результата с целью достижения наилучшего или более приемлемого баланса между ожидаемым доходом и соответствующим риском. Изучению таких возможностей при управлении логистическими процессами в цепях поставок для

систем логистики и посвящена данная публикация.

### Решение задачи

На формальном теоретико-множественном уровне определение риска по Уэбстеру требует существенной доработки. В зависимости от того, на какое из указанных понятий ЛПР пожелает сделать акцент (т.е. либо на понятие «возможность», либо на понятие «ущерб» или «убыток», либо, например, «возможный убыток» и т.д.), далее предполагается и соответствующее отношение ЛПР к введению меры риска применительно к анализу логистических процессов для конкретного звена/звеньев цепи поставок. Как в научной литературе по теории рисков, так и на практике встречается весьма неоднозначное понимание риска, причем вкладываемое в это понятие содержание может довольно сильно различаться. Это обуславливается:

- 1) различием и многообразием возможных реальных ситуаций, связанных с риском;
- 2) различием и многообразием возможных последствий в таких ситуациях, которые необходимо учитывать;
- 3) различным отношением к риску или неопределенности экономического результата соответствующего ЛПР в рамках таких ситуаций.

Однако, несмотря на все многообразие различий имеющихся подходов к определению и оценке рисков, при этом во всех случаях и во всех ситуациях имеется некоторое общее «ядро», которое и является отличительной особенностью для понятия риска. А именно – недостаток информации (имеется в виду точное знание того, какие именно случайные события и какая именно реализация соответствующей случайной величины определяет значение конечного экономического результата в будущем), включающий:

- неуверенность в том, произойдет ли нежелательное событие и возникнет ли при этом неблагоприятное состояние;
- стохастический характер конечного экономического результата.

При этом анализ и сравнение альтернатив (т.е. различных предложений, операций, проектов и т.п.) в условиях риска применительно к каждому ЛПР означает анализ и сравнение преобразований (соответствующего капитала ЛПР до и после реализации альтернативы):

$$W_0 \rightarrow W_f, \quad (1)$$

где  $W_0$  – начальный капитал ЛПР;

$W_f$  – соответствующий конечный результат для ЛПР применительно к анализируемой альтернативе (как случайная величина).

Рассмотрим возможные ситуации, характеризующиеся тем, что акцент в определении понятия риска на содержательном уровне делается на слово «возможность», т.е. риск отождествляется с возможностью наступления какого-либо неблагоприятного события. Применительно к задачам управления рисками в цепях поставок такие ситуации в отдельных случаях могут обуславливаться, например, возможностью полной или частичной потери груза. Величину риска для ситуации рассматриваемого типа можно определять как вероятность наступления соответствующего неблагоприятного события с катастрофическими последствиями:

$$R = P(A), \quad (2)$$

где  $R$  – величина риска (или просто риск);

$P(A)$  – вероятность нежелательного события, последствия которого признаются катастрофическими.

Заметим, что очевидным математическим аспектом такого подхода к определению величины риска является возможность использования соответствующих методов, приемов и правил теории вероятности, математической статистики и математической теории надежности для определения показателя величины риска применительно к анализируемым логистическим процессам в рамках конкретной системы логистики. Такие методы представлены в книгах Райкина А. Л., Креденцера Б. П. и Коваленко И. Н. [3, 4, 5].

Представим теперь ситуации, когда акцент в определении понятия риска на содержательном уровне делается на слове «ущерб». При этом дополнительно в рамках такой модели принимается то, что возможные отклонения конечного экономического результата будут только в неблагоприятную для ЛПР сторону. На формальном уровне это означает, что на вероятностном пространстве  $(\Omega; A; P)$ , когда  $\Omega$  – пространство всех элементарных исходов для рассматриваемой ситуации,  $A$  – нежелательное событие и  $P$  – соответствующая вероятностная мера, рассматривается случайная величина  $L$ , которую можно интерпретировать как ущерб или потери, определяющая отображение пространства элементарных исходов  $\Omega$  на числовую ось и представляющая реализацию численного значения случайного размера ущерба.

Соответственно, в рамках такой модели вместо анализа интересующего ЛПП преобразования (1) из-за требования учета только отрицательных последствий для конечного экономического результата (представляемого случайным ущербом  $L$ ) ЛПП будет уже анализировать преобразование:

$$W_0 \rightarrow W_{f_0} - L, \quad (3)$$

где  $W_{f_0}$  – оптимистическое значение для  $W_f$  применительно к случаю, когда ущерба не будет, т.е. когда  $L = 0$ .

Отличительная особенность возможных моделей коммерческих рисков состоит в том, что для них экономический результат характеризуется как возможной прибылью, так и возможными убытками относительно соответствующего ожидаемого (например, принимаемого в расчетах) значения конечного результата для анализируемой альтернативы (сделки, проекта и т.п.). В таких ситуациях понятие риска обычно воспринимается именно как «риск отклонения» реализуемого экономического результата альтернативы от запланированного. Другими словами, при сравнении альтернатив для ЛПП с начальным капиталом  $W_0$  применительно к таким ситуациям необходимо учитывать не только саму величину соответствующего среднего ожидаемого экономического результата (например, представленного величиной ожидаемого дохода или прибыли), но и показатель возможного его отклонения от ожидаемого расчетного значения.

Основная гипотеза, позволяющая анализировать интересующие нас ситуации, связанные с коммерческими рисками, заключается в том, что для ЛПП любое конкретное значение конечного экономического результата применительно к анализируемой альтернативе принимается в качестве реализации случайной величины, определяемой на некотором вероятностном пространстве  $(\Omega; A; P)$  и представляющей соответствующий конечный экономический результат.

При сравнении альтернатив (при известном начальном капитале для ЛПП) в условиях риска для соответствующего случайного конечного экономического результата необходимо учитывать два показателя: показатель математического ожидания для конечного экономического результата  $m$  и соответствующий показатель среднеквадратического отклонения  $\sigma_m$ , харак-

теризующий величину ожидаемого отклонения реализуемого значения экономического результата от расчетного значения  $m = M(W_f)$ . Поэтому для рассматриваемого типа моделей именно величину  $\sigma_m$  (в некоторых случаях – величину  $\sigma_m^2$ ) целесообразно принимать в качестве меры риска:

$$R = \sigma_m. \quad (4)$$

Соответственно, анализ и сравнение альтернатив в условиях риска будет подразумевать анализ и сравнение для конкретного ЛПП соответствующих преобразований его капитала типа:

$$W_0 \rightarrow (m; \sigma_m). \quad (5)$$

Естественно, в рамках преобразований такого типа параметр  $m$  характеризует ожидаемое значение конечного результата для ЛПП, а параметр  $\sigma_m$  – соответствующий риск.

### Выводы

Рассмотренные модели позволяют не только сравнивать различные имеющиеся альтернативные варианты организации логистического процесса в условиях риска, но и эффективно управлять соответствующими рисками. Применение таких моделей при решении задач управления рисками в области логистики даст возможность более эффективно проводить организацию логистических процессов в соответствующих звеньях цепей поставок.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. New Webster's Dictionary of the English Language. College Edition [Текст]. – Delhi: Subject Publications, 1999.
2. Балабанов, И. М. Риск-менеджмент [Текст] / И. М. Балабанов. – М.: Финансы и статистика, 1996.
3. Райкин, А. Л. Элементы теории надежности технических систем [Текст] / А. Л. Райкин. – М.: Советское радио, 1978.
4. Креденцер, Б. П. Прогнозирование надежности систем с временной избыточностью [Текст] / Б. П. Креденцер. – К.: Наук. думка, 1978.
5. Коваленко, И. Н. Исследования по анализу надежности сложных систем [Текст] / И. Н. Коваленко. – К.: Наук. думка, 1975.

Поступила в редколлегию 31.03.2008.

В. К. ДОЛЯ, В. Ф. ХАРЧЕНКО, Д. М. РОСЛАВЦЕВ (Харківська національна академія міського господарства)

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГАХ

У статті розглянуто питання ефективності роботи автомобільного транспорту в логістичному ланцюзі. На основі побудованої математичної моделі функціонування логістичного ланцюга проведено ряд досліджень відносно впливу характеристик транспортного учасника (на прикладі автомобільного транспорту) на ефективність функціонування інших учасників і ланцюга в цілому.

В статье рассмотрен вопрос эффективности работы автомобильного транспорта в логистической цепи. На основе построенной математической модели функционирования логистической цепи проведен ряд исследований относительно влияния характеристик транспортного участника (на примере автомобильного транспорта) на эффективность функционирования остальных участников и цепи в целом.

In the article an issue of efficiency of operation of a car transport in a logistic chain is considered. On the basis of constructed mathematical model of the logistic chain functioning a number of studies re. influence of the features of a transport participant (on example of a car transport) on efficiency of operation of other participants and the chain as a whole is carried out.

### **Постановка проблеми в загальному вигляді і її зв'язок з найважливішими науковими і практичними завданнями**

Сучасний рівень конкуренції на ринку споживчих товарів виводить питання ефективності функціонування логістичного ланцюга до найважливіших. Сучасна логістика розглядається як засіб досягнення конкурентних переваг, основою яких є зменшення загальних витрат, пов'язаних із просуванням матеріалопотоку при збереженні необхідного рівня якості цього процесу (на основі [1 – 4]). Значний відсоток перевезень в логістичних ланцюгах виконує автомобільний транспорт, особливо це стосується логістичних ланцюгів, які територіально розташовані в межах міста. Тому підприємства автомобільного транспорту розглядають як учасників логістичного ланцюга, на долю яких припадає значна складова витрати на просування матеріалопотоку. Отже можна визначити науковий і практичний інтерес до питань ефективності функціонування автомобільного транспорту в логістичному ланцюзі, методів і підходів щодо її підвищення.

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

Для дослідження питань ефективності функціонування логістичного ланцюга було визначено критерій ефективності [5], розроблено математичну модель роботи окремих учасників і системи в цілому [6, 7], на якій проведено ряд досліджень [7]. В межах даної статті розгляну-

то питання впливу характеристик транспортного учасника на ефективність функціонування логістичного ланцюга.

### **Основний матеріал**

Однією з основних характеристик транспортного учасника є марка транспортного засобу, що використовується. В свою чергу, марку транспортного засобу в межах логістичного ланцюга характеризує група факторів, основними серед яких після попереднього аналізу прийняті наступні: вартість транспортного засобу, тариф за кілометр пробігу, тариф за годину роботи, обсяг витрат палива. Необхідно підкреслити, що на ефективність роботи транспорту в реальних умовах має вплив велика кількість факторів, значними серед яких є витрати на ремонт і обслуговування. Їх величину обумовлює марка транспортного засобу, кліматичні та дорожні умови, в яких експлуатується транспорт, інтенсивність експлуатації, наявність технічного персоналу та його кваліфікація, інші умови. Враховуючи це, можна визначити, що формування витрат, пов'язаних з ремонтом і обслуговуванням транспортного засобу, потребує додаткових досліджень.

Усереднюючи дані, отримані при проведенні обстежень транспортних підприємств, що надають послуги по перевезенню вантажів в межах м. Харкова, а також використовуючи цінові пропозиції щодо нових транспортних засобів – бортових фургонів різних марок і їх

характеристик, було визначено значення показників, що характеризують марку транспортного засобу на ділянці «склад розподільчого центру – роздрібна мережа» (ТП2).

Використовуючи результати, отримані при дослідженні факторів, які характеризують марку транспортного засобу, визначено вплив вантажопідйомності транспортного засобу на величину відношення чистої приведеної вартості ( $NPV$ ) до витрат ( $C$ ) окремих учасників і системи в цілому. Розрахунки проведено при місячному обсязі матеріалопотоку в системі ( $Q_{\text{сис}}$ ) 600 т.

За результатами розрахунків побудовано графік залежності відношення  $NPV$  до  $C$  від вантажопідйомності транспортного засобу, рис. 1.

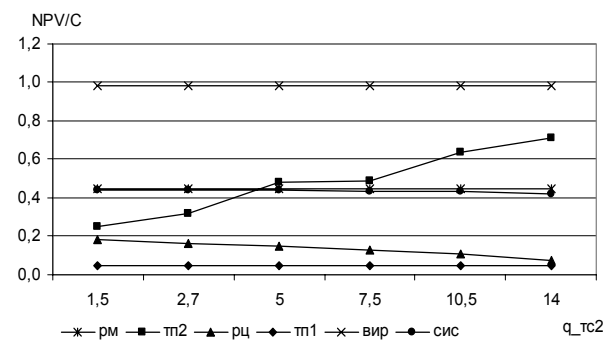


Рис. 1. Графік залежності величини відношення  $NPV$  до  $C$  окремих учасників і системи в цілому від вантажопідйомності транспортного засобу при місячному обсязі матеріалопотоку 600 т:

✱ - роздрібна мережа (рм); ▲ - розподільчий центр (рц); ■ - транспортне підприємство на ділянці розподільчий центр – роздрібна мережа (тп2); ✕ - виробник (вир); ◆ - транспортне підприємство на ділянці виробник – розподільчий центр (тп1); ● - система (сис)

Отримані результати дозволяють дійти висновку, що в заданих умовах збільшення вантажопідйомності транспортного засобу позитивно впливає на результати роботи транспортного учасника і негативно на результати роботи розподільчого центру. Для інших учасників досліджуваної системи (виробника (вир), транспортного учасника на ділянці «виробник – розподільчий центр» (тп1), роздрібною мережі (рм)) результат роботи залишається незмінним. Отримані розрахунки свідчать, що найкращий результат роботи з точки зору обраного критерію для транспортного учасника «тп2» буде при використанні транспортного засобу вантажопідйомністю 14 тонн, а для розподільчого центру – 1,5 тонни. Цим обумовлено наявність оптимуму системи (сис) при використанні

транспортного засобу вантажопідйомністю 5 тонн.

Для визначення реакції системи на збільшення обсягу матеріалопотоку проведено аналогічні дослідження при місячному обсязі матеріалопотоку 1200, 1800, 2400 і 3000 т. Результати досліджень у вигляді графіку при місячному обсязі матеріалопотоку 1800 т і 3000 т наведено на рис. 2, 3 відповідно.

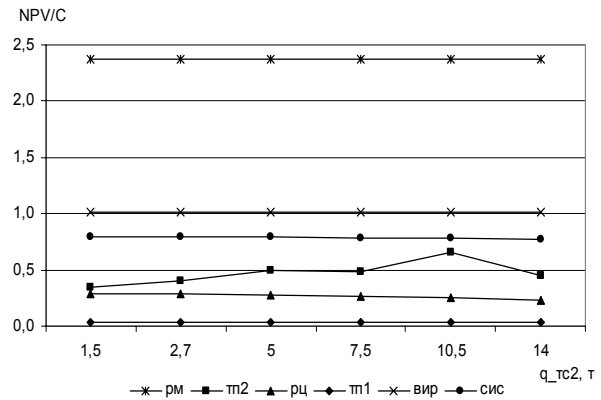


Рис. 2. Графік залежності величини відношення  $NPV$  до  $C$  окремих учасників і системи в цілому від вантажопідйомності транспортного засобу при місячному обсязі матеріалопотоку 1800 т

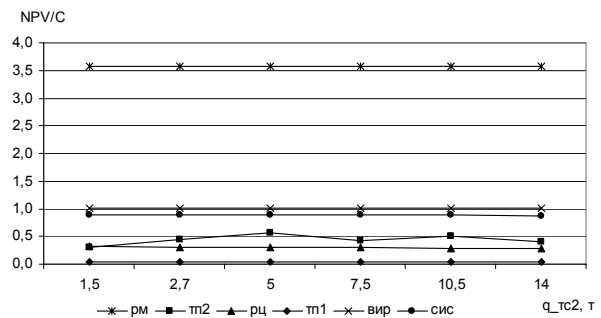


Рис. 3. Графік залежності величини відношення  $NPV$  до  $C$  окремих учасників і системи в цілому від вантажопідйомності транспортного засобу при місячному обсязі матеріалопотоку 3000 т

Аналізуючи отримані дані, можна дійти висновку, що при будь-якому обсязі матеріалопотоку в досліджуваних умовах збільшення вантажопідйомності транспортного засобу негативно впливає на результат роботи розподільчого центру. Проте результати роботи транспорту «тп2» в цих умовах мають дискретний характер, що обумовлено дискретністю транспортного процесу. Вантажопідйомність значно впливає на тривалість і максимально можливу кількість обертів транспортного засобу за час обслуговування роздрібною мережі. Тому при однаковому рівні якості обслуговування роздрібною мережі, яка в межах даної роботи зада-

на часом обслуговування і вимогою до добового обсягу заводу, спостерігається значна різниця у ступені використання транспортних засобів. Це підтверджують графіки залежності облікової кількості транспортних засобів ( $A_{тс2}$ ) від вантажопідйомності, рис. 4.

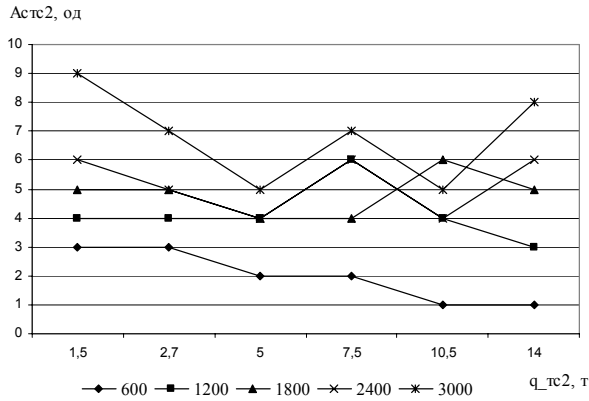


Рис. 4. Графік залежності облікової кількості транспортних засобів в логістичному ланцюзі від вантажопідйомності

Проте, зміна вантажопідйомності транспорту (в даному випадку марки) має певні наслідки для розподільчого центру, які насамперед пов'язані зі зміною тарифів на роботу транспорту відповідної вантажопідйомності і зміною потрібної кількості навантажувачів. Це є причиною наявності оптимальної вантажопідйомності транспортного засобу з точки зору системи, рис. 5.

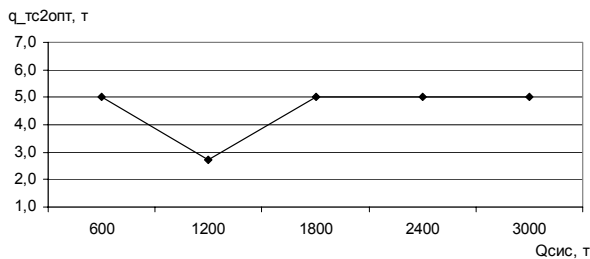


Рис. 5. Графік залежності вантажопідйомності величини відношення  $NPV$  до  $C$  системи від місячного обсягу матеріалопотоку транспортного засобу при максимальному значенні

## Висновки

Неоднозначність впливу вантажопідйомності транспортного засобу на ділянці «розподільчий центр – роздрібна мережа» на ефективність роботи системи обумовлена дискретною величиною пов'язаних з нею параметрів технологічного процесу перевезень, насамперед максимально можливої кількості обертів за добу, які стрибкоподібно впливають на функцію відклику.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чухрай, Н. І. Формування ланцюга поставок: питання теорії і практики [Текст]: монографія / Н. І. Чухрай, О. Б. Гірна. – Львів: Інтеллект-захід, 2007. – 232 с.
2. Ларина, Р. Р. Логистика в управлении организационно-экономическими системами [Текст]: монографія / Р. Р. Ларина, В. Л. Пилюшенко, В. Н. Амитан. – Донецк: Изд-во ВИК, 2003. – 239 с.
3. Воркут, Т. А. Проективання систем транспортного обслуговування в ланцюгах поставчань [Текст]: монографія / Т. А. Воркут. – К.: НТУ, 2002. – 248 с.
4. Николайчук, В. Е. Теория и практика управления материальными потоками (логистическая концепция) [Текст]: монографія / В. Е. Николайчук, В. Г. Кузнецов. – Донецк: КИТИС, 1999. – 413 с.
5. Рославцев, Д. М. Визначення критерію ефективності функціонування логістичних систем [Текст] / Д. М. Рославцев // Проблемы подготовки профессиональных кадров по логистике. – К., 2005. – 213 с.
6. Рославцев, Д. Н. Анализ факторов модели логистической системы [Текст] / Д. Н. Рославцев // Зб. наук. пр. НГУ. – № 24. – Д.: НГУ, 2006. – С. 43-46.
7. Рославцев, Д. М. Технологія роботи учасників як основа формування витрат логістичної системи [Текст] / Д. М. Рославцев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 3/6 (27). – С. 3-6.

Надійшла до редколегії 31.03.2008.

## ТРИВАЛІСТЬ ОСАДЖУВАННЯ ВАГОНІВ І ФАКТОРИ, ЩО НА НЕЇ ВПЛИВАЮТЬ

Встановлено вид рівнянь регресії, які адекватно описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів і факторами, що впливають на середню тривалість осаджування у розрахунку на один перероблений вагон. Запропоновано розв'язання задачі визначення середньої тривалості осаджування у розрахунку на один состав у залежності від вагової категорії вагонів у потоці, що переробляється.

Установлен вид уравнений регрессии, адекватно описывающих связь между ошибкой торможения отцепов и факторами, влияющими на среднюю продолжительность осаживания на один переработанный вагон. Предложено решение задачи определения средней продолжительности осаживания на один состав в зависимости от весовой категории вагонов в перерабатываемом потоке.

A type of regression equations is determined, which adequately describe correlation between the error of braking of sets of cars and the factors affecting mean duration of reining in on one processed car. The solution for problem of determination of mean duration of reining in on one train depending on the weight category of cars in the stream being processed is offered.

Насущною проблемою сьогодення є зменшення тривалості знаходження вагонів на технічних станціях, що дозволяє скоротити обіг вагонів і їх робочий парк.

Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є зменшення тривалості виконання маневрових операцій, і зокрема, операцій з осаджування вагонів на коліях сортувального парку для ліквідації «вікон».

Величина «вікон» між групами вагонів на сортувальних коліях і витрати, що пов'язані з їх ліквідацією, залежать від якості прицільного регулювання швидкості скочування вагонів з сортувальної гірки.

Середня тривалість осаджування у розрахунку на один состав залежить від середньої кількості вагонів у ньому  $m_c$ , середньої кількості операцій осаджування  $P_{oc}$  і середньої довжини «вікна»  $l_{вік}$  на один перероблений вагон, тривалості піврейса заїзду на сортувальну колію (та повернення з сортувальної колії) окремого локомотива  $t_1$ , швидкостей осаджування  $v_{oc}$  і руху окремого локомотива по сортувальній колії під час його повернення в бік гірки після виконання осаджування  $v_{л}$  і згідно [1] визначається за формулою:

$$T_{oc} = m_c \left[ 2P_{oc}t_1 + 0,06l_{вік} \left( \frac{1}{v_{oc}} + \frac{1}{v_{л}} \right) \right]. \quad (1)$$

Елемент формули (1) у дужках являє собою середню тривалість осаджування у розрахунку на один вагон

$$t'_{oc} = 2P_{oc}t_1 + 0,06l_{вік} \left( \frac{1}{v_{oc}} + \frac{1}{v_{л}} \right). \quad (2)$$

Значення середньої кількості операцій осаджування  $P_{oc}$  і середньої довжини «вікна»  $l_{вік}$  на один перероблений вагон отримано на підставі імітаційного моделювання процесу розформування составів. При цьому загальна енергія відчепів, що погашається на гальмових позиціях, визначається за умови забезпечення заданої швидкості в точці прицілювання (5 км/год.). Значення швидкості виходу з паркової гальмової позиції визначається з урахуванням характеристик самого відчепів, крутизни ухилу сортувальних колій, яка становила 0,6 ‰, дальності пробігу по сортувальній колії та всіх інших факторів. Моделювання виконано для сортувальної гірки великої потужності на 32 колії.

Аналіз результатів імітаційного моделювання показав, що між похибкою гальмування відчепів (середньоквадратичним відхиленням похибки реалізації швидкості виходу відчепів з гальмової позиції  $\sigma_v$ ) і показниками роботи гірки  $l_{вік}$  і  $P_{oc}$ , а також між ваговою категорією вагонів у потоці, що підлягає переробці, та цими показниками є певний нелінійний кореляційний зв'язок.

Виконаний регресійний аналіз дозволив встановити, що зв'язок між похибкою гальмування  $\sigma_v$  і середньою довжиною «вікна»  $l_{вік}$  та середньою кількістю операцій осаджування  $P_{oc}$  на один перероблений вагон з урахуванням

впливу вагової категорії вагонів у потоці, що переробляється, можна адекватно описати рівнянням регресії виду

$$y = b_0 + b_1 \sigma_v^2. \quad (3)$$

Урахування впливу вагової категорії вагонів є можливим завдяки поділу всієї сукупності дослідних значень на частини та розгляду двох випадків:

1) коли вагони важкої та середньо-важкої вагової категорії у потоці, що переробляється, складають 65 % і більше;

2) коли вагони цих вагових категорій складають менш, ніж 65 %.

За формулою (2) величина  $t'_{oc}$ , крім середньої кількості операцій осаджування  $P_{oc}$  і середньої довжини «вікна»  $l_{вік}$  на один перероблений вагон, також залежить від тривалості піврейса заїзду  $t_1$  і швидкості руху окремого локомотива по сортувальній колії  $v_{л}$ .

Таким чином, певну цікавість являє собою питання визначення впливу цих факторів на середню тривалість осаджування у розрахунку на один вагон.

Згідно [2] під час прямування вільною колією окремого локомотива швидкість його руху може становити не більш, ніж 60 км/год. Зважаючи на те, що згідно [3] допустима швидкість руху кривими радіусом 200 м, які застосовуються у гірковій горловині, становить 40 км/год., значення  $v_{л}$  варіювалося в межах від 5 до 40 км/год., а саме:

- 1) 5 км/год.;
- 2) 7 км/год.;
- 3) 10 км/год.;
- 4) 15 км/год.;
- 5) 20 км/год.;
- 6) 25 км/год.;
- 7) 30 км/год.;
- 8) 35 км/год.;
- 9) 40 км/год.

При цьому, швидкість осаджування вагонів  $v_{oc} = 5$  км/год. [2].

Довжина піврейса заїзду на сортувальну колію окремого локомотива  $l_1$  варіювалася в межах від 140 до 400 м, а саме:

- 1) 140 м;
- 2) 190 м;
- 3) 240 м;
- 4) 290 м;
- 5) 340 м;
- 6) 400 м.

Тривалість виконання піврейса заїзду визначено згідно [4].

Результати розрахунків  $t'_{oc}$  за формулою (2) при  $l_1 = 140 \dots 400$  м і  $v_{л} = 5$  км/год., для прикладу, наведено на рис. 1. При цьому, значення  $P_{oc}$  і  $l_{вік}$  визначено в залежності від похибки гальмування відчепів за рівнянням (3).

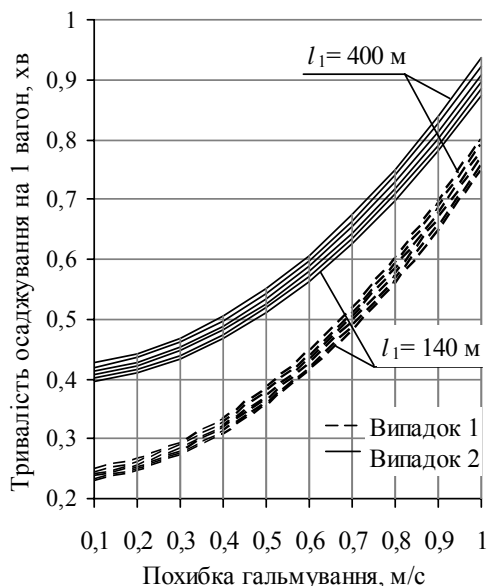


Рис. 1. Криві залежності середньої тривалості осаджування у розрахунку на один вагон від похибки гальмування відчепів

Аналіз отриманих результатів дозволив зробити висновок про незначний вплив довжини  $l_1$  і тривалості  $t_1$  піврейса заїзду на сортувальну колію локомотива на середню тривалість осаджування у розрахунку на один вагон.

Такий висновок дозволив встановити вид рівнянь регресії, що описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою тривалістю осаджування у розрахунку на один вагон при відповідній швидкості руху окремого локомотива  $v_{л}$ , коефіцієнти яких визначаються за методом найменших квадратів [5].

Рівняння для розгляду обиралися за принципом найменшої залишкової дисперсії (або дисперсії відносно лінії регресії)  $D_3$  [6].

Для перевірки адекватності опису результатів експериментів рівнянням регресії використано  $F$ -критерій Фішера [7] і відносне відхилення  $\nu$  дійсних значень  $y_i$  від прогнозних [8]. Прийнято, що рівняння регресії є адекватним, якщо розраховане значення  $F$ -критерію більше табличного  $F_{табл}$  при ймовірності помилки 5 %, а також відносне відхилення  $\nu \leq 10$  %.

Виконані розрахунки показали, що зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою тривалістю осаджування у розрахунку на один вагон у разі довжини піврейса заїзду на сортувальну колію окремого локомотива  $l_1 = 140...400$  м при певній швидкості руху окремого локомотива  $v_{л}$ , можна адекватно описати рівнянням регресії типу

$$t'_{ос} = b_0 + b_1 \sigma_v^2. \quad (4)$$

При цьому, розраховані значення  $F$ -критерію Фішера знаходяться у діапазоні 40,8...209,7, що більше табличного значення (1,64) при ймовірності помилки 5 %. Відносні відхилення дійсних значень від прогнозних  $v$  знаходяться у діапазоні 1,7...3,6 %, що відповідає умові  $v \leq 10$  %.

Для прикладу, криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою тривалістю осаджування у розрахунку на один вагон, у випадку 1, коли вагони важкої та середньо-важкої вагової категорії у потоці, що переробляється, складають 65 % і більше, наведено на рис. 2.

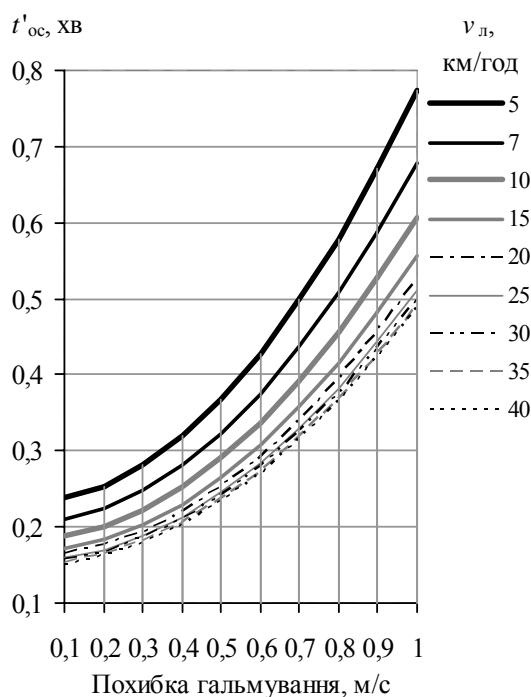


Рис. 2. Криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою тривалістю осаджування у розрахунку на один вагон для випадку 1

Аналіз кривих, які представлено на рис. 2, дозволяє зробити висновок про незначний вплив швидкості руху окремого локомотива по сортувальній колії під час його повернення в

бік горба гірки після виконання осаджування на середню тривалість осаджування у розрахунку на один вагон у разі, якщо  $v_{л} \geq 15$  км/год.

Тому розглянуто можливість отримання рівнянь регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою тривалістю осаджування у розрахунку на один вагон для наступних варіантів:

- 1)  $v_{л} = 5...7$  км/год.;
- 2)  $v_{л} = 7...10$  км/год.;
- 3)  $v_{л} = 10...15$  км/год.;
- 4)  $v_{л} = 15...40$  км/год.

Виконаний регресійний аналіз дозволив встановити, що зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою тривалістю осаджування у розрахунку на один вагон для вказаних вище варіантів швидкості руху окремого локомотива по сортувальній колії  $v_{л}$  при розгляді двох випадків – коли вагони важкої та середньо-важкої вагової категорії у потоці, що переробляється, складають 65 % і більше (1), і, коли вагони цих вагових категорій у потоці складають менш, ніж 65 % (2) – можна адекватно описати рівнянням регресії, що є аналогічним рівнянню (4). Коефіцієнти рівнянь регресії наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Параметри рівнянь регресії

| Швидкість локомотива, км/год. | Випадок | Коефіцієнти рівняння |       |
|-------------------------------|---------|----------------------|-------|
|                               |         | $b_0$                | $b_1$ |
| 5...7                         | 1       | 0,219                | 0,508 |
|                               | 2       | 0,382                | 0,464 |
| 7...10                        | 1       | 0,194                | 0,451 |
|                               | 2       | 0,339                | 0,413 |
| 10...15                       | 1       | 0,175                | 0,409 |
|                               | 2       | 0,306                | 0,375 |
| 15...40                       | 1       | 0,155                | 0,357 |
|                               | 2       | 0,271                | 0,326 |

Критерії перевірки адекватності рівнянь регресії наведено у табл. 2.

При цьому, розраховані значення  $F$ -критерію Фішера знаходяться у діапазоні 18,15...76,58, що більше табличного значення  $F_{табл}$  при ймовірності помилки 5 %. Відносні відхилення дійсних значень від прогнозних  $v$  знаходяться у діапазоні 2,5...7,3 %, що відповідає умові  $v \leq 10$  %.

Таблиця 2

## Перевірка адекватності рівнянь регресії

| $v_{л},$<br>км/год. | Випадок | $F$   | $F_{табл}$ | $\nu,$<br>% |
|---------------------|---------|-------|------------|-------------|
| 5...7               | 1       | 36,31 | 2,19       | 7,3         |
|                     | 2       | 18,15 | 2,19       | 7,1         |
| 7...10              | 1       | 46,45 | 2,19       | 5,4         |
|                     | 2       | 24,90 | 2,19       | 6           |
| 10...15             | 1       | 76,58 | 2,19       | 3,0         |
|                     | 2       | 33,84 | 2,19       | 4,4         |
| 15...40             | 1       | 57,03 | 1,64       | 3,5         |
|                     | 2       | 31,59 | 1,64       | 2,5         |

Криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою тривалістю осаджування у розрахунку на один вагон, наведено на рис. 3.

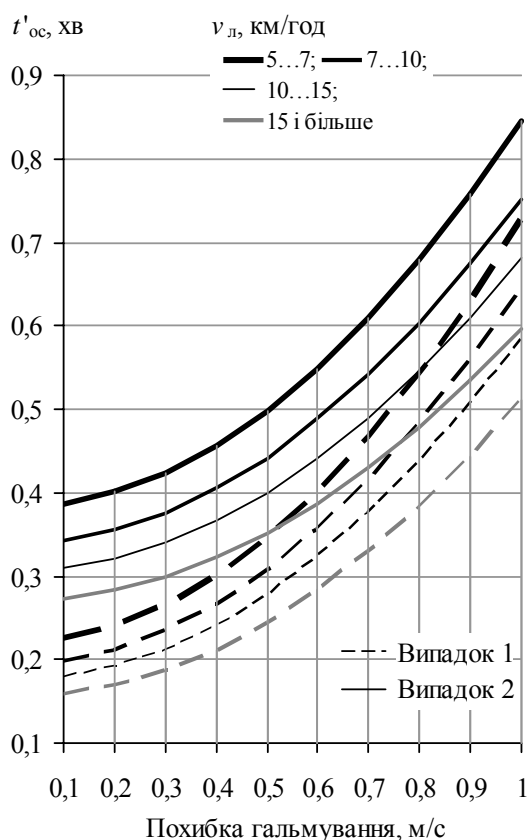


Рис. 3. Криві регресії, які описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою тривалістю осаджування у розрахунку на один вагон

## Висновки

1. Урахування впливу вагової категорії вагонів є можливим завдяки поділу всієї сукупності дослідних значень на частини та розгляду двох випадків:

1) коли вагони важкої та середньо-важкої вагової категорії у потоці, що переробляється, складають 65 % і більше;

2) коли вагони цих вагових категорій складають менш, ніж 65 %.

2. Тривалість півреїса заїзду окремого локомотива на сортувальну колію при його довжині, що коливається у межах 140...400 м, не має суттєвого впливу на середню тривалість осаджування у розрахунку на один вагон.

3. Весь діапазон можливих швидкостей руху окремого локомотива по сортувальній колії під час його повернення в бік гірки після виконання осаджування можна звести до чотирьох випадків і отримати для них рівняння регресії, що адекватно описують зв'язок між похибкою гальмування відчепів і середньою тривалістю осаджування у розрахунку на один вагон.

4. Середня тривалість осаджування у розрахунку на один состав в залежності від похибки гальмування  $\sigma_v$  може бути визначена за формулою:

$$T_{ос} = m_c [b_0 + b_1 \sigma_v^2]. \quad (5)$$

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств [Текст] / Муха Ю. А. и др. – М.: Транспорт, 1994. – 220 с.
2. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України [Текст]. – К., 2005. – 464 с.
3. Норми допустимих швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях Державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 (1524) мм [Текст]. – Київ, 2004. – 51 с.
4. Сотников, И. Б. Эксплуатация железных дорог: в примерах и задачах [Текст] / И. Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1990. – 232 с.
5. Акулиничев, В. М. Математические методы в эксплуатации железных дорог [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. М. Акулиничев, В. А. Кудрявцев, А. Н. Корешков – М.: Транспорт, 1981, – 223 с.
6. Шторм, Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества [Текст] / Р. Шторм. – М.: Мир, 1970. – 368 с.
7. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул [Текст]: учеб. пособие / Е. Н. Львовский. – М.: Высш. школа, 1982. – 224 с.
8. Негрей, Н. П. Прогнозирование размеров работы сортировочных станций с помощью статистических методов [Текст] / Н. П. Негрей // Проблемы проектирования станций и узлов: межвуз. сб. науч. статей / под ред. Н. В. Правдина. – Гомель: БелИИЖТ, 1984. – С. 10-21.

Надійшла до редколегії 08.10.2008.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ AutoCAD В ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

В статті наведені можливості використання тривимірного моделювання системи AutoCAD для виконання графічних задач. На основі наведених досліджень визначено особливості використання системи автоматизованого проектування та запропоновані способи, які дозволяють суттєво зменшити кількість помилок при виконанні креслень.

В статье представлены возможности использования трехмерного моделирования системы AutoCAD для выполнения графических задач. На основе приведенных исследований отмечены особенности применения системы автоматизированного проектирования и предложены способы, позволяющие значительно уменьшить количество ошибок при выполнении чертежей.

Three-dimensional design possibilities of the AutoCAD system for performing graphic tasks are presented in the article. On the basis of the studies conducted the features of application of computer-aided design system are noted and the methods allowing to decrease considerably the quantity of errors at making the drawings are offered.

### **Вступление**

Одним из важных компонентов современного производства являются системы автоматизированного проектирования (САПР). Компьютерная графика, будучи подсистемой САПР, решает наиболее трудоемкое и важное задание САПР: автоматизация разработки и выполнение конструкторской документации. Она обеспечивает создание, хранение и обработку моделей геометрических объектов и их графическое изображение с помощью компьютера [1, 2].

Использование компьютера в конструкторской деятельности значительно облегчает подготовку конструкторских и других графических документов, освобождая конструктора от выполнения рутинных и трудоемких графических операций, сокращает срок оформления документов и улучшает их качество. При автоматизированном выполнении чертежа создается «электронный» эквивалент чертежа, а вместо бумаги и чертежных инструментов используется экран дисплея, клавиатура и манипулятор «мышь».

В диалоге с компьютером могут быть созданы чертежи как с использованием графических примитивов, т.е. неделимых графических объектов: точек, отрезков, окружностей, дуг и т.д., так и фрагментов ранее построенных графических изображений, например, стандартных изделий, типовых конструкций и их частей. Более того, изображения могут быть использованы как элементы более сложных чертежей, что значительно облегчает работу конструктора.

Особенно эффективно использование компьютера при конструировании изделий на базе параметрически заданных унифицированных и типовых элементов конструкций. Задавая значение параметров, можно изменять размеры и геометрическую форму элементов, обеспечивая многовариантность графических изображений и чертежей.

Другой подход к автоматизации конструкторской деятельности состоит в создании трехмерных геометрических моделей изделий и получении на их основе изображений на плоскости. Именно в этом направлении идет развитие современных систем компьютерной графики.

### **Постановка задачи**

Проанализировать сложности применения системы AutoCAD при выполнении графических работ, выделить основные ошибки, допускаемые при черчении, привести данные в табличном виде.

По результатам анализа ошибок рассмотреть приемы более быстрого и оптимального способа построения чертежей и указать основные особенности их выполнения.

### **Основные результаты исследований**

Методы исследования:

При изучении и использовании системы AutoCAD рекомендуется применять метод, обеспечивающий достижение ближайшей дидактической цели: получение новых знаний,

совершенствование имеющихся и их проверку. Метод включает в себя сочетание активных методов изучения с традиционными при изложении учебного материала слушателям.

Практическая реализация метода обучения системе AutoCAD и анализ результатов его введения в учебный процесс:

- построение линий, отрезков прямой с вводом координат крайних точек посредством клавиатуры или указанием их маркером;
- построение окружностей и дуг окружностей;
- задание шести типов линий (сплошная, штриховая, штрихпунктирная и т.д.)
- удаление неправильно сформированных линий;
- нанесение текстовых надписей латинским или русским шрифтами с регулируемым размером символов;
- постановку выносных и размерных линий;
- штриховку областей с замкнутым контуром;
- распечатку содержимого графического экрана на принтере.

Выполняя этот цикл работ, формируется изображение оригинальных деталей на экране дисплея, проставляются размеры, осуществляется синтез сборочного чертежа изделия из изображений типовых деталей.

Исследования проведены по следующим направлениям и этапам:

- применение автоматизированных систем при выполнении чертежей;
- системный подход в преподавании;
- исследовательский метод обучения;
- совершенствование и закрепление знаний, выработка умений и навыков;
- приемы обобщения учебного материала на межпредметной и внутрипредметной основе.

Систематизируя использование программного комплекса, обучение целесообразно проводить в двух направлениях:

- применение системы AutoCAD для изображения графической информации (создание плоских чертежей с помощью плоских примитивов);
- использовать моделирование трехмерных объектов с последующим отображением на видах и создание разрезов.

При анализе чертежей с учетом допущенных в них ошибок, можно подразделять ошибки по двум направлениям:

- ошибки в плоском черчении и в неверном использовании элементов чертежа (несоблюдение стандартов черчения);
- ошибки при моделировании детали.

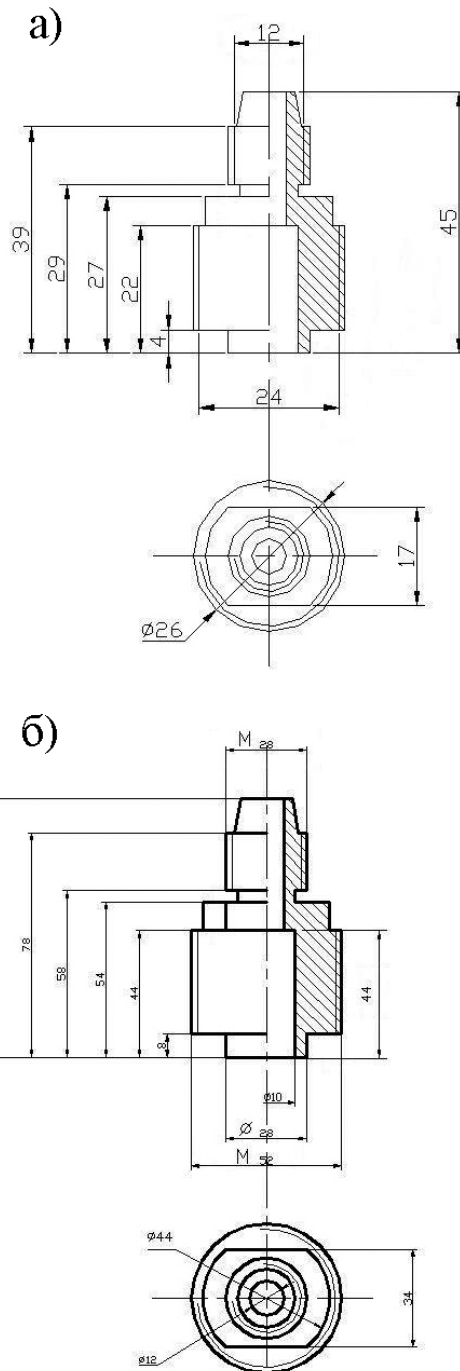


Рис. 1. Плоский чертеж наконечника:  
а) чертеж, выполненный на основе плоских примитивов с ошибками;  
б) чертеж после исправлений

На рис. 1 приведен плоский чертеж наконечника с наиболее часто встречающимися ошибками. При анализе чертежа, созданного на основе плоских примитивов, можно выделить ошибки, часть из них связана со слабыми знаниями программной системы AutoCAD, а другая часть – с недостаточными знаниями требований инженерной графики:

- несоблюдение масштаба изображения;
- неверное указание резьбы на верхней и нижней частях детали, а также ее неправильное обозначение;
- отсутствие ребра на виде спереди от края плоской грани;
- неудачная компоновка и отсутствие некоторых размеров;
- несоблюдение толщины линий на чертеже.

Чертеж, приведенный на рис. 2, представляет собой штуцер, построенный по трехмерной модели с разрезом. В сравнении представлены два чертежа (с ошибками и после исправления). Первоначально обращает на себя внимание отсутствие на виде сверху шестигранной части гайки штуцера (рис. 2а). При построении вида сверху с трехмерной модели этот элемент строится автоматически, и не может отсутствовать, скрытый другими частями детали. Также можно заметить не совсем верное изображение фаски на шестиграннике на виде спереди и отсутствие внутренней резьбы на разрезе, на виде спереди. Все подобные ошибки следует относить к ошибкам построения плоского контура.

Ошибки, приведенные ниже, стоит относить к построению трехмерной модели детали:

- отсутствие фаски на шестигранной поверхности детали;
- отсутствие горизонтальной площадки в конце конической части штуцера;
- отсутствие изображений резьбы на модели детали, которые можно добавить после построения основных изображений.

Неверная толщина линий чертежа на видах спереди и сверху, а также отсутствие некоторых размеров как на разрезе, так и на видах спереди и сверху, следует считать ошибками соблюдения государственных стандартов.

### Выводы

При изучении программной системы AutoCAD закрепляется и увеличивается доля остаточных знаний, полученных при изучении инженерной графики и реализуется принцип преемственности и непрерывности подготовки в области профессиональных графических пакетов.

Применение автоматизированной системы в процессе создания чертежей позволило увеличить точность и правильность выполнения чер-

тежей в соответствии со стандартами на 3 ... 10 %, а скорость выполнения в 1,5...2 раза.

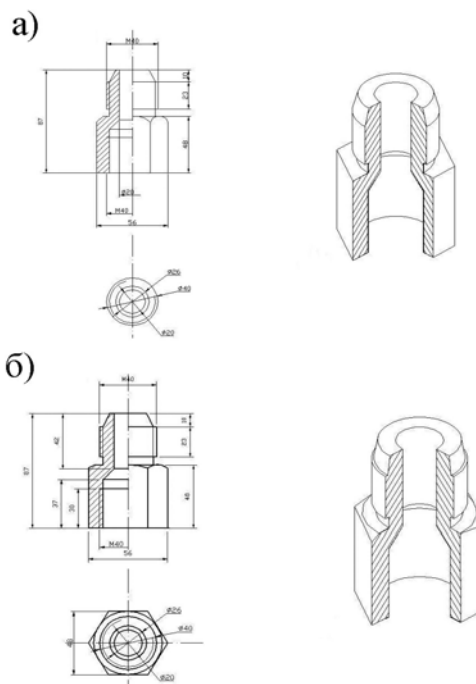


Рис. 2. Пример чертежа штуцера:  
а) чертеж, выполненный по трехмерной модели с разрезом (чертеж представлен с ошибками);  
б) чертеж после исправлений

Использование системы AutoCAD не исключает ошибок при построении, но дает возможность снизить неточности построений и погрешности в изображении.

Предложенная система автоматизированного проектирования позволяет выполнять как плоские чертежи, так и модель детали с последующими построениями необходимых видов и разрезов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Филькенштейн, Э. AutoCAD 2000. Библия пользователя [Текст] / Э. Филькенштейн [пер. с англ.]. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2001.– 1040 с.
2. Хейфец, А. Л. Инженерная компьютерная графика. AutoCAD. Опыт преподавания и широта взгляда [Текст] / А. Л. Хейфец. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 432 с.

Поступила в редколлегию 31.03.2008.

## УДОСКОНАЛЕННЯ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ВАНТАЖНОЇ СТАНЦІЇ В УМОВАХ НЕЧІТКОЇ ВИХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

В статті розглядаються питання можливості побудови математичної моделі прогнозування раціональної кількості вагонів для виконання плану перевезень на основі теорії нечітких множин.

В статье рассматриваются вопросы возможности построения математической модели прогнозирования рационального количества вагонов для выполнения плана перевозок на основе теории нечётких множеств.

In the article the questions of possibility of construction of mathematical model for prediction of rational quantity of wagons for fulfilling the plan of transportations on the basis of theory of fuzzy sets were considered.

### Вступ

На даний момент, як і у попередні періоди при організації експлуатаційної роботи залізничного транспорту необхідно враховувати та використовувати ресурсозберігаючі технології, які пов'язані з організацією перевізного процесу. Для раціоналізації використання вагонного парку, скорочення обігу вагона, зменшення часу простою вантажного вагона на станціях, покращення якісних та кількісних показників роботи необхідно розробляти нові та удосконалювати існуючі технології організації вагонопотоків та поїздотворення [1].

### Постановка задачі

Однією з основних задач, в умовах гострої нестачі засобів транспорту, є раціональний розподіл порожніх вагонів. Для вирішення цієї задачі було проаналізовано роботу вантажної (Стаханов Донецької залізниці), в результаті чого було виявлене коливання планової потреби в вагонах від її реальної величини. Цей факт свідчить про нераціональний розподіл вагонного парку на початку планового періоду, що негативно впливає на ефективність використання перевізних засобів. Згідно цього необхідно розробити методику щодо пошуку раціональної кількості вагонів для певних вантажовідправників, тобто зменшити величину відхилень планових значень потреби у вагонах від реальної потреби.

Згідно [2] можливо зазначити, що основою для раціонального розподілу вагонів на першому етапі служать плани перевезення вантажів, які, в свою чергу, визначають призначення та обсяги відправлення. Найчастіше виникає ситу-

ація, при якій виробники фактично не можуть чітко планувати обсяги виготовлення своєї продукції. Відповідно до цього плани перевезення вантажів не відповідають реальній потребі у вагонах. Це викликає певну невизначеність при перерозподіленні вагонного парку та організації вагонопотоків і призводить або до нестачі, або до надлишку вагонів в певні моменти часу на певній станції та дирекції в цілому. В умовах переходу до ринку транспортних відносин та нестачі рухомого складу під перевезення вантажів необхідно прагнути до зменшення переїзів та згущення підходу вагонів.

При сезонних коливаннях випадкові величини, наприклад обсяг вантажної роботи по днях тижня або періодах, які носять циклічний характер, випадкові процеси апроксимують гармонічними, наприклад синусоїдальними функціями. Але такі методи методів не враховують нечіткість вихідної інформації, а також не враховується людський фактор при прийнятті доцільно вірного рішення. В даній ситуації необхідним є пошук математичного апарату, який буде задовольняти перерахованим вимогам.

Одним з таких математичних апаратів є апарат нечітких множин та нечіткої логіки. Завдяки використанню цього математичного апарату можна, враховуючи нечіткість вхідної інформації, одержувати та аналізувати вихідні дані з безпосереднім впливом на остаточне рішення людини, яка приймає рішення

При розробці нових методів удосконалення технології роботи станції необхідно задовольняти вимоги клієнтів щодо своєчасної доставки вантажів за призначенням, при цьому рівень

рентабельності залізниць не повинен зменшуватися.

Прогнозування об'єму роботи станції являє собою важливий елемент оперативного управління перевезень на станційному рівні. Короткочасне прогнозування зазначає розробку прогнозу підходу потягів до станції та прогноз об'єму вантажної роботи на вантажних пунктах станції.

Формування вагонопотоків відбувається на залізничних станціях. Основою їх організації, як було зазначено раніше, є плани на перевезення вантажу, які щомісяця складаються вантажовідправниками та передаються до планових відділів дирекцій залізничних перевезень.

Побудова математичної моделі прогнозування оптимальної кількості вагонів для виконання плану перевезень вантажу базується на аналізі статистичних даних по виконанню плану перевезень для певного вантажовідправника.

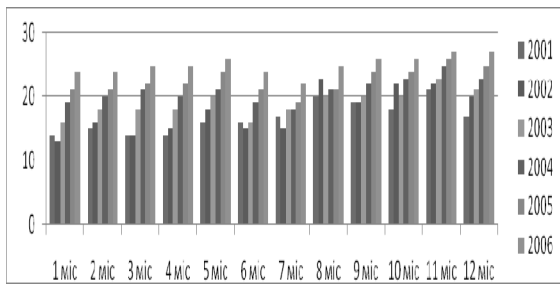


Рис. 1. Обсяги навантаження вагонів по станції Стаханов за період 2001–2006 рр.

### Побудова моделі прогнозу розподілу вагонів

За даними спостереженнями коливань за кожен січень шестирічного періоду знайдено середньодобове навантаження (рис. 2).

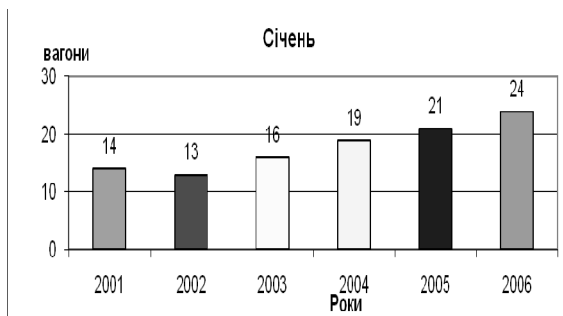


Рис. 2. Середньодобове навантаження за місяць

$$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}, \quad (1)$$

де  $A$  – множина нечітких значень відхилення середньої кількості вагонів за одні й ті ж місяці шестирічного інтервалу ( $a$ ), яка може приймати значення в інтервалі  $[0; 1]$ .

В даному випадку визначення взаємозалежностей відхилень доцільно виконувати на основі кон'юнкції нечітких висловлювань [3]. В даному випадку формула має вигляд:

$$d(a_n \& a_{n+1}) = \min(d(a_n), d(a_{n+1})). \quad (2)$$

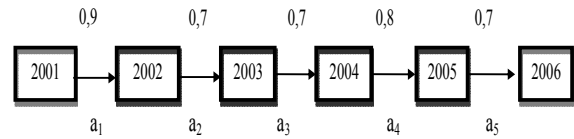


Рис. 3. Граф взаємозалежності відхилень однойменних місяців на протязі шести років

На основі даних (рис. 3) одержано наступний вираз:

$$\begin{aligned} d(a_1 \& a_2 \& a_3 \& a_4 \& a_5) = \\ = \min(0,9; 0,7; 0,7; 0,8; 0,7) = 0,7. \end{aligned}$$

Виходячи з цих розрахунків з впевненістю 70 % можна визначити потребу у вагонах під навантаження на послідовний період у розмірі не менш ніж 24 вагони. Аналогічно можливо спрогнозувати розподіл вагонів за кожний місяць року шестирічного періоду.

### Висновки

На даний момент існуючі методи та методики прогнозування не можуть достатньою мірою забезпечити надійність та вірогідність прогнозу на необхідному рівні з-за відсутності можливості врахування людського фактору при прийнятті оптимальних рішень для відтворення процесу оперативного коректування вагонопотоків.

Плани перевезень, як основа для складання плану формування вантажних поїздів, не відповідають сучасним вимогам з існування відхилень між планом та його виконанням. Тому пропонується прогнозувати ці відхилення, що надасть можливість корегувати вагонопотоки при одержанні інформації, ще на початку планового періоду.

Одержані прогнозні дані є похідним матеріалом для виконання оперативного корегування плану формування вантажних поїздів, що надасть змогу скоротити робочий парк вагонів та зменшити нераціональний перепробіг порожніх вагонів, завдяки своєчасному перерозподіленню вагонів на полігоні. Для реалізації цієї мети необхідно впровадити запропоновану методику до автоматизованих робочих місць відповідних працівників

Завдяки постійному аналізу планів перевезення для кожного підприємства дирекції залізничних перевезень та застосуванню автомати-

зованих баз даних, виконується постійне динамічне оновлення обмежень прогнозу, що дозволяє одержувати рішення по оперативному корегуванню вагонопотоків з великим ступенем достовірності.

Запропонована методика передбачає виконання прогнозу з урахуванням сезонного фактору, а також фактору, який відповідає наближенню до звітного періоду, що забезпечує покращення показників достовірності прогнозу.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспор-

те [Текст] / под ред. П. С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. – 543 с.

2. Бутько, Т. В. Планування перевезень вантажу на основі раціональної організації вагонопотоків на залізниці із застосуванням теорії нечітких множин [Текст] / Т. В. Бутько, О. В. Лаврухін // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2004. – Спецвипуск 7 (1). – С. 16-19.
3. Мелехов, А. Н. Ситуационные советующие системы с нечёткой логикой [Текст] / А. Н. Мелехов, Л. С. Бернштейн, С. Я. Коровин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990.

Надійшла до редколегії 31.03.2008.

А. О. ЛОБАШОВ, Д. Л. БУРКО (Харьковская национальная академия городского хозяйства)

## КРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Розглядаються питання оцінки заходів щодо організації дорожнього руху на транспортній мережі міста. Запропоновано оцінювати заходи за показниками соціальної, екологічної та економічної ефективності.

Рассматриваются вопросы оценки мероприятий по организации дорожного движения на транспортной сети города. Предложено оценивать мероприятия по показателям социальной, экологической и экономической эффективности.

The issues of evaluation of activities upon the organization of traffic at the transport city network are being studied. The activities as to their social, ecological and economical efficiency rates are brought up to estimate.

### Постановка проблеми

Тенденция увеличения уровня автомобилизации в крупнейших городах вызвана ростом населения и его платежеспособности. Планы развития крупнейших городов Украины были ориентированы на увеличение числа городского автомобильного парка до 120...180 автомобилей на 1000 жителей. Однако изучение закономерностей городского движения указывает, что уже сегодня это значение приближается к двумстам пятидесяти автомобилям на тысячу жителей. При таком уровне автомобилизации обеспечить городское движение, работу общественного пассажирского транспорта, экологическую безопасность в городах одними организационными мероприятиями является невозможным [1]. Становится очевидным, что для повышения эффективности функционирования городской транспортной системы, необходима разработка мероприятий градостроительного характера и методики их оценки.

### Анализ последних исследований

Необходимость оценки мероприятий по организации дорожного движения возникает в связи с его несовершенством [2]. Направления совершенствования организации дорожного движения могут быть различными и зависят от цели, которая преследуется при решении той или иной научной задачи [2]. Оценка мероприятий может проводиться на локальных объектах (транспортные развязки, регулируемые и нерегулируемые пересечения), а также на транспортной сети в целом. Эффективность мероприятий по организации дорожного движения оценивается сопоставлением затрат, необходимых для их реализации, с условиями и характеристиками дорожного движения, кото-

рые возникнут после реализации этих мероприятий [3]. При этом принято проводить сравнение получаемого эффекта до и после внедрения мероприятий по организации дорожного движения по ряду показателей социального, экономического и экологического характера [2 – 4].

### Цель исследования

Целью данного исследования является разработка методики критериальной оценки мероприятий по организации дорожного движения.

### Методы критериальной оценки мероприятий по организации дорожного движения

Полностью ликвидировать отрицательные последствия автомобилизации невозможно, поэтому необходимо принимать эффективные меры для их строгого ограничения и разумного регулирования средствами и методами организации дорожного движения [3].

В последние годы уровень изолированного рассмотрения вопросов ограничения отрицательных последствий автомобилизации по отдельным направлениям уже не отвечает требованиям, диктуемым масштабами воздействия, поскольку оптимизация по одному из параметров нередко не обеспечивает оптимума по другим [2, 4]. Комплексное решение проблемы представляет собой сложную задачу, связанную с разработкой и реализацией ряда технических, организационных, экономических и управленческих мероприятий. Решение заключается в создании транспортной системы города, сочетающей высокую эффективность с минимальными капиталовложениями [5]. Реализация такого подхода возможна только при согласован-

ном развитии и совершенствовании элементов транспортной системы (водитель, дорога, автомобиль) и управляющих воздействий (управление перевозками, организация дорожного движения, транспортное градостроительство) [2, 4].

Функционирование транспортной системы города, так или иначе, замыкается на транспортном потоке. Большинство показателей потока в значительной степени определяется режимом его движения. В свою очередь, режим движения зависит от параметров транспортного потока, дорожной сети, организации дорожного движения.

Транспортный поток является центральным звеном в цепи организационных и технических мероприятий по снижению негативного воздействия процесса автомобилизации на окружающую среду, социальную сферу жизнедеятельности общества, экономику страны в целом. Поэтому эффективность мероприятий, связанных с совершенствованием конструкции транспортных средств, оптимизацией параметров дороги, обучением водителей, проявляется на уровне транспортного потока. Критерии эффективности, к которой стремится каждое направление решения проблем в автотранспортной системе, также формируются на уровне транспортного потока [4].

Характеристики транспортного потока и параметры улично-дорожной сети города зависят друг от друга. В связи с этим, особый интерес представляет критериальная оценка мероприятий, направленных на повышение эффективности функционирования городской транспортной сети [6].

Для оценки социальных последствий принятых решений возможно использование следующих критериев:

- изменение общего времени движения транспортных средств по сети в годовом выражении, ч:

$$\Delta T = \frac{365 \cdot \left( \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} \cdot N_i - \sum_{j=1}^k \frac{L_j}{V_j} \cdot N_j \right)}{\kappa_n} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $n, k$  – количество дуг предлагаемой и существующей транспортной сети, соответственно;

$L_i, L_j$  – длина дуги предлагаемой и существующей транспортной сети, км;

$V_i, V_j$  – скорость движения по дугам предлагаемой и существующей транспортной сети, км/ч;

$N_i, N_j$  – интенсивность движения по дугам предлагаемой и существующей транспортной сети, авт./ч;

$\kappa_n$  – коэффициент часовой неравномерности интенсивности движения.

- изменение транспортно-эксплуатационных затрат на проезд транспортными средствами дуг сети в годовом выражении, грн:

$$\Delta C = \frac{365 \cdot \sum_{i=1}^n (C_{\text{пер}} \cdot L_i + C_{\text{пост}} \cdot \frac{L_i}{V_i}) \cdot N_i}{\kappa_n} - \frac{365 \cdot \sum_{j=1}^k (C_{\text{пер}} \cdot L_j + C_{\text{пост}} \cdot \frac{L_j}{V_j}) \cdot N_j}{\kappa_n} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где  $C_{\text{пер}}, C_{\text{пост}}$  – переменные и постоянные затраты соответственно, грн.

Эксплуатационные затраты пользователей выражают значение стоимости горюче-смазочных материалов, выведенную из задержек транспортных средств, их повторяющихся остановок и последующих стартов, величину износа транспортных средств и шин, а также значение времени участников движения и пассажиров в дороге. Определение реальной стоимости времени участников движения является достаточно сложной проблемой. Стоимость времени должна устанавливаться в зависимости от национального дохода страны [2, 5].

- изменение пробега транспортных средств по сети в годовом выражении, км:

$$\Delta L = \frac{365 \cdot \left( \sum_{i=1}^n L_i \cdot N_i - \sum_{j=1}^k L_j \cdot N_j \right)}{\kappa_n} \rightarrow \max. \quad (3)$$

Экологические последствия мероприятий, в большинстве случаев, принято оценивать по выбросу основных токсичных компонентов, удельное содержание которых в отработанных газах является наибольшим. К ним можно отнести окись углерода (CO), углеводороды (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) и окислы азота (NO<sub>x</sub>). Закономерным является предположение об увеличении выбросов токсичных компонентов при увеличении пробега транспортных средств по сети. Зная при этом удельный выброс каждого из видов токсичных компонентов на один километр пробега ( $\delta_i$ ), получим следующие зависимости по изменению количества выбросов  $i$ -го компонента:

$$\Delta B_i = \Delta L_c \cdot \delta_i \rightarrow \max. \quad (4)$$

Наибольший интерес при совершенствовании элементов транспортной сети представляет расчёт экономических показателей эффективности предлагаемых мероприятий. Следует отметить, что при переходе от плановой экономики к рыночной, произошло кардинальное изменение методики расчёта затрат по проектам реконструкции и строительства городской транспортной сети, а также оценки сроков окупаемости мероприятий [5]. В ходе эволюции методики произошел отказ от нормативных показателей оценки экономической эффективности инвестиций [3].

В инвестиции входят затраты на строительные-монтажные работы, приобретение оборудования, транспортных средств, инвентаря, а также на проектно-изыскательские работы и другие виды работ, связанных со строительством [2].

Характерная особенность дорожного строительства – этапность инвестиций и непостоянные, изменяющиеся во времени эксплуатационные затраты из-за непрерывного увеличения интенсивности движения и грузооборота. В этом случае показатели эффективности будут изменяться в зависимости от того, текущие затраты какого года будут приниматься в качестве расчётов [2].

Оценка эффективности инвестиций в дорожное строительство и мероприятия организации дорожного движения может быть применена только при условии, что в каждом из вариантов, которые рассматриваются, одновременные затраты на протяжении срока сравнения инвестируются только один раз в начале, разделение затрат во время строительства не учитывается, сроки службы объектов во всех вариантах одинаковые, а текущие затраты не изменяются по годам [2].

В настоящее время особое внимание уделяется методикам обоснования ставки дисконта для оценки рисков инвестиционных проектов и их оценки по совокупности следующих показателей [2]:

- чистая приведенная стоимость –  $NPV$ :

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + R)^t}, \quad (5)$$

где  $B_t$  – выгоды: выручка от реализации продукции (услуг), которая будет получена в результате реализации проекта;  $C_t$  – инвестиционные (капитальные затраты) + текущие затраты + налоги;  $R$  – ставка дисконта – число, характеризующее: а) обесценивание денег во времени; б) превышение нормы прибыли на вложенный капитал над средним процентом по

кредиту; уровень риска проекта. Критерий эффективности:  $NPV > 0$ .

- внутренняя норма рентабельности –  $IRR$  [2]:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + IRR)^t}, \quad (6)$$

где необходимо найти такое  $IRR$ , чтобы уравнение было выполнено. Расчеты выполняются для всех значений, которые были получены при расчетах  $NPV$ . Критерий:  $IRR > R$ . Это очень популярный способ оценки целесообразности инвестиций (капиталовложений).

- срок окупаемости –  $PBP$  [2]:

$$C = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + R)^t} \Big| \text{ при условии } B_t = C_t - C_n = T_{ок}, \quad (7)$$

где  $C_n$  – чистая приведенная стоимость за  $n$  лет. Необходимо найти такой  $n$ -год, в котором затраты равны выгодам по проекту. Это и будет срок окупаемости  $PBP$ .  $PBP$  рассчитывается для всех вариантов, принятых для расчета чистой приведенной стоимости  $NPV$ .

## Выводы

Предложенные методики позволяют произвести оценку мероприятий по строительству и реконструкции транспортной сети и оценить их с помощью экологических социальных и экономических показателей. При этом эффективность мероприятий всегда должна определяться сопоставлением полученного эффекта с размером инвестиций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобанов, Е. М. Транспортная планировка городов [Текст]: учебник для студентов вузов / Е. М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
2. Організація дорожнього руху [Текст] / Е. В. Гаврилов та ін. – К.: Знання України, 2005. – 452 с.
3. Хомяк, Я. В. Организация дорожного движения [Текст] / Я. В. Хомяк. – К.: Вища шк., 1986. – 271 с.
4. Дьяков, А. Б. Экологическая безопасность транспортных потоков [Текст] / А. Б. Дьяков, Ю. В. Игнатъев, Е. П. Коншин. – М.: Транспорт, 1989. – 128 с.
5. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecfor.ru>
6. Бурко, Д. Л. Анализ влияния параметров УДС на характеристики функционирования транспортных потоков в городах [Текст] / Д. Л. Бурко // Вестник Донецкого ин-та автомоб. трансп. – Вып. 3. – Донецк: ЮрСервис, 2007. – С. 42-46.

Поступила в редколлегию 31.03.2008.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ГАЛУЗЕВОГО МАЙДАНЧИКА ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ

Подана стаття присвячена питанню впровадження та використання електронної системи проведення конкурсів. У статті розглянуті етапи проведення конкурсу, визначені недоліки ручного проведення та основні особливості створення системи автоматизації процесу проведення конкурсів.

Данная статья посвящена вопросу внедрения и использования электронной системы проведения конкурсов. В статье рассмотрены этапы проведения конкурса, определены недостатки ручного проведения и очерчены основные особенности создания системы для автоматизации процесса проведения конкурсов.

This article is devoted to a question of introduction and use of electronic system of carrying out of competitions. The stages of conducting a competition are considered, the drawbacks of conducting competitions by hand are defined and the main features of creating a system for automation of process of carrying out competitions are outlined in this article.

За довгий період свого розвитку людство накопичило великий досвід застосування інформаційних технологій для вдосконалення певних процесів, у тому числі і економічних. Активне застосування ІТ-технологій в області бізнесу привело до появи нової форми взаємодії із споживачем – інтернет-бізнесу. Передусім, це пов'язано з корпоративним документообігом (внутрішнім і зовнішнім), персоналізацією доступу до торгової інформації і механізмами обробки бізнес-правил. Зазвичай під терміном «інтернет-бізнес» мається на увазі будь-яка форма бізнесу, в якому взаємодія між суб'єктами відбувається електронним чином з використанням інформаційних технологій.

Відзначимо основні форми взаємодії учасників інтернету-ринку: це вже знайомі абревіатури B2B, B2C і B2G. B2B (business to business) – форма взаємодії і побудови інтернет-бізнесу, за якої сторонами виступають підприємства. B2C (business to customer) – модель бізнесу, за якої однією зі сторін виступає роздрібний покупець. B2G (business to government) – форма взаємодії, за якої однією зі сторін є державні структури.

Електронна комерція – це сукупність технічних і організаційних форм ведення комерційної діяльності і здійснення операцій з використанням електронних систем і мережі Інтернет, як засобу взаємодії з партнерами, банком, постачальниками і споживачами товарів і послуг.

Електронний торговельний майданчик, як одна із систем електронної комерції, побудований за принципом B2B, – це місце, де виконуються бізнес-операції між підприємствами-покупцями і продавцями. Впровадження систем B2B сприяє розвитку ринку і добросовісної

конкуренції, підвищує адекватність ринкової політики.

Для точного формування постановки задачі, а також уточнення основних вимог, яким повинен відповідати тендерний майданчик, розглянемо етапи проведення тендеру.

В першу чергу, перед засновником конкурсу виникають наступні задачі, які йому необхідно вирішити для успішного проведення конкурсу:

1. **Сформувати тендерну пропозицію.** Засновник ретельно готує конкурсну документацію, враховує всі необхідні вимоги, роз'яснює умови участі, описує лоти конкурсу. Це дуже копітке і відповідальне завдання.

2. **Визначити круг потенційних учасників.** Для успішного проведення конкурсу і вибору оптимального рішення необхідно мати досить велике коло учасників, за умови проведення відкритого конкурсу. Аналіз актуального ринку потенційних учасників – обов'язкове завдання засновника, без якого ставиться під сумнів результат проведення конкурсу.

3. **Провести аналіз отриманих пропозицій.** Після завершення терміну прийому заявок на участь у конкурсі відбувається аналіз отриманих пропозицій. Засновник повинен, користуючись набором критеріїв, визначити рейтинг учасників і сформувати «конкурентний лист», в якому всі учасники сортуються згідно зі своїм рейтингом. В більшості випадків критерієм є ціна пропозиції, хоча нерідко – об'єми і терміни постачання, оплати і тому подібне.

4. **Вибрати переможця.** Зі створеного «конкурентного листа» засновник вибирає переможця конкурсу.

Як було відмічено вище, одна з перших задач засновника є складання конкурсної доку-

ментації. На даному етапі засновник конкурсу повинен вирішити наступні завдання:

- **Оформлення документації** – складання технічного і загального опису конкурсу.
- **Опис лотів тендеру** – ретельний опис всіх лотів конкурсу.
- **Опис умов тендеру** – уточнення умов проведення конкурсу.

Відразу відзначаємо гостру проблему: відсутність зручного інструментарію створення конкурсу, а так само зручного єдиного каталогу лотів.

Результатом виконання цих дій буде пакет конкурсної документації.

Ми плавно переходимо до наступного етапу проведення конкурсу – розсилки створеної документації потенційним учасникам. Але перш ніж розсилати, необхідно визначити, кому дана пропозиція буде цікава. Іншими словами, провести маркетингові дослідження ринку для виявлення потенційних учасників. Якщо конкурс закритий, то адресати відомі, а якщо слід провести відкритий конкурс? Сповіщення потенційних учасників може відбуватися двома способами: оголошення в СМІ або розсилка особистих запрошень. У першому випадку існує ймовірність того, що не всі потенційні учасники побачать інформацію про актуальний конкурс, з іншого боку, розсилка особистих запрошень скорочує число можливих учасників і перешкоджає появі нових партнерів.

Таким чином, ми, разом із засновником, проводимо аналіз ринку – беремо підручні телефон, папір, комп'ютер і починаємо аналізувати.

Відзначаємо проблему: аналіз ринку учасників, пошук можливих партнерів.

Внаслідок скрупульозного, стомливого пошуку можливих учасників одержуємо перелік потенційних учасників, яких, можливо, зацікавить наша пропозиція. По тому ж факсу, телефону, електронній пошті передаємо цим учасникам запрошення на участь в конкурсі – конкурсну документацію.

Наступна проблема: канали передачі даних ресурсоємні, ненадійні, небезпечні.

Учасники, у свою чергу, готують свою відповідь – конкурсні пропозиції, відзначаючи свої ціни на ті або інші лоти конкурсу (і знову виникає проблема єдиного каталогу лотів, учасникові доводиться вибирати зі своїх лотів найбільш відповідні до лотів з конкурсної документації), та відправляють відповідь за допомогою тих же телефону, факсу, електронної пошти.

Засновникові, після завершення етапу подачі заяв на участь, необхідно розібратися у всіх отриманих конкурсних пропозиціях, відсортувати їх, згідно вибраних критеріїв, інакше кажучи – підготувати конкурентний лист.

Не завжди переможець конкурсу – це учасник, що займає першу позицію. Існують так звані множинні вибори переможців конкурсу – коли один конкурс виграють декілька учасників по різних лотах.

## НЕДОЛІКИ РУЧНОГО ПРОВЕДЕННЯ КОНКУРСІВ

Підсумовуючи описані вище проблеми, отримуємо перелік найбільш істотних недоліків.

- **Аналіз ринку можливих учасників.**
- **Неякісний, незахищений, ресурсоємний зв'язок між учасниками тендеру.** «Ресурсоємна» не лише в плані витрат матеріальних ресурсів, але це також нераціональні витрати часу.
- **Відсутність єдиного каталогу лотів для засновника і учасників тендеру.**

• **Велике навантаження і нераціональне використання часу засновника тендеру.** Зусилля і час, що витрачаються під час проведення тендеру засновником, колосальні і, нажаль, не завжди виправдані.

Розглянувши етапи проведення конкурсу і проаналізувавши основні недоліки, визначимо основні вимоги, яким повинна відповідати система автоматизації електронних конкурсів.

Отже:

- **Спрощення процесу проведення конкурсу.**

Мається на увазі, в першу чергу, скорочення організаційних витрат та значне скорочення часу на створення документації, пояснень та опису лотів конкурсу.

- **Автоматичний пошук потенційних учасників і розсилка повідомлень.**

У випадку, якщо конкурс проводиться відкритим, система повинна вибирати можливих учасників серед загальної кількості зареєстрованих, на підставі лотів тендеру. Ці учасники автоматично повідомляються системою про появу конкурсу. До того ж, в системі має бути можливість урахування пропозицій учасників, які не були зареєстровані в системі, але пройшли відповідний контроль засновника конкурсу.

- **Інтеграція засновників і учасників в єдиний інформаційний простір.**

Даний підхід дозволить вирішити ряд актуальних задач:

- систематизація розрізненої інформації;
- можливість ведення та нарощування інформаційних баз;
- надання можливості електронного спілкування між всіма користувачами системи.

• **Підтримка сторонніх учасників.**

Система не повинна обмежувати коло переможців тільки зареєстрованими в ній учасниками.

### ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

Тепер, коли ми маємо конкретні вимоги, ми можемо визначити перелік технологічних аспектів, з використанням яких система максимально задовольнятиме всім вище описаним вимогам і враховуватиме виявлені недоліки.

#### 1) Єдиний каталог продукції

Єдиний каталог як технологічний аспект, необхідний як для інтеграції учасників конкурсу в єдиний інформаційний простір, так і для вирішення питань, пов'язаних із спрощенням підготовки тендерної документації.

Єдиний каталог повинен відповідати вимогам:

- Швидке нарощування інформації;
- Інформативність;
- Зручність.

#### 2) Веб-інтерфейс

Веб-інтерфейс, як спосіб взаємодії різних користувачів, оптимально підходить для вирішення задачі поширення системи до найбільшого кола потенційних користувачів.

Основні переваги:

- Відсутність залежності від будь-якої платформи;
- Ресурснезалежність;
- Не вимагає спеціальних знань.

#### 3) Скриптові мови програмування

Використання таких мов – спосіб гнучкої розробки, який гарантує можливості оперативного внесення змін і, найголовніше, швидкого реагування на побажання клієнтів і ситуацію в області, яка постійно змінюється.

Схематично структуру функціонування розробленої системи автоматизації електронних конкурсів представимо у наступному вигляді:



Рис. 1. Структурна схема функціонування автоматизованої системи електронних конкурсів

### ОСНОВНІ ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОННИХ ТОРГІВ

- Скорочення організаційних витрат при проведенні конкурсів

○ Одна з основних переваг – економія ресурсів, а найголовніше, часу на процеси підготовки і проведення конкурсів;

- Прозорість проведення конкурсів;
- Єдиний інформаційний простір;

- Інтегрованість, гнучкість системи
  - Маркетинг
  - Вибір переможців
  - Документообіг
    - Контрактна документація
    - Експедиторські накладні
    - Платіжні переводи.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Дергач, Н. Усиление роли и значимости информатизации в обществе [Текст] / Н. Дергач // II Межд. науч.-практ. конф. «Государственные

- закупки Украины. Электронные торги (тендеры)»: сб. материалов / Вестник гос. закупок. – К., 2004. – 164 с.
2. Якунин, А. Создание инфраструктуры и технологии электронной торговли в черной металлургии Украины» [Текст] / А. Якунин // II Межд. науч.-практ. конф. «Государственные закупки Украины. Электронные торги (тендеры)»: сб. материалов / Вестник гос. закупок. – К., 2004. – 164 с.

Надійшла до редколегії 08.07.2008.

Н. Н. ТИТОВ, Ю. М. БОРУШКО, С. Б. СЕМЕНОВ, Е. В. ЛЯШЕНКО (ООО «Хартэп», Харьков, Украина)

## **ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ «НАВИГАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ» НА БАЗЕ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ И ЕЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С АСК ВП УЗ В УСЛОВИЯХ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА ЮЖД**

Розглянуті питання застосування супутникової технології на залізничному транспорті за результатами випробувань дослідного зразка АС «Навігація та керування» на дослідницькому полігоні Південної залізниці.

Рассмотрены вопросы применения спутниковой технологии на железнодорожном транспорте по результатам испытаний опытного образца АС «Навигация и управление» на исследовательском полигоне ЮЖД.

The issues of use of satellite technology on railway transport are considered upon the results of testing the specimen of computer-aided system «Navigation and Control» at the test proving ground of Pivdenna Railway.

В соответствии с решением Технического Совета при Генеральном директоре «Укрзалізниця» на ЮЖД создан исследовательский полигон. Этот полигон включает локомотивные депо «Лозовая» и «Октябрь», ИВЦ ЮЖД, ДЦУ ЮЖД – диспетчерский центр главного управления перевозок Укрзалізниця и обеспечивает необходимые условия для отработки взаимодействия систем спутниковой навигации с информационными системами на железнодорожном транспорте Украины. В качестве базовой системы для проведения испытаний принята АС «Навигация и управление» (АС «НиУ»), разработанная фирмой ООО «Хартэп» (Харьков).

Учитывая положительные результаты испытаний экспериментальных образцов АС «НиУ», проведенных в 2006–2007 гг., в настоящее время проводятся работы по оснащению локомотивов и ДЦУ ЮЖД более совершенными техническими средствами и новой версией программного обеспечения.

Автоматизированная система управления подвижными объектами железнодорожного транспорта «Навигация и управление» предназначена для:

- определения дислокации локомотива (поезда) по информации глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS);
- автоматического формирования и передачи сообщений о проходе опорных точек в АСУ грузовых перевозок Укрзалізниця (ГП УЗ);
- комплексного решения задач автоматизации процесса ведения локомотива, путем выбора энергооптимальных режимов управления, повышения безопасности движения;

- предоставления локомотивной бригаде и передачи в АСУ ГП УЗ информации о движении поездов и состоянии технических параметров оборудования локомотивов;

В состав АС «НиУ» входят бортовой интеллектуальный комплекс локомотива (БИКЛ), наземный интеллектуальный комплекс (НИКЛ) и тренажерные комплексы для локомотивных бригад и диспетчеров.

Схема информационного взаимодействия АС «НиУ» с АСУ ГП УЗ приведена на рис. 1.

В составе БИКЛ:

- многофункциональный индикатор машиниста (МФИ):

- оборудование GNSS, CSD / GPRS;
- оборудование системы видеонаблюдения;
- датчики информации для контроля состояния локомотива.

БИКЛ обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- прием и обработка спутниковой навигационной информации;
- отображение на МФИ местоположения локомотива, объектовой и навигационной информации на электронной схеме тяговых плечей обслуживания;
- отображение на МФИ фактической скорости и установленной скорости движения по режимной карте;
- формирование сообщений о проходе локомотивом (поездом) заданных опорных точек;
- формирование пакетов информации и передача их на телематический сервер АСУ ГП УЗ;
- организация информационной поддержки локомотивной бригады для решения задач веде-



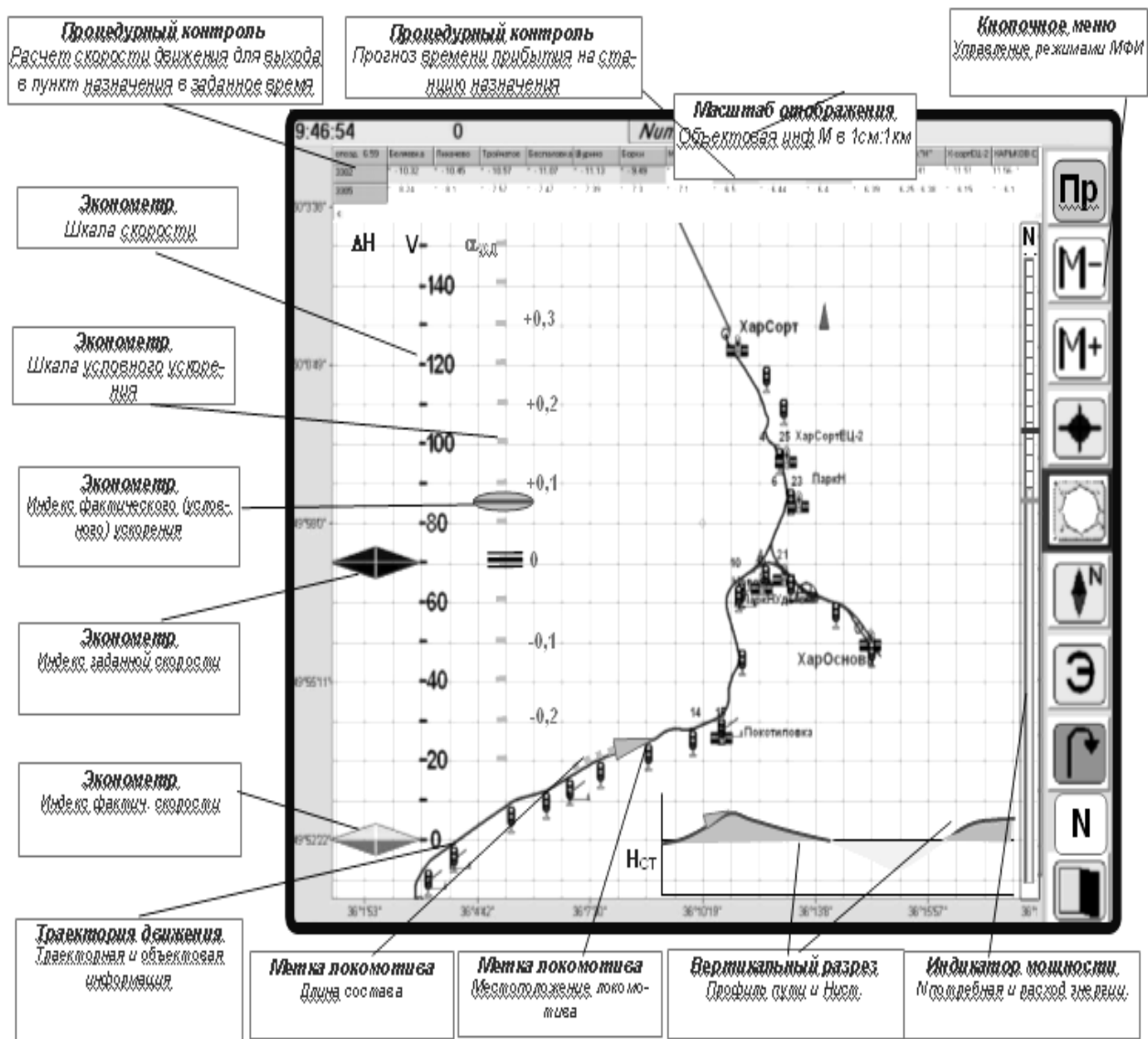


Рис. 2

Особенность АСУ «НиУ» заключается в том, что она позволяет вести локомотив в оптимальном режиме, при котором происходит экономия электроэнергии (дизельного топлива). Испытания показали, что экономия электроэнергии для одного локомотива на электротяге может составить от 14,85 до 25,65 тыс. грн (3...5 тыс. USD) в год. Экономия на дизельном топливе для одного тепловоза (сравнивались

два тепловоза – ТЭП 70 и 2ТЭ 116) – от 46,40 до 80,15 тыс. грн (9...16 тыс. USD) и от 127,28 до 219,85 тыс. грн (25...44 тыс. USD) в год, соответственно. Кроме того, бортовой комплекс АСУ «НиУ» дает возможность машинисту 3 класса обеспечить режим ведения локомотива на уровне оптимального режима ведения локомотива машинистом 1 класса.

Вариант размещения БИКЛ в кабине электровазона ВЛ-11 представлен на фото (рис. 3).



Рис. 3

Вариант размещения БИКЛ в кабине тепловазона ТЭП-70 представлен на фото (рис. 4).

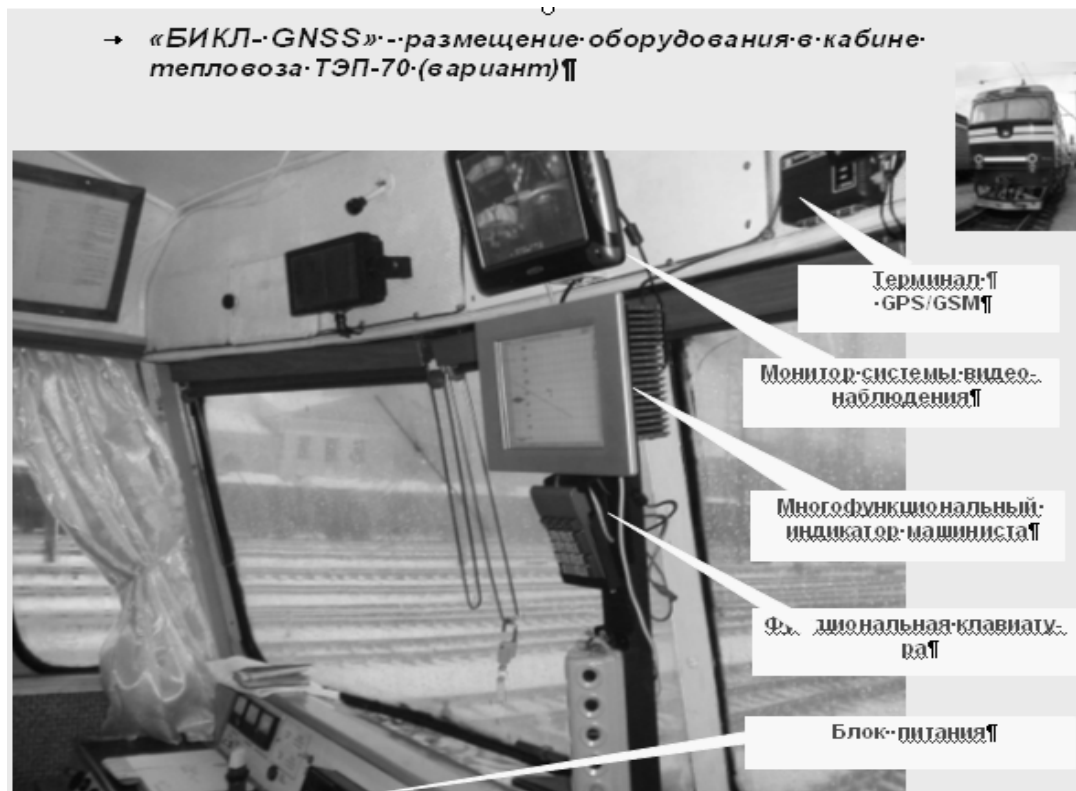


Рис. 4

Разработан перечень основных параметров технического состояния системы локомотива, которые архивируются в базе данных бортового комплекса для использования в составе АСУ ремонта соответствующего депо. Параметры технического состояния, необходимые для опе-

ративного контроля, автоматически передаются в информационные системы «Укрзалізниця».

Для оперативного контроля на локомотивах устанавливается специальная система видеонаблюдения.

На рис. 5 приведена фотография монитора системы видеонаблюдения тепловоза ТЭП-70.

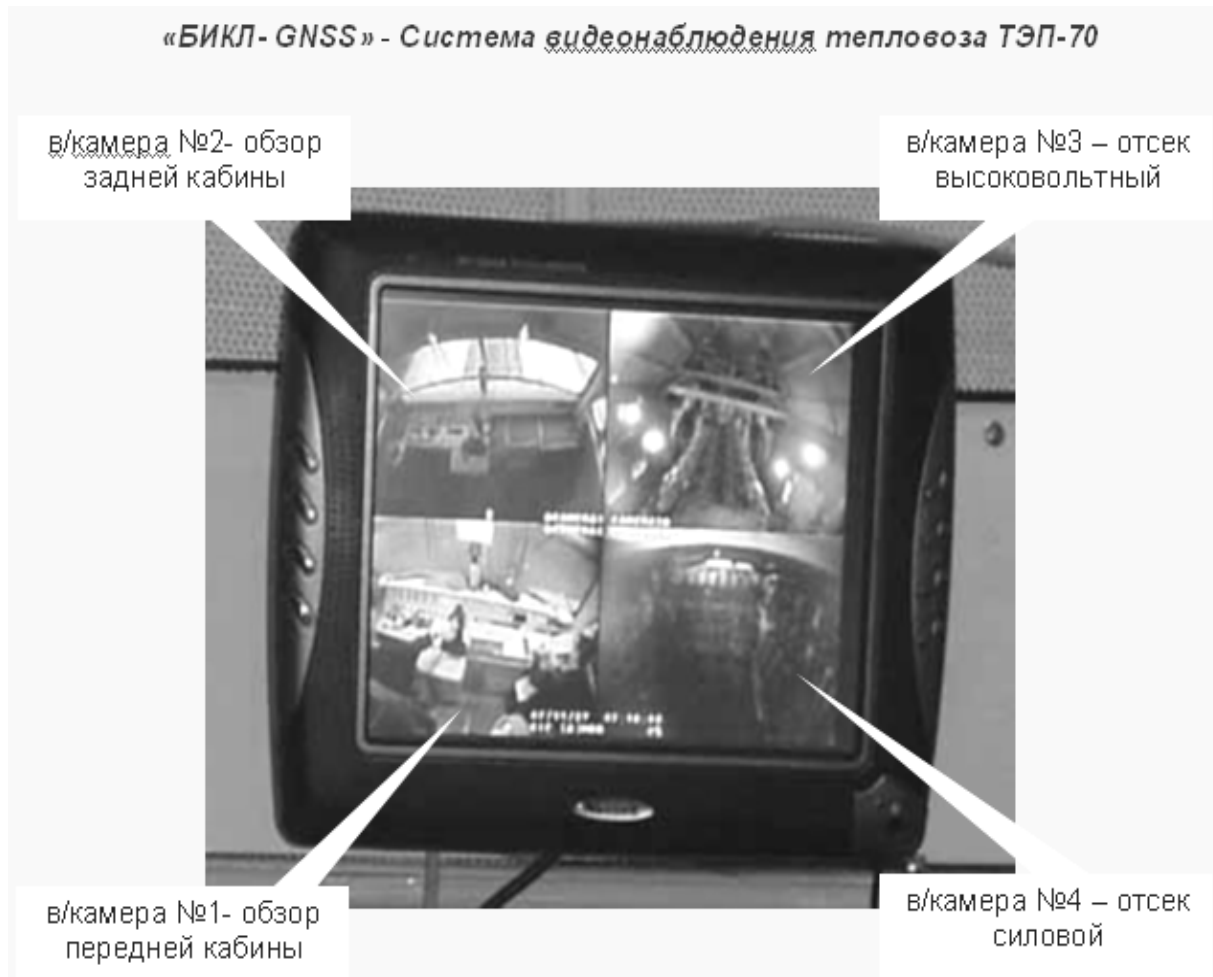


Рис. 5.

Наземный интеллектуальный комплекс (НИКЛ-GNSS) включает:

- Телематический сервер;
- АРМ технологический;
- АРМ общей поездной обстановки
- Аппаратуру связи и передачи данных;
- Программное обеспечение индивидуально-го тренажера машиниста.

НИКЛ обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- прием и обработку информации на телематический сервер, которая поступает от БИКЛ;
- передачу в АСУ ГП УЗ сообщений о прохождении локомотивами (поездами) опорных точек;

- запись, архивирование и обновление информации в специальной базе данных;

- прием и обработку текстовых сообщений и команд оперативного управления, которые поступают в АСУ ГП УЗ;

- преобразование (формирование) информации в формат, совместимый с ИВЦ АСУ ГП УЗ;

- формирование и передачу текстовых сообщений и команд оперативного управления на БИКЛ.

АРМ общей поездной обстановки депо ТЧ-9 представлен на фото (рис. 6).



В. В. ТКАЧЕВ, С. Н. ПРОЦЕНКО (Национальный горный университет Украины, Днепропетровск)

## УПРАВЛЕНИЕ ГРУЗОПОТОКАМИ НА КОНВЕЙЕРНОМ ТРАНСПОРТЕ

Проведено аналіз можливості керування вантажопотоками вугільних шахт, що використовують накопичувальні бункери для усереднення потоку від добувальних ділянок, на основі імітаційної моделі конвеєрної мережі з використанням попереднього розподілу конвеєрного простору, на базі апаратури САУКЛ з метою стабілізації вантажопотоку та виключення просипу матеріалу при транспортуванні.

Проведен анализ возможности управления грузопотоками угольных шахт, использующих накопительные бункеры для усреднения потока от добычных участков, на основе имитационной модели конвейерной сети с использованием предварительного распределения конвейерного пространства, на базе аппаратуры САУКЛ с целью стабилизации грузопотока и исключения потерь при транспортировании.

The analysis of control capability of the freight traffic volumes in coal mines, which use storage bunkers for averaging a flow from the mining sections, is carried out on the basis of imitation model of conveyor network with the use of predistribution of conveyor space, on the base of equipment SAUKL for the purpose of stabilizing the freight traffic volume and avoiding the losses during transportation.

Увеличение производительности добычных комплексов на угольных шахтах повышает требования к надежности технологических процессов шахты. Одной из актуальных проблем является обеспечение бесперебойной работы транспорта. Наиболее перспективным видом транспорта на угольных шахтах является конвейерный транспорт. Но по-настоящему эффективным конвейерный транспорт станет, если его работа будет увязана со всем технологическим комплексом: добычным комплексом, участковыми конвейерами, накопительными бункерами, магистральными конвейерами.

В последнее время для управления подземным оборудованием все чаще применяются современные микропроцессорные системы управления. Они обеспечивают не только функции блокировок и телемеханического управления, но и сбор и обработку информации от сопутствующего оборудования, передачу ее на поверхность. В качестве пультов управления технологическим процессом здесь используются высокопроизводительные компьютеры. Использование современного программного обеспечения, SCADA систем для программирования таких пультов управления решает задачи не только визуализации технологических процессов, но и новые задачи управления технологическими процессами горных предприятий.

В Национальном горном университете Украины разработана система автоматизированного управления конвейерными линиями

(САУКЛ) [1]. Помимо основной функции управления конвейерными механизмами, она позволяет осуществлять сбор информации о технологических процессах, а также осуществлять дискретное управление оборудованием. Архитектура пульта управления САУКЛ позволяет, кроме задач управления конвейерами, решать параллельно другие задачи, обеспечивает обмен технологической информации и передачу команд управления. На этой основе появилась возможность создания единой системы управления грузопотоком.

При конвейерной доставке угля вся конвейерная линия от забоя до ствола должна работать практически непрерывно всю смену. При проектировании конвейерного транспорта горных предприятий исходят из максимальной суммарной производительности добычных участков. При этом происходит существенное завышение мощностей и пропускных способностей конвейерных линий [3]. При анализе реальных среднесуточных грузопотоков необходимая пропускная способность получается в полтора-два раза ниже расчетной. Такой запас был необходим при отсутствии управления грузопотоками. Важным шагом в этом направлении является бункеризация грузопотоков.

Участковые накопительные угольные бункера используются, чтобы сгладить неритмичность поступления грузопотока от лав и устранить простои лав по вине отказов транспортной системы шахты. Кроме этого, в последнее время они используются с целью снижения затрат

на электроэнергию, давая возможность не включать конвейера в моменты часа «пик».

При работе на магистральную линию нескольких бункеров с питателями задача управления заключается в определении производительности и времени включения каждого питателя при условии обеспечения максимальной производительности конвейерной линии:

$$\sum Q_{Pi} \leq Q_{M \max} \quad (1)$$

Качающиеся питатели, устанавливаемые на бункерах, настраиваются на заданную производительность конструктивно, амплитудой качания лотка. Это ограничивает возможность применения управления производительностью. Поэтому настройка нескольких питателей на одновременную работу нежелательна. Отказ или отсутствие материала в одном или нескольких бункерах приведет к тому, что конвейерная сеть будет работать с недогрузкой. Правильнее будет настройка всех питателей на максимальную производительность конвейера и поочередного включения их для скачивания материала.

При таком подходе в задаче управления необходимо: определить последовательность включения питателей, определить рациональные уровни в бункерах, определить значения уровней, при которых осуществляется включение и выключение питателей по каждому бункеру, определить максимально допустимое отклонение от рационального значения уровня горной массы в бункере при скачивании материала с бункеров.

Рациональный уровень определялся из следующих рассуждений. При останове конвейерного транспорта участки должны иметь приблизительно одинаковый запас по времени работы на бункер. Рациональный уровень для бункера вычислялся по формуле:

$$h_{jb} = h_{j \max} - \frac{Q_{jl} * \sum_{i=1}^k [(h_{i \max} - h_{ib}) * S_{ib}]}{S_{jb} * \sum_{i=1}^k [Q_{il}]} \quad (2)$$

где  $Q_{jl}$  – производительность  $j$ -й лавы;

$h_{i \max}$  – максимальная высота бункера;

$h_{ib}$  – текущий уровень в бункере;

$S_{jb}$  – сечение бункера.

Для уменьшения перегрева приводов питателей время их работы во включенном состоянии принимается не менее 10 минут.

Процесс управления выгрузкой бункеров состоит из двух этапов: переходного, когда

производится вывод бункеров на рациональные уровни, и рабочий, когда в зависимости от производительности лав идет скачивание оставшегося груза или поддержание заданных уровней в бункерах.

На первом этапе определяется количество бункеров, уровни в которых превышают рациональные, и производится последовательное скачивание материала с них.

Скачивание производится следующим образом. Нумерацию производим, начиная с бункера с максимальным транспортным запаздыванием, следующие бункеры получают номера по мере уменьшения их транспортного запаздывания. Скачивание производится пакетами по 10 минут, начиная с бункера с максимальным отклонением уровня от рационального. На следующем шаге опять определяется разница в уровнях бункера с максимальным отклонением. Если отклонение в бункере, что скачивает все равно наибольшее, выгрузка продолжается еще 10 минут. Затем включается питатель следующего бункера с максимальным отклонением. Процесс продолжается, пока все уровни в бункерах станут меньше рационального. При переключении выгрузки с одного питателя на другой необходимо учитывать следующее. Если за питателем с большим номером включается питатель с меньшим номером, время включения питателя с меньшим номером определяется как:

$$T_i = T_{i-1} - T_{pak} + t_{jir} \quad (3)$$

где  $T_{i-1}$  – время включения бункера с меньшим номером ( $i-1$  шаг);

$t_{jir}$  – транспортное запаздывание бункера с большим номером;

$T_{pak}$  – время выгрузки пакета

Это необходимо для того, чтобы исключить холостой пробег конвейеров на время транспортного запаздывания бункера с максимальным номером.

Если же за питателем с меньшим номером включается питатель с большим номером, то включение питателя с большим номером производится, когда под ним освобождается пространство.

Рабочий режим выполняется по следующим шагам.

1. Производится пересчет рационального уровня.

2. Последовательно включаются питатели бункеров с максимальным отклонением уровня от рационального.

3. Когда в бункерах уровень становится меньше разницы в один пакет, переходим к пункту 1.

4. При достижении во всех бункерах минимального уровня питатели останавливаются, и останавливается вся конвейерная сеть подбункерного пространства.

5. Следующий запуск транспортной системы производится, когда в одном из бункеров уровень достигает половины.

Последовательность включения питателей производится по максимальному отклонению прогнозируемого уровня от расчетного рационального, на момент выгрузки.

Прогнозируемый уровень рассчитывается на момент нахождения фрагмента сети под питателем.

$$H_{i\text{prog}} = H_{ibunk} + ((T_{\text{рас.макс}} - t_{itr}) * Q_{ilav} - V_{ioigr}) / S_{ib}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{рас.макс}}$  – транспортное запаздывание последнего пакета;

$t_{itr}$  – время транспортного запаздывания для расчетного бункера;

$Q_{ilav}$  – плановая производительность участка.

Проверка возможностей закона регулирования выполнялась на основании данных шахты «Глубокая». Имитационная модель была написана на языке Visual C++. Она состоит из нескольких программных блоков, графической оболочки ввода технологических параметров, графической оболочки визуализации и управления, а также логического или вычислительного модуля формирующего команды управления питателями. На рис. 1 приведен графический интерфейс ввода технологических параметров. С его помощью можно установить: начальные уровни в бункерах; транспортное запаздывание между бункерами; производительность участков подающих уголь в бункер; шаг автоматической работы модели без подтверждения. Здесь же находятся кнопки перехода в режим моделирования и выхода из программы.

На рис. 2 показано окно отображения результатов моделирования. На нем изображено расположение бункеров в соответствии с заданными параметрами, а также отображается движение пакетов угля от питателей и по конвейерной сети. Один шаг движения груза соответствует 30 с. Возле каждого конвейера отображается текущее значение уровня в бункере. Кроме этого имеются индикаторы отгруженных в общешахтный бункер пакетов, а также количества пакетов, находящихся на ленте. На этом же окне установлены кнопки подтверждения очередного шага и кнопка возврата в интерфейс ввода технологических параметров.

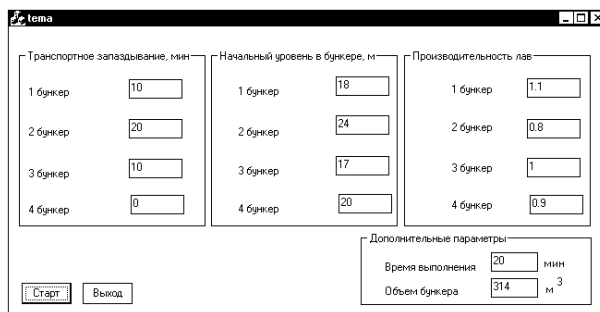


Рис. 1. Графический интерфейс ввода технологических параметров

При исследовании алгоритма управления контролировались и заносились в таблицу следующие данные: текущие значения уровней в бункерах через каждые 30 минут; расчетные рациональные уровни по каждому бункеру; отклонение текущего значения уровней от рациональных. Исследования проводились при трех значениях производительности участков 0.75, 1.0, 1.25. Результаты моделирования приведены в виде графиков рис. 3, 4, 5.

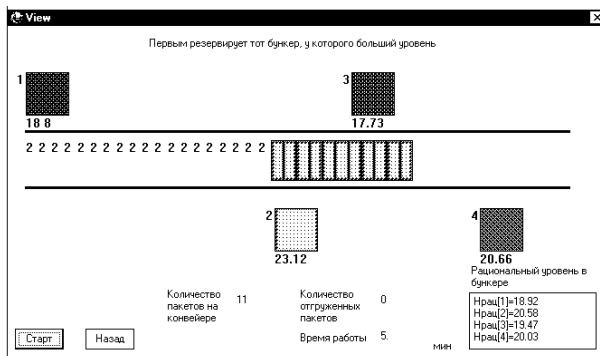


Рис. 2. Окно отображения результатов моделирования

Когда суммарная производительность участков меньше производительности конвейера, на который производится выгрузка, наблюдается снижение уровня в бункерах и выход уровней всех бункеров на расчетный рациональный уровень. Дальнейшее колебание уровней происходит возле границы одного пакета выгрузки и рациональным уровнем.

Когда суммарная производительность участков равна производительности конвейера, на который производится выгрузка, уровень остается стабильным, в допустимых диапазонах колебания. Небольшое снижение общего уровня объясняется аккумулялирующим действием конвейерного участка расположенного между бункерами.

Алгоритм управления, обеспечивающего максимальную загрузку магистральных конвейеров, при поддержании рационального уровня во всех накопительных бункерах, отно-

сится к классу задач ситуационного управления, и одним из вариантов решения подобных задач является имитационное моделирование.

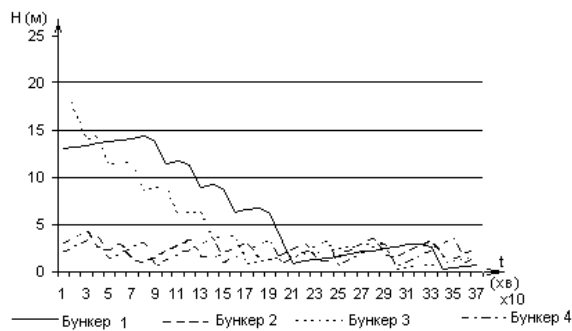


Рис. 3. График изменения разницы текущих уровней в бункерах и рациональных. При суммарной нагрузке 75 %

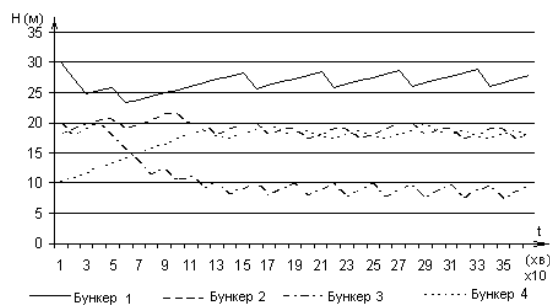


Рис. 4. График изменения разницы текущих уровней в бункерах и рациональных. При суммарной нагрузке 100 %

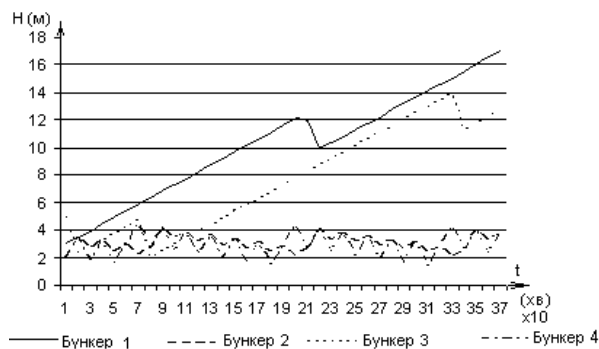


Рис. 5. График изменения разницы текущих уровней в бункерах и рациональных. При суммарной нагрузке 125 %

Т.к. накопительные бункеры работают непосредственно на магистральную конвейерную линию, то для ее имитации достаточно использовать одномерный массив.

Входными сигналами для системы управления будут:

- уровни угля в бункерах;
- производительность лав;
- расположение грузопотока на магистрали.

Выходными сигналами для системы будут:

- время включения отдельных питателей бункеров;
- время опускания и подымания сбрасывающего скребка (при наличии на магистрали породного бункера проходки).

При запуске системы исходными данными являются:

- производительность лав;
- расположение бункеров, т.е. их транспортные запаздывания.

В процессе работы производительность лав корректируется, исходя из реальных скоростей изменения уровней в бункерах. Сам процесс измерения уровня в бункерах можно производить с помощью аналоговых датчиков уровня (например, ультразвуковых, СВЧ) или дискретных. При использовании дискретных датчиков производительность лавы определяется обратно пропорционально времени перехода от одного уровня к другому, и считается неизменной до очередного датчика. Промежуточные значения уровней определяются расчетным путем:

$$h_{\text{бункера } i} = h_{\text{бункера } i} + Q_{\text{лавы } i} * \Delta t / S_{\text{бункера } i}, \quad (6)$$

где  $Q_{\text{лавы } i}$  – производительность лавы,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$S_{\text{бункера } i}$  – сечение бункера;

$\Delta t$  – период времени, прошедший с момента срабатывания датчика уровня.

Для создания системы управления предполагается использовать канал связи и пульт управления САУКЛ. Это вводит ограничения на оперативность приема данных и передачи команд. В связи с этим при вычислении управляющего воздействия используется прогнозирование состояния отдельных элементов системы. Для компенсации возникающей ошибки, после каждого цикла опроса, производится коррекция состояния имитационной модели по реальным данным, получаемым с контроллеров.

На нижнем уровне управления, возле бункеров, установлены контроллеры, обеспечивающие сбор информации с объекта управления в реальном масштабе времени и исполнение команд с пульта управления в указанное в сообщениях время. Кроме этого, контроллеры обеспечивают блокировку работы питателей в случае, если под питателем на ленте находится грузопоток от соседних бункеров, устраняя возможную перегрузку конвейерной установки или просыпа материала на почву.

Схема алгоритма работы системы управления грузопотоком для угольных шахт с участковыми накопительными бункерами приведена

на рис. 6. В процессе работы системы программа формирует команды циклического опроса, по которым пульт управления посылает запросы и получает ответы от контроллеров. В результате циклического опроса в базе данных пульта управления формируются таблицы данных о расположении грузопотока на магистрали и об уровне материала в бункерах.

Работа системы должна быть синхронизирована с работой конвейерной линии. Система может находиться в двух состояниях – переходном и рабочем.

Переходной режим работы связан с неконтролируемым изменением уровня в бункерах при простое магистральной линии. Это приводит к появлению в бункерах нерационального распределения уровней.

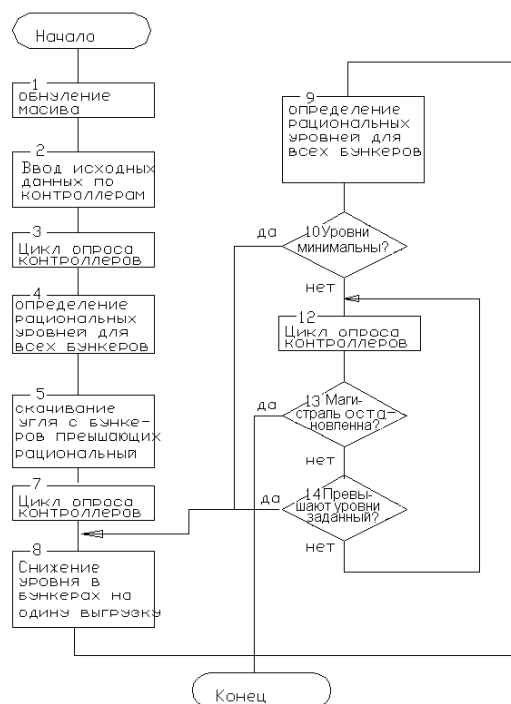


Рис. 6. Схема алгоритма работы системы управления грузопотоком для угольных шахт

Рассмотрим требования, предъявляемые к контроллеру управления грузопотоками при пакетной отгрузке. Контроллер должен иметь двухстороннюю информационную связь с пультом управления. Контроллер имеет возможность получать информацию от добычного комплекса. Контроллер должен управлять аппаратами загрузки конвейерной линии или выдавать сигналы управления светофором загрузки. Контроллер должен иметь возможность фиксировать моменты прохождения начала и конца пакетов на конвейерной линии. Для этого ему необходимо иметь часы текущего (или реального) времени и сигнальный вход с датчика

наличия грузопотока, канал ввода информации об уровне угля в бункере.

Основным или ведущим устройством в контроллере является арифметико-логическое устройство (АЛУ). В качестве АЛУ наиболее перспективным является использование микроконтроллеров. Современные микроконтроллеры, кроме АЛУ, в своем составе имеют ряд периферийного оборудования. Одними из наиболее распространенных микроконтроллеров на Украине являются микроконтроллеры фирмы Microchip.

Структурная схема контроллера системы управления нижнего уровня для одного пункта загрузки представлена на рис. 7. Для подключения к линии связи САУКЛ в контроллере предусматривается гальваническая развязка линии связи, входная и выходная. Линия связи в САУКЛ представляет собой токовую петлю. Входная и выходная развязка включаются последовательно.

В качестве датчика наличия груза на ленте предполагается использование ролика, закрепленного на 20...30 мм ниже соседних. При отсутствии груза на ленте ролик не вращается. Появление грузопотока приводит к прогибу ленты, она опирается на ролик и он начинает вращаться.

Датчиком вращения может служить датчик типа ДМ или УПДС. Эти датчики являются активными и не требуют питания. Выходной ток у них формируется за счет э.д.с. изменения магнитного поля в рабочей катушке.

Для организации энергонезависимых часов реального времени используется микросхема DS1307 фирмы Dallas Semiconductor, с внешним элементом питания, выполненном на литиевой батарее. DS1307 представляет собой часы реального времени, которые считают секунды, минуты, часы, месяц, день недели, и год с компенсацией високосного года до 2100 года. Обмен информацией с ней производится по двухпроводному интерфейсу типа I<sup>2</sup>C. Тактирование производится от встроенного генератора, стабилизируемого внешним кварцем с частотой 32.768 кГц. Время и значение календаря получают, читая внутренние регистры микросхемы. Для установки времени и даты записывают информацию в соответствующие внутренние регистры.

В контроллере управления нижнего уровня системы управления грузопотоком кроме функций управления питателем и блокировок, добавлена функция ввода информации с измерителя уровня. В случае устройства непрерыв-

ного измерения уровня во всем диапазоне высоты бункера это простое считывание информации с измерительного устройства и передача его в центральный вычислитель с фиксацией времени измерения. Если уровень измеряется дискретными датчиками, контроллер производит прогнозирование значения уровня на момент опроса по времени перехода уровня, границ срабатывания датчика с учетом производительности питателя в момент выгрузки.

Формирование сообщений в пульт производится сохранением значений переменных уровня и времени измерения в специально отведенных страницах ОЗУ. При циклическом опросе эти значения отсылаются в пульт.

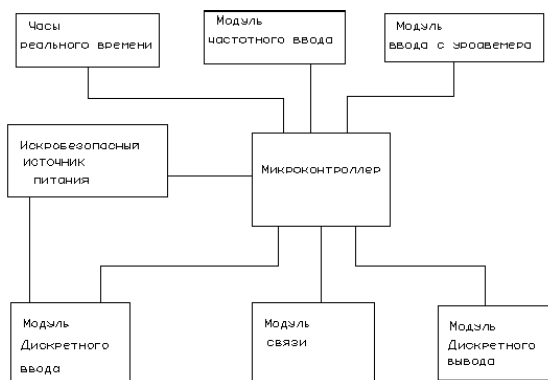


Рис. 7. Структурная схема контроллера системы управления нижнего уровня

Программа управления грузопотоками для угольных шахт с накопительными бункерами является приложением Windows. Программа написана на языке C++. Программа обеспечивает выполнение алгоритма управления грузопотоками, а также визуализацию распределения уровней в бункерах и грузопотока на магистрали. Оперативную информацию о работе объекта управления программа получает из таблицы «Буфер Результатов» базы данных пульта управления САУКЛ, а передачу команды управления – записью в таблицу «Быстрая Очередь Команд».

База данных пульта управления состоит из нескольких таблиц [2]. Для задачи управления грузопотоком мы используем такие таблицы:

«Быстрая Очередь Команд», «Доступные Команды», «Буфер Результатов».

В таблице «Быстрая Очередь Команд» временно хранятся команды, поступающие от пульта к контроллерам. Это «Код Пульта» – уникальный код пульта, отдавшего команду; «Контроллер» – номер контроллера; «Код Команды» – одна из допустимых команд, описанных в таблице «Доступные Команды»; «Параметр» – номер страницы ОЗУ; «Строка Парам-

метров» – дамп страницы (8 байт), т.е. параметры, передаваемые от пульта контроллеру и от контроллера пульта.

В таблице «Буфер Результатов» отображаются результаты выполнения команд, описанных в таблице «Быстрая Очередь Команд».

Для организации связи между пультом управления и БУК управляющая программа должна получить доступ к базе данных пульта с использованием ODBC.

Пульт отслеживает состояние бункера и состояние конвейера. На основании этих данных принимается решение начать/завершить отгрузку, нужно ли резервировать место на конвейере для бункера.

Перед началом работы конвейера подсчитывается рациональный уровень для бункеров.

По текущему уровню в бункерах определяем последовательность, в которой бункеры будут резервировать для себя место на конвейере. Первым резервирует место тот бункер, у которого наиболее превышение уровня над рациональным.

Минимальное количество пакетов, резервируемое для бункера, 30. Поэтому анализируется свободное место на конвейере и, если места достаточно для того, чтобы отгрузить все 30 пакетов, место резервируется. Если места недостаточно, право резервирования ячеек переходит к следующему бункеру.

Резервировать ячейки бункеру необходимо тогда, когда уровень в бункере превысит рациональный на уровень одного пакета.

В тот момент времени, когда у каждого бункера текущий уровень будет меньше рационального на уровень одного пакета, рациональный уровень бункеров пересчитывается и устанавливается меньше расчетного на уровень, равный одному пакету.

Далее алгоритм распределения ячеек между бункерами повторяется.

При работе системы управления грузопотоками используется канал связи САУКЛ, при этом контроллерам нижнего уровня системы управления грузопотоков присваиваются номера из возможных номеров конвейеров, и используется две команды работы с БУКами «Чтение страницы ОЗУ» и «Запись страницы ОЗУ». Как было сказано выше, передача команд обмена информацией с контроллерами нижнего уровня производится записью их в буфер «Очередь Команд» пульта управления САУКЛ. Программа «Ядро пульта управления» последовательно вычитывает команды из «Очереди команд» и выталкивает в линию связи.

Принятые ответы складываются в таблицу «Буфер Результатов», откуда вычитываются программой управления грузопотоком.

Таким образом, для управления грузопотоками на конвейерном транспорте, при наличии накопительных бункеров, наиболее целесообразно использовать систему автоматизированного управления конвейерным транспортом САУКЛ. При этом используется канал связи САУКЛ и пульт управления. Кроме этого, систему необходимо дополнить контролерами управления питателями.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Компьютерная система автоматизированного управления конвейерным транспортом [Текст] / В. В. Ткачев и др. // Горный журнал. – 1999. – № 6. – М., 1999. – С. 48-51.
2. АОЗТ «Инстройсервис». Руководство по эксплуатации САУКЛ 4.00.000 РЭ [Текст]. – Д., 2003. – С. 9-18.
3. Шахмейстер, Л. Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин [Текст] / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1983. – С. 67-69.

Поступила в редколлегию 17.12.2007.

В. Ф. ХАРЧЕНКО, Е. Е. ВАКУЛЕНКО (Харьковская национальная академия городского хозяйства)

## **К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ МАРКИ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРОДСКИХ МАРШРУТОВ В УСЛОВИЯХ КОНКУРЕНЦИИ НА РЫНКЕ АВТОТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ**

Розглянуто вплив умов поїздки на функціональний стан пасажирів, пропонується експлуатувати транспортні засоби на маршрутах при наповненні салону 3 чел./м<sup>2</sup>, що найменше втомлює пасажирів, а за рахунок врахування вимог пасажирів перевізник отримує конкурентні переваги на ринку транспортних послуг.

Рассмотрено влияние условий поездки на функциональное состояние пассажира, предлагается эксплуатировать транспортные средства на маршруте при наполняемости салона 3 чел./м<sup>2</sup>, что наименее утомляет пассажира, а за счет учета требований пассажиров перевозчик получает конкурентные преимущества на рынке транспортных услуг.

The influence of trip conditions on the passenger functional condition is considered, it is offered to maintain vehicles on a route at crowd interior of 3 people/m<sup>2</sup> that least tires the passenger, and due to the account of requirements of passengers the carrier obtains competitive advantages in the market of transport services.

### **Постановка проблемы**

В последнее время динамическое развитие рынка транспортных услуг Украины привело к появлению малых, средних и крупных транспортных предприятий различных форм собственности. Без учета требований рынка невозможно нормальное развитие любого предприятия, т.к. его конечной целью, в условиях конкуренции, является получение прибыли на основании производства услуги (пассажирские перевозки), которая необходима потребителю (пассажиру). В связи с этим структура парка автотранспортного предприятия должна отвечать требованиям пассажира и уровню конкуренции на рынке предлагаемых автотранспортных услуг.

### **Анализ последних публикаций**

Задачи организации пассажирских перевозок в городах имеют важное значение для нормального функционирования всех отраслей городского хозяйства, удовлетворения потребностей населения в передвижениях к местам приложения труда, учебы и к культурно-бытовым объектам.

При анализе работ, посвященных вопросам выбора марки транспортного средства для работы на маршрутах города, было выявлено, что большинство авторов отдают предпочтение экономическим и эксплуатационным факторам, и мало уделяется внимания социальному фак-

тору, а именно – привлекательности общественного транспорта для пассажиров.

### **Цель работы**

Целью данной работы является выбор транспортных средств для обслуживания городских маршрутов в условиях конкуренции на рынке автотранспортных услуг.

### **Основной материал**

Факторами, влияющими на функционирование транспорта в условиях рыночной экономики, являются: новые экономические условия работы предприятий; формирование рынка транспортных услуг; постоянное усиление конкуренции.

Анализ развития рынка автотранспортных услуг в г. Харькове показал, что количество автотранспортных предприятий различных форм собственности значительно увеличилось. В состав пассажирского транспорта Харькова и Харьковской обл. на сегодняшний день входят 186 автоперевозчиков различных форм собственности, которые обслуживают 626 автобусных маршрутов [1].

Каждый перевозчик может осуществлять при имеющихся ограничениях свою организационно-техническую и тарифную политику, одним из ее пунктов является возможность использовать виды пассажирского транспорта,

наиболее приемлемые с точки зрения перевозчика по вместимости и комфортабельности.

За счет этого транспортные предприятия стремятся повысить привлекательность своих услуг в выбранном сегменте рынка [2].

Конкуренция транспортных услуг имеет свой предмет и объект: предметом конкуренции является автотранспортная услуга, посредствам которой фирмы стремятся завоевать клиентов и получить прибыль; объектом конкуренции является потребитель (пассажир), и в этом качестве он имеет решающее значение на рынке.

Понятие конкурентных преимуществ является относительным: одним пассажирам удобен экспрессный режим, другим – режим остановок «по требованию»; одни готовы платить дополнительно, чтобы доехать до места назначения сидя, а другие согласны ехать в переполненном троллейбусе, но заплатить меньше или воспользоваться правом льготного проезда.

Сравнение и выбор транспортных средств представляет собой многокритериальную задачу. Можно выделить десять показателей, влияющих на выбор подвижного состава: вместимость транспортного средства; рыночная стоимость и стоимость ввода в эксплуатацию; эксплуатационные затраты; тягово-скоростные качества; использование габаритных размеров и массы; топливная экономичность; эксплуатационная технологичность транспортного средства; безопасность; экологичность транспортного средства и, наконец, удобство пользования для пассажира [2].

Для пассажира выбор определенного транспорта из двух и более видов для конкретной поездки можно назвать случайным или оценивающим, и являющимся результатом его критериальной оценки, при которой фиксируются критерии и принимается решение в пользу того вида транспорта, который, по их мнению, обладает наименьшей неприемлемостью или наибольшей притягательностью [3].

Транспортный процесс объективно влияет на функциональное состояние организма человека, и, в зависимости от условий поездки, это приводит к той или иной степени утомления [4].

В данной работе для эксплуатации на маршрутах города предлагается выбирать ту марку транспортного средства, в которой утомляемость пассажира будет наименьшей, данный показатель – это один из критериев неосознанного выбора пассажиром транспортного средства.

Изменение функционального состояния пассажира в периоды ожидания и осуществления поездки, в работе Гюлева Н. У. описано следующими транспортными параметрами:

$$P_1 = -0,21 + 1,045 \times \left( P_2 (1 - 0,14(k\gamma_{мп} + 0,6) * \ln t_{мп}) + k\gamma_{мп} (k\gamma_{мп} + 0,6) * \ln t_{мп} \right), \quad (1)$$

где  $P_1$  – многочлен, описывающий транспортными параметрами ФС пассажира в конце маршрутной поездки;

$k\gamma_{мп}$  – значение коэффициента заполнения салона во время маршрутной поездки с учетом коэффициента приведения;

$t_{мп}$  – время передвижения, мин.;

$P_2$  – многочлен, описывающий транспортными параметрами ФС пассажира перед маршрутной поездкой, т.е. в конце ее ожидания, выражается следующей зависимостью:

$$P_2 = 2,16 + 0,513 \ln(t_{ож} + 1) + 0,00107 t_{ож}, \quad (2)$$

где  $t_{ож}$  – время ожидания маршрутной поездки, мин.

Пассажир чувствует себя наиболее удобно и комфортно во время маршрутной поездки, если занимает место для сидения в транспортном средстве. В связи с этим при выборе той или иной марки транспортного средства для работы на маршрутах города, предлагается исходить из того, что эксплуатироваться она будет только при занятых местах для сидения. Для транспортных средств, где предусмотрена свободная для стояния площадь салона, пассажиром вместимость салона для эксплуатации транспортного средства предлагается определять следующим способом.

Номинальная пассажироместимость автобуса указывается в его технической характеристике и, согласно ГОСТ 27815-88, определяется суммой мест для сидения и расчетного числа стоящих пассажиров:

$$q = q_{сид} + \left[ (a \cdot b - 0,33 \cdot q_{сид}) \cdot \alpha \right] \cdot \lambda = q_{сид} + F_{ст} \cdot \lambda, \quad (3)$$

где  $q$  – вместимость подвижной единицы, мест;

$q_{сид}$  – количество мест для сидения, мест;

$a$  – ширина транспортного средства, м;

$b$  – длина транспортного средства, м;

$\alpha$  – коэффициент использования площади;

$\lambda$  – количество пассажиров на 1 м<sup>2</sup> свободной площади салона, чел.,

$F_{ст}$  – свободная для стояния площадь салона, чел./м<sup>2</sup>.

Расчетное число стоящих пассажиров устанавливаются, исходя из нормы 8 пасс./м<sup>2</sup>, указанный предельный норматив исходит из того, что начиная с наполняемости салона 8 пасс./м<sup>2</sup>, наблюдается блокирование возможности перемещения пассажиров по салону.

В эксплуатационной практике получила широкое распространение норма числа стоящих пассажиров 5 пасс./м<sup>2</sup>, исходя из которой проводят технологическую организацию перевозок. Эта норма приближается к европейским стандартам (например, в Германии используется норма 4 пасс./м<sup>2</sup>). Комфортный проезд пассажиров обеспечивается при наполняемости 3 пасс./м<sup>2</sup> и менее [5].

Поскольку речь идет о комфортной поездке пассажира, то при расчете наполняемости транспортных средств принимаем, что на 1 м<sup>2</sup> свободной площади салона приходится 3 пассажира.

Зная габаритные размеры и технические характеристики, рассчитаем наполняемости транспортных средств с номинальными вместимостями 100, 42 и 13 мест. К примеру, для следующих марок: ЛАЗ-А183, ПА3-32054, ГАЗ-322132:

$$q_3^{100} = q_{сид} \cdot \frac{q_{сид} + F_{ст}\lambda_8}{q_{сид} + F_{ст}\lambda_3} = 1,9q_{сид}, \quad (4)$$

где  $q_3^{100}$  – пассажироместность, для транспортного средства с номинальной пассажироместностью, равной 100 чел, при наполняемости 3 пасс./м<sup>2</sup>;

$\lambda_8$  – количество пассажиров на 1 м<sup>2</sup> свободной площади салона составляет 8 чел./м<sup>2</sup>.

Аналогично были рассчитаны пассажироместности для ПА3-32054, ГАЗ-322132:

$$q_3^{42} = 1,3q_{сид}; \quad q_3^{13} = q_{сид}. \quad (5)$$

Коэффициент заполнения салона транспортного средства во время поездки пассажира для данных пассажироместностей рассчитаем по формуле:

$$\gamma_{мп} = \frac{q_i^j}{q_n}, \quad (6)$$

где  $\gamma_{мп}$  – коэффициент заполнения салона транспортного средства во время поездки пассажира;

$q_n$  – номинальная пассажироместность транспортного средства, чел.;

$q_i^j$  – пассажироместность для транспортного средства с  $i$ -ой номинальной пассажироместностью, при  $j$ -ой наполняемости.

Среди транспортных факторов, входящих в модель (1), не представляется возможным определить конкретное значение заполнения салона транспортного средства, это объясняется тем, что в переполненном салоне пассажир мог стоять и испытывать на себе одно условие поездки, а мог занимать место для сидения и для него передвижение осуществляется как бы в салоне с заполнением, определяемым только занятыми местами для сидения. Для уравнивания данных условий поездки Гюлевым введен коэффициент пропорциональности.

Для определения влияния условий поездки достаточно оценить в каждом случае значения коэффициента заполнения салона во время маршрутной поездки и скорректировать его на  $k$  при помощи табл. 1 [6].

Таблица 1

**Соотношение между коэффициентом заполнения салона транспортного средства во время поездки пассажира и коэффициентом пропорциональности**

| $\gamma_{мп}$ | 1,8  | 1,5  | 1,2  | 1,0  | 0,9  | 0,6  | 0,3  | $\gamma_{мп} = \gamma'_{мп}$ |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------------|
| $k$           | 0,89 | 0,88 | 0,85 | 0,83 | 0,82 | 0,79 | 0,77 | 1,0                          |

где  $\gamma_{мп} = \gamma'_{мп}$  – заняты только места для сидения.

Определим  $k\gamma_{мп}$  для рассматриваемых марок:

$$\begin{cases} \gamma_{мп}^{100} \approx 0,7 \\ \gamma_{мп}^{42} \approx 0,6 \\ \gamma_{мп}^{13} = \gamma'_{мп} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k\gamma_{мп}^{100} \approx 0,6 \\ k\gamma_{мп}^{42} \approx 0,5 \\ k\gamma_{мп}^{13} \approx 0,3 \end{cases} \quad (7)$$

Для определения условий перевозки на маршрутах г. Харькова, было проведено натурное обследование на маршруте № 57 «м. Пушкинская – пр. Победы». Для чего были разработаны анкеты по определению пассажиропотока на маршруте и режимов работы транспортных средств.

Сбор информации проводился с помощью восьми учетчиков, которые были размещены в прямом и обратном направлении между остановочными пунктами маршрута с наибольшим пассажирообменом. На основе полученной и обработанной информации определены основные характеристики маршрута № 57 «м. Пушкинская – пр. Победы», выявлено, что на данном маршруте количество транспортных средств не соответствует пассажиропотоку, в связи с этим величина коэффициента заполнения салона ( $\gamma_{мп} = 1,5$ ) и режимы работы транспортных средств не отвечают комфортным условиям поездки.

Определим транспортную утомляемость пассажира при представленных условиях поездки по формулам (1) и (2). Для этого, пользуясь табл. 1, определим коэффициент заполнения салона транспортного средства во время маршрутной поездки с учетом коэффициента пропорциональности –  $k\gamma_{мп} = 1,32$  (см. рис. 1).

Также рассчитаны характеристики маршрута с существующим пассажиропотоком при использовании на маршруте той же марки ПАЗ-32051, только при  $\gamma_{мп} = 1$  ( $k\gamma_{мп} = 0,83$ ). На данном маршруте предлагается использование транспортных средств с наполняемостью 3 чел./м<sup>2</sup>, к примеру ПАЗ-32051, где  $k\gamma_{мп}^{42} = 0,5$  и ГАЗ-322132, где  $k\gamma_{мп}^{13} = 0,3$ . На рис. 1 приведена транспортная утомляемость пассажира при передвижении в предлагаемых условиях.

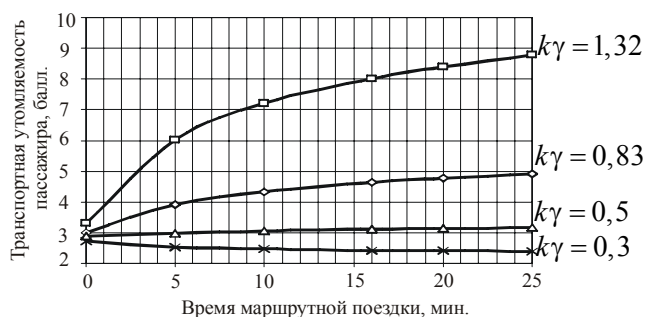


Рис. 1. Транспортная утомляемость пассажира при различных условиях маршрутной поездки на маршруте № 57 «м. Пушкинская – пр. Победы»

Из рис.1 видно, что пассажира во время маршрутной поездки наименее утомляют марки с предлагаемым наполнением салона транс-

портного средства при числе стоящих пассажиров 3 чел./м<sup>2</sup>.

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

Для эффективного функционирования рынка транспортных услуг первоочередное значение имеет полная информация о спросе на них, т.е. о транспортных потребностях жителей города. Транспортная утомляемость пассажира – один из критериев неосознанного выбора пассажиром транспортного средства, при улучшении процесса перевозки спрос на услугу вырастет. Спрос предопределяет предложение, а от соотношения спроса и предложения зависит ситуация на рынке. Предлагаемая эксплуатация на маршруте транспортных средств требует увеличения их количества, и как следствие, денежных инвестиций.

В дальнейшей деятельности планируется получение закономерностей влияния экономических и социальных параметров работы маршрута на выбор марки транспортного средства.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Статистичний збірник: Транспортний комплекс Харківської області [Текст] / за ред. Н. В. Бондаренко. – Х.: Головне управління статистики у Харківській області, 2007. – 73 с.
2. Логистика: общественный пассажирский транспорт [Текст]: учебн. для студ. экон. вузов / под общ. ред. Л. Б. Миротина. – М.: Изд-во «Экзамен», 2003. – 224 с.
3. Цибулка, Я. Качество пассажирских перевозок в городах [Текст] / Я. Цибулка [пер. с чеш.]. – М.: Транспорт, 1987. – 239 с.
4. Доля, В. К. Методы организации перевозок пассажиров в городах [Текст] / В. К. Доля. – Х.: Основа, 1992. – 144 с.
5. Самойлов, Д. С. Городской транспорт [Текст]: учебн. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Д. С. Самойлов. – М.: Стройиздат, 1983. – 384 с.
6. Гюлев, Н. У. Выбор рационального количества автобусов на маршрутах города с учетом влияния человеческого фактора [Текст] / Н. У. Гюлев. – Х.: ХНАДУ, 1993. – 230 с.

Поступила в редколлегию 31.03.2008.

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ КРИТЕРИЕВ ОПАСНЫХ ОТКАЗОВ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

В роботі доповнено часовими характеристиками критерії небезпечних відмов рейкових кіл різних типів.

В работе дополнены временными характеристиками критерии опасных отказов рельсовых цепей различных типов.

In the paper the criteria of dangerous refusals of track circuits of different types are complemented by the time features.

### Введение, анализ исследований и постановка задачи

Одним из основных технических устройств, непосредственно обеспечивающим безопасность движения поездов, является датчик состояния участка пути – рельсовая цепь (РЦ). В ее функции входит фиксация наличия подвижной единицы, осуществление контроля целостности рельсовой линии, применение в качестве телемеханического канала связи и некоторые другие.

Согласно нормативной документации [1, 2], в процессе функционирования рельсовых цепей вероятность возникновения опасного отказа типа «ложная свободность» должна быть сведена к минимуму. Причем численное значение интенсивности таких отказов не должно превышать  $0,14 \cdot 10^{-10}$  (1/ч) за каждый час работы РЦ [2].

С другой стороны, факт возникновения опасного отказа может быть зафиксирован только в случае нарушения соответствующего критерия, т.е. при обнаружении признака или совокупности признаков нарушения безопасного состояния системы, установленных в нормативной и (или) проектно-конструкторской документации (п. 3.2.9 [2]).

Для систем электрической централизации, в которых выходные каскады датчиков построены на реле первого класса надежности, таким признаком является фиксация возбужденного состояния путевого реле при фактической занятости рельсовой линии или нарушении ее целостности [3]. Аналогичный критерий применяется в системах автоматической блокировки на перегонах [4 – 5].

Отметим, что при формализации критерия опасного отказа рельсовых цепей для релейных систем не фиксируются временные параметры.

Данные характеристики определяются быстродействием применяемых реле и перечислены в соответствующей нормативной документации [6]. С другой стороны, отсутствие анализа временных признаков сигналов в рельсовой линии привело к необходимости ввода данной функциональности в алгоритм работы систем.

Так, например, в электрической централизации промежуточных станций (ЭЦ-8) [7], с групповым замыканием и размыканием секций маршрута для защиты от преждевременного размыкания маршрута при потере шунта (загрязненные рельсы, короткая подвижная единица) освобождение стрелочных секций фиксируется групповым медленнодействующим на срабатывание реле МНСП (НМШТ-1800). Задержка на срабатывание этого реле выбирается не менее 8 с, что примерно в два раза превышает время потери шунта, полученное на основе статистических данных [8]. Аналогичные решения предусмотрены в электрической централизации промежуточных станций (ЭЦ-12) [9] с индивидуальным замыканием и размыканием секций маршрута, где освобождение секции фиксируется медленнодействующим реле МСП (для каждой секции маршрута).

В системе БМРЦ [10] применяется секционное замыкание и размыкание маршрута, однако для защиты от ложного размыкания каждая секция (кроме первой в маршруте) размыкается с проверкой следующих условий безопасности: размыкание предыдущей ( $i - 1$ )-ой секции; занятие подвижным составом  $i$ -ой секции; освобождение  $i$ -ой секции и занятие следующей ( $i + 1$ )-ой секции. Первая секция размыкается с проверкой трех последних условий. Тем не менее, для последней секции в маршрутах отправления, также как и в предыдущих системах ЭЦ, предусматривается ее размыкание с соответствующей выдержкой времени, которая реа-

лизована с помощью повторителя путевого реле с замедлением на притяжение (МП).

Проведенный анализ показывает, что формализация критерия опасного отказа рельсовой цепи сформировалась, исходя из предположения применения релейного выходного каскада. Исключение нарушения безопасного режима функционирования систем управления движением поездов производится за счет выбора адекватного алгоритма работы и соответствующих схемно-технических решений. С другой стороны, в настоящее время происходит процесс синтеза систем управления движением поездов на основе применения микропроцессорных (МП) средств. В случае применения МП устройств вместо путевого реле в качестве безопасного выходного каскада РЦ, с учетом значительного быстродействия средств вычислительной техники, остается открытым вопрос о критерии опасного отказа датчика. Т.е. в настоящее время нет ответа на ряд насущных вопросов, касающихся, в первую очередь, временных характеристик работы МП РЦ.

Таким образом, *целью данной работы* является дальнейшее развитие теории безопасности систем железнодорожной автоматики и телемеханики за счет дополнения критерия опасного отказа рельсовой цепи временными характеристиками.

### Основной материал

Как известно (например, [1, 2]), аппаратура РЦ подразделяется на оборудование передающего, приемного концов и рельсовую линию (РЛ). Обеспечение функциональности производится за счет сигнального тока, формируемого на передающем конце и проходящего по РЛ. Качественные признаки таких сигналов зависят от типа рельсовой цепи, от частоты и уровня помех тягового тока. Кроме этого, использование РЦ как телемеханического канала связи обуславливает использование различных видов модуляции сигнального тока: амплитудной, частотной и фазовой.

Рассмотрим ток в рельсовой линии как функцию  $i_{рц}(t)$  и классифицируем типы РЦ по закону ее изменения (табл. 1).

В существующем оборудовании рельсовых цепей в качестве выходного каскада приемной части применяются реле. При свободном состоянии рельсовой линии ток  $i_{рц}(t)$  проходит по входным цепям путевого приемника (ПП), что приводит к срабатыванию и удержанию путевого реле. На выходе ПП появляется дис-

кретная информация о свободности и исправном состоянии рельсовой линии. В случае ее занятия подвижной единицей основная часть тока проходит через колесные пары, путевого приемник обесточивается и на его выходе появляется информация о занятом состоянии РЦ.

Таблица 1

### Классификация рельсовых цепей по закону изменения тока в рельсовой линии

| Тип рельсовой цепи                        | Закон изменения тока в рельсовой линии  |
|---|---|
| Постоянного тока                          | $i_{рц}(t) = A(t)i_{п}, \quad (1)$ <p>где <math>A(t)</math> – некоторая, как правило, дискретная функция;<br/> <math>i_{п}</math> – амплитуда тока источника питания.</p>   |
| Переменного тока с амплитудной модуляцией | $i_{рц}(t) = A(t)i_{п} \cos(\omega t + \varphi). \quad (2)$ <p>В станционных некодируемых рельсовых цепях <math>A(t) = 1</math>, тогда выражения для РЦ 25 Гц:<br/> <math>i_{рц}(t) = i_{п} \cos(157t + \varphi)</math>,<br/>                     50 Гц: <math>i_{рц}(t) = i_{п} \cos(314t + \varphi)</math>,<br/>                     где <math>\varphi</math> – фаза колебаний, используемая в фазочувствительных РЦ. В кодируемых рельсовых цепях переменного тока <math>A(t)</math> – дискретная функция.</p> |
| Переменного тока с частотной модуляцией   | $i_{рц}(t) = i_{п} \cos(\Omega t + \varphi), \quad (3)$ <p>где <math>\Omega</math> – функция частотной модуляции.</p>   |
| Переменного тока с фазовой модуляцией     | $i_{рц}(t) = i_{п} \cos(\omega t + \Phi), \quad (4)$ <p>где <math>\Phi</math> – функция фазовой модуляции.</p>  |

Это функционирование рельсовой цепи в штатном режиме, при возникновении отказа данный дискретный датчик выдает искаженную информацию, для характеристики которой применяются установившиеся термины: «ложная занятость» или «ложная свободность». Как известно [11 – 13], в первом случае отказ РЦ является защитным, во втором – опасным.

Сформулируем соответствующий критерий, как признак или совокупность признаков опасного состояния системы, который должен быть установлен в нормативно-технической документации на данное устройство [2]. Очевидно,

что следует привести общий критерий, без учета элементной базы реализации путевого приемника, после чего его необходимо дополнить временными характеристиками при условии применения средств микропроцессорной техники.

*Критерий опасного отказа путевого приемника рельсовой цепи (общий).* Появление на выходе путевого приемника информации о свободности рельсовой цепи при ее фактической занятости или нарушении целостности (например, [11]).

Как отмечено выше, данный критерий, устанавливаемый в нормативно-технической до-

кументации при разработке микропроцессорного путевого приемника, не будет являться достаточным. Рассмотрим данную проблему на примере сравнения функционирования оборудования РЦ переменного тока, с путевым приемником ДСШ и микропроцессорного устройства (МП ПП), выполняющего аналогичные функции (рис. 1). Отметим, что в программном обеспечении МП ПП предполагается пороговая фиксация наличия входного сигнала и, в отличие от путевого приемника ТРЦ [12], передача выходной информации осуществляется без применения реле.

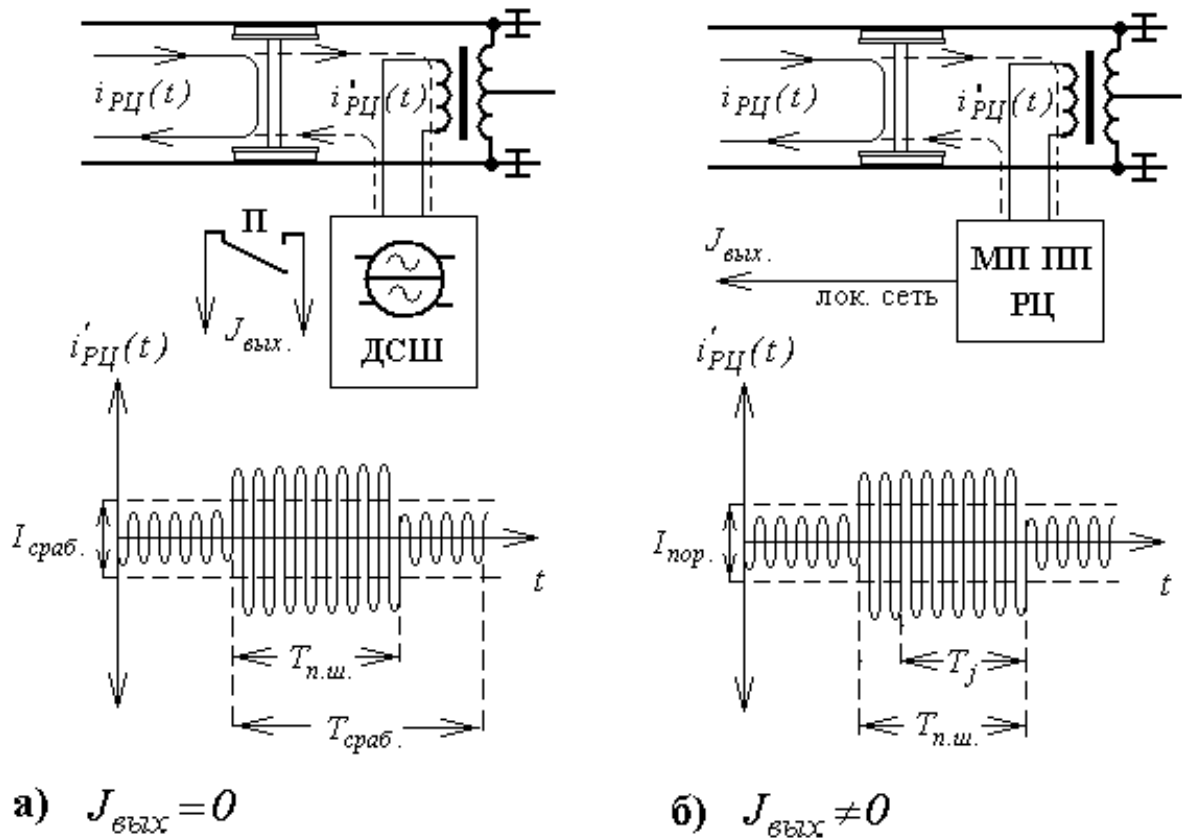


Рисунок 1 - Функционирование релейного а) и микропроцессорного б) приемников РЦ при кратковременной потере шунта

Так, при кратковременной потере шунта, длительностью  $T_{\text{н.ш.}}$ , во входных цепях путевого приемника ток  $i'_{\text{PЦ}}(t)$  увеличивается до такого значения  $I_{\text{сраб.}}$ , что наводимое им на обмотке напряжение превысит порог срабатывания путевого реле П (рис. 1, а). Однако если длительность воздействия такой помехи меньше времени срабатывания реле ДСШ ( $T_{\text{н.ш.}} < T_{\text{сраб.}}$ )

выходная информация  $J_{\text{вых.}}$  о свободности рельсовой линии не появится, т.е.  $J_{\text{вых.}} = 0$ . В данном случае происходит фильтрация опасных отказов за счет инерционности релейной элементной базы, следовательно, при формулировке общего критерия нет необходимости в уточнении временных характеристик входных сигналов.

В свою очередь, средства микропроцессорной техники позволяют выявить сигнал, превышающий порог срабатывания  $I_{пор.}$ , в течение двух-трех периодов функции  $i'_{рц}(t)$  [14, 15]. Данный промежуток времени распознавания сигнала  $T_{расп.}$  составляет: для РЦ-25 Гц – 80...120 мс, для РЦ-50 Гц – 40...60 мс.

Если длительность промежутка времени  $T_{п.ш.}$  (рис. 1, б), в течение которого по входным цепям МП ПП проходит ток  $i'_{рц}(t)$ , больше  $T_{расп.} = T_{п.ш.} - T_j$ , то устройство может передавать информацию  $J_{вых.}$  о свободности рельсовой линии, т.е.  $J_{вых.} \neq 0$ . Однако фактически поезд может находиться в зоне действия датчика, следовательно, формирование и передача такой информации будет являться опасным отказом типа «ложная свободность».

Наиболее логичным в данной ситуации следует принять временные параметры релейных путевых приемников в качестве основных, как доказавших за более чем полувековой период эксплуатации высокие показатели функциональной безопасности. На основе такого подхода сформулируем общий принцип синтеза критериев опасных отказов: выдача МП ПП информации о свободном состоянии РЦ при появлении сигнала  $i'_{рц}(t)$ , превышающего порог  $I_{пор.}$ , в рельсовой линии ранее, чем время срабатывания релейного путевого приемника, соответствующего данному типу рельсовой цепи. Выдача такой информации должна продолжаться при уменьшении уровня входного сигнала в течение промежутка времени, не превышающего задержку на отпускание релейного ПП. Аналогично для фазовых и частотных признаков сигналов соответствующих РЦ.

Детализируем критерии для рассмотренных выше типов рельсовых цепей (табл. 1):

1. Постоянного тока. Как известно, РЦ такого типа нашли применение в импульсно-проводной автоблокировке [4, 12], которая является устаревшей и применение такого типа РЦ во вновь разрабатываемых микропроцессорных системах неоправдано. С другой стороны, с целью охвата всех известных и перспективных типов РЦ, целесообразно сформулировать соответствующий критерий.

В импульсно-проводной АБ импульсы постоянного тока, согласно выражению (1), формируются на питающем конце маятниковым трансмиттером МТ-1 с периодом следования

105 (имп./мин.). На приемном конце, при свободном и ненарушенном состоянии рельсовой линии, они принимаются импульсным реле И. Путевое реле П, входящее в состав дешифратора, срабатывает во время первого интервала (минимальное значение  $T_{сраб.}$ ) и обесточивается

после первого отсутствия импульса  $i'_{рц}(t)$ . Следовательно, критерием опасного отказа следует считать формирование информации о свободном состоянии РЦ ранее 1,75 с после фиксации наличия импульса постоянного тока на приемном конце. Выдача такой информации должна продолжаться в течение промежутка времени, не превышающего 1,75 с (до момента прихода следующего импульса). При его отсутствии МП ПП должен выдавать информацию о занятии РЦ.

2. Переменного тока с амплитудной модуляцией. Рельсовые цепи такого типа нашли применение в системах электрической централизации (фазочувствительные с частотой 50, 25 Гц с путевыми приемниками ДСШ), кодовой автоблокировке (функция  $A(t)$  в выражении (2) представляет собой код КЖ, Ж или З [4, 12]), тональной частоты (функция  $A(t)$  – импульсы с частотой следования 8 или 12 Гц). Критерии опасного отказа для перечисленных типов рельсовых цепей следующие:

- для фазочувствительных РЦ [3] критерием опасного отказа является формирование информации о свободности РЛ в случае невыполнения условий:  $i'_{рц}(t) > I_{сраб.}$  и  $\varphi = \varphi_{ном.}$ , где  $\varphi_{ном.}$  – номинальный фазовый сдвиг между током  $i'_{рц}(t)$  и эталонным (фаза тока в местной обмотке ДСШ), а также в случае выдачи информации в промежуток времени, меньший 0,6...0,7 с, после фиксации  $i'_{рц}(t)$  (время задержки на срабатывание ДСШ). Информация о свободности не должна выдаваться более 0,7 с после пропадания входного сигнала. Обработка кратковременной потери шунта также может быть реализована в МП ПП, однако это должна быть информационная составляющая, не влияющая на основной критерий;

- в кодовой автоблокировке функции путевого реле выполняет сигнальное реле Ж и его повторитель Ж1 [4, 12]. Формулировка критерия основана на анализе работы дешифратора КАБ: выдача информации о свободности РЦ ранее приема и дешифрации полной кодовой посылки (промежуток времени 1,86 с) и про-

должение ее формирования в речении времени, большего 1,86 с после пропадания сигнала;

- в тональных рельсовых цепях временная характеристика состоит из времени фиксации несущей частоты, демодуляции модулирующего сигнала и задержки на срабатывания выходного реле АНШ [4, 12]. Критерием опасного отказа ТРЦ является выдача информация о свободности ранее 0,3 с после фиксации наличия сигнала и продолжение ее формирования более 0,1 с после его исчезновения.

3. Рельсовые цепи с частотной модуляцией не нашли применения в релейных системах автоматики и телемеханики. В связи с этим не представляется возможной ориентация на рассмотренные выше подходы. Однако, учитывая параметры рельсовой линии, следует отметить, что в качестве несущей частоты тока  $i_{рц}(t)$  могут применяться только низкочастотные колебания, а частота модуляции должна, как минимум, на порядок быть меньшей. Следовательно, по количественным значениям функции (3) можно ориентироваться на ТРЦ, а значит принять соответствующую формулировку критерия опасного отказа.

4. Рельсовые цепи с фазовой модуляцией также не нашли применения в релейных системах автоматики и телемеханики. Как и в предыдущем случае, принимаем формулировку критерия опасного отказа ТРЦ.

### Выводы и практические рекомендации

Таким образом, в работе получила дальнейшее развитие теория безопасности систем железнодорожной автоматики и телемеханики за счет дополнения критерия опасного отказа рельсовой цепи временными характеристиками для различных типов РЦ.

Предложенные критерии могут быть использованы как при синтезе микропроцессорных путевых приемников, так и при доказательстве их функциональной безопасности. Кроме этого, приведенные временные параметры времени могут быть использованы для обеспечения дополнительной функциональности датчиков, например, с целью технической диагностики устройств.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]: Затв.: Наказ Мінтрансу України від 20 грудня 1996 р. № 411. Із змінами і доповненнями, внесеними наказом Мінтрансу України від 8 червня 1998 р. № 226, від 23 липня 1999 р. № 386, від 19 березня 2002 р. № 179. – К., 2003. – 134 с.
2. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробування [Текст]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 31 с.
3. Станционные системы автоматики и телемеханики [Текст] / Вл. В. Сапожников и др. – М.: Транспорт, 1997. – 432 с.
4. Путевая блокировка и авторегулировка [Текст]: учебн. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / под ред. Н. Ф. Котляренко. – М.: Транспорт, 1983. – 400 с.
5. Телеуправление стрелками и сигналами [Текст]. – изд. 2-е, перераб. и доп. / А. С. Переборов и др. – М.: Транспорт, 1975. – 448 с.
6. Сороко, В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]: справочник: в 2 кн. – Кн. 1. – 3-е изд. / В. И. Сороко, В. А. Милуков. – М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2000. – 969 с.
7. Типовые проектные решения 501-0-61. Электрическая централизация промежуточных станций: ЭЦ-8 [Текст]: Утв. и введ. в действие Главным Управлением сигнализации и связи МПС СССР с 01.04.75. – М., 1975.
8. Ведомственные нормы технологического проектирования [Текст] / МПС СССР. – Л.: Транспорт, 1986. – 125 с.
9. Типовые проектные решения 501-05-46.84. Электрическая централизация промежуточных станций: ЭЦ-12-83 (Альбом I-II) [Текст]: Утв. и введ. в действие Главным Управлением сигнализации и связи МПС СССР с 25.04.84. – М., 1984.
10. Типовые проектные решения 501-0-98. Схемы маршрутной релейной централизации: МРЦ-13 (Альбом I, V) [Текст]: Утв. и введ. в действие Главным Управлением сигнализации и связи МПС СССР с 30.07.78. – М., 1978.
11. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст]: учебн. пособие для вузов ж.д. трансп. / под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2003. – 263 с.
12. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах [Текст]: учебн. пособие / А. Б. Бойник и др. – Х.: УкрГАЗТ, 2005. – 256 с.
13. Чепцов, М. Н. Вероятность опасного отказа микропроцессорного устройства управления движением поездов [Текст] / М. Н. Чепцов // 36. наук. пр. ДонІЗТ. – 2007. – Вип. 9. – С. 68-73.
14. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов [Текст] / Л. Рабинер, Б. Голд [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1978. – 837 с.
15. Чепцов, М. Н. Безопасность программного обеспечения микропроцессорных тональных рельсовых цепей [Текст] / М. Н. Чепцов // 36. наук. пр. ДонІЗТ. – 2005. – № 4. – С. 54-61.

Поступила в редколлегию 31.03.2008.

## АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРОННІЙ КОМЕРЦІЇ

У даній статті розглянуті теоретичні аспекти моделювання бізнес-процесів, дана характеристика методів, визначені їхні достоїнства й недоліки, зроблено порівняльний аналіз методів моделювання бізнес-процесів з урахуванням застосування розглянутих методів в електронній комерції.

В данной статье рассмотрены теоретические аспекты моделирования бизнес-процессов, дана характеристика методов, определены их достоинства и недостатки, сделан сравнительный анализ методов моделирования бизнес-процессов с учетом применения рассмотренных методов в электронной коммерции.

In this article the theoretical aspects of modeling business-processes are considered, the characteristic of business-modeling methods is given, their merits and demerits are determined, the comparative analysis of methods of modeling business-processes in e-commerce is performed.

### Вступ

У сучасній практиці моделювання управлінської і виробничої діяльності для позначення об'єктів моделювання прийнято використовувати термін «бізнес-процес» (business-process) [6].

Моделювання бізнес-процесів використовується на практиці для рішення широкого спектру завдань і є важливою складовою частиною проектів по реорганізації бізнес-процесів і створенню інформаційних систем, програмного забезпечення у сфері електронної комерції. На сьогоднішній момент існує проблема вибору адекватних методів і інструментів моделювання, що породжує їх розмаїтість і відсутність єдиних стандартів засобів і методів моделювання. Існуючі методи й засоби моделювання використовують різні мови моделювання, термінологію, несумісні один з одним, дорогі й трудомісткі у використанні. Ці обставини обумовлюють створення численних проектів, метою яких є інтеграція існуючих методів і мов моделювання, створення єдиного методичного й технологічного базису моделювання бізнес-процесів.

### Аналіз досліджень і публікацій по розглянутій темі, на які опирається автор

Дослідженнями в області вивчення й моделювання бізнес-процесів займаються Калянов Г. Н., Ойхман Е. Г., Попов Э. В. [2, 5]. Вищезгадані автори у своїх роботах систематизують знання в області моделювання, управління, планування й оцінки бізнес-процесів, описують існуючі методи моделювання бізнес-процесів.

Розглядом DFD-технології моделювання бізнес-процесів і методології ARIS, тенденцій використання стандартів моделювання у своїх працях розглядають Калашян А. Н. і Каменнова М. [1, 3].

За оцінками, наведеними В. В. Репіним [6], типовий сценарій розвитку подій у більшості організацій при моделюванні бізнес-процесів полягає у наступному: ставляться цілі, ініціюється проект, створюється опис бізнес-процесів, здійснюються спроби проаналізувати їх і приступити до реорганізації. Саме на останньому етапі, коли необхідно одержати певні результати, більшість організацій зазнає значних труднощів у реорганізації й моделюванні бізнес-процесів. У зв'язку із цим необхідний розгляд і вибір оптимального методу й стандартів моделювання на початковому етапі [6].

Бізнес-процес визначається як логічно завершений набір взаємозалежних і взаємодіючих видів діяльності, що підтримує діяльність організації і реалізує її політику, спрямовану на досягнення поставлених цілей.

Стандарт ISO 9000:2000 визначає бізнес-процес як сукупність взаємозалежних і взаємодіючих видів діяльності, які представляють цінність для споживача [9]. У цьому визначенні під бізнес-процесом можна розуміти будь-яку діяльність, що використовує ресурси (фінансові, матеріальні, людські, інформаційні) для перетворення вхідних елементів у вихідні. Бізнес-процес включає одну або більше зв'язаних між собою процедур або функцій, які спільно реалізують деяке завдання [2, 5].

Таким чином, визначення та моделювання бізнес-процесів є важливою складовою в управлінні підприємством, але стосовно сфери

електронної комерції ще не існує фундаментальної теоретичної бази для застосування існуючих методик, існує проблема вибору стандарту моделювання для цієї галузі.

### **Формулювання цілей статті**

Основною метою статті є розгляд і аналіз методів моделювання бізнес-процесів, стандартів моделювання, їх порівняльна характеристика, огляд інструментів моделювання, визначення подальших перспектив у дослідженні даного напрямку, вибір методу моделювання бізнес-процесів щодо підприємств електронної комерції.

### **Виклад основного матеріалу досліджень із повним обґрунтуванням наукових результатів**

Бізнес-процес являє собою систему послідовних, цілеспрямованих і регламентованих видів діяльності, у якій за допомогою керуючого впливу і необхідних ресурсів входи процесу перетворюються у виходи, результати процесу, що представляють цінність для споживачів [7].

Стосовно до підприємств електронної комерції, бізнес-процес можна охарактеризувати як стійкий інформаційний процес (послідовність робіт) організації виробничо-господарської діяльності, орієнтований на створення нової вартості.

Важливим кроком структуризації діяльності будь-якого підприємства є виділення й класифікація бізнес-процесів. Стосовно отримання доданої цінності продукту або послуги можна виділити наступні класи процесів:

- основні процеси;
- забезпечувальні процеси.

Основними бізнес-процесами є процеси, що додають цінність. Вони орієнтовані на виробництво товарів або надання послуг, що становлять основу діяльності організації й забезпечують одержання доходу. Прикладами таких процесів на підприємстві електронної комерції є процеси маркетингу, прийому замовлення, поставки продукту і сервісного обслуговування продукції, надання допомоги користувачу у роботі із програмним забезпеченням інформаційної системи.

Забезпечувальні процеси не додають цінність продукту або послуги для споживача, але збільшують їхню вартість. Вони необхідні для діяльності підприємства і призначені для підтримки виконання основних бізнес-процесів. Такими процесами в електронній комерції є:

фінансове забезпечення діяльності, забезпечення кадрами, юридичне забезпечення, адміністрування, забезпечення безпеки, поставка комплектуючих матеріалів, ремонт і технічне обслуговування і т.д.

Бізнес-процеси можна також класифікувати за видами діяльності або складу робіт [6]:

- планування діяльності (наприклад, планування реалізації товару для інтернет-магазинів);
- здійснення діяльності – саме виконання робіт (наприклад, доставка товарів чи сервісне обслуговування інформаційної системи);
- реєстрація фактичної інформації з виконання процесу (виробничий, управлінський і бухгалтерський облік);
- контроль і аналіз виконання плану;
- прийняття управлінських рішень.

Бізнес-модель – це формалізований (графічний, табличний, текстовий, символічний) опис бізнес-процесів, що відображає реально існуючу або передбачувану діяльність підприємства.

Основна галузь застосування бізнес-моделей – це реінжиніринг бізнес-процесів. При цьому передбачається побудова моделей поточної й перспективної діяльності, а також плану й програми переходу з першого стану у другий. Будь-яке сучасне підприємство є складною системою, його діяльність містить у собі виконання десятків тисяч взаємовпливових функцій і операцій. Головна ідея створення таких моделей як «AS-IS» (як є) і «AS-TO-BE» (як повинно бути) – зрозуміти, що робить (буде робити) підприємство і як воно функціонує (буде функціонувати) для досягнення своїх цілей. Слід зазначити, що моделі бізнес-процесів є не просто проміжним результатом, який використовує консультант для зазначення яких-небудь рекомендацій і висновків, вони являють собою самостійний результат, що має велике практичне значення, яке повинно бути зазначене у цілях їх побудови.

Важливим елементом моделі бізнес-процесів є бізнес-правила або правила предметної області. Типовими бізнес-правилами є корпоративна політика й державні закони. Бізнес-правила звичайно формулюються у спеціальному документі й можуть відображатися у моделях. Для організації бізнес-правил пропонується безліч різних схем класифікації. Найбільш повною можна вважати наступну класифікацію бізнес-правил: факти, обмеження; керуючі впливи й реакції на впливи, операційні, структурні обмеження; активатори операцій.

Для моделювання бізнес-процесів необхідно використовувати певну методику, що включає опис методів моделювання – засобів подання реальних об'єктів підприємства за допомогою об'єктів моделі; процедуру – послідовність кроків збору інформації, її обробки й подання у вигляді моделей (діаграм і документів).

Використовується кілька різних методів, основою яких є як структурний, так і об'єктно-орієнтовний підходи до моделювання. Однак розподіл самих методів на структурні і об'єктні є досить умовним, оскільки найбільш розвинені методи використовують елементи обох підходів. До числа найпоширеніших методів відносяться:

- метод функціонального моделювання SADT (IDEF0);
- метод моделювання процесів IDEF3;
- моделювання потоків даних DFD;
- метод ARIS;
- метод Ericsson-Penker.

Метод SADT (Structured Analysis and Design Technique) був розроблений Дугласом Россом в 1969 р. для моделювання штучних систем середньої складності. Даний метод успішно використовується у військових, промислових і комерційних організаціях США для рішення широкого кола завдань, таких як довгострокове й стратегічне планування, автоматизоване виробництво й проектування, розробка програмного забезпечення для оборонних систем, управління фінансами й матеріально-технічним постачанням й інше. Метод SADT вважається класичним методом процесного підходу до управління [4]. Основний принцип процесного підходу полягає у структуруванні діяльності організації відповідно до її бізнес-процесів, а не організаційно-штатною структурою.

Результатом застосування методу SADT є модель, що складається з діаграм, фрагментів текстів і глосарію, що мають посилання один на одного. Діаграми – головні компоненти моделі, всі функції організації й інтерфейси на них представлені як блоки й дуги відповідно.

Метод SADT найбільшою мірою підходить для опису процесів верхнього рівня управління та моделювання процесів обробки інформації. Його основні переваги полягають у наступному:

- повнота опису бізнес-моделі;
- комплексність декомпозиції;
- можливість агрегування й деталізації потоків даних і інформації;
- наявність твердих вимог, що забезпечують одержання моделей стандартного виду;

- простота документування процесів;
- відповідність підходу до опису процесів стандарту ISO 9000:2000.

У той же час метод SADT має ряд недоліків:

- складність сприйняття;
- велика кількість рівнів декомпозиції;
- труднощі співставлення декількох процесів, представлених у різних моделях однієї системи.

Метод моделювання IDEF3 є частиною сімейства стандартів IDEF. Цей метод призначений для моделювання послідовності виконання дій і взаємозалежності між ними у рамках бізнес-процесів [2].

Основою моделі IDEF3 служить так званий сценарій процесу, що виділяє послідовність дій і підпроцесів аналізованої системи. Як і у методі SADT (IDEF0), основою одиницею моделі IDEF3 є діаграма. Інший важливий компонент моделі — дія, або у термінах IDEF3 «одиниця роботи» (Unit of Work). Методи SADT і IDEF3 багато у чому схожі, тому метод IDEF3 має аналогічні переваги й недоліки.

Метод DFD, або діаграми потоків даних (Data Flow Diagrams), являє собою ієрархію функціональних процесів, зв'язаних потоками даних. Ціль такого подання — продемонструвати, як кожний процес перетворить свої вхідні дані у вихідні, а також виявити відносини між цими процесами [1]. Для побудови DFD традиційно використовуються дві різні нотації, що відповідають методам Йордона-Демарко й Гейна-Серсона.

Відповідно до даного методу модель системи визначається як ієрархія діаграм потоків даних, що описують асинхронний процес перетворення інформації від її введення в систему до видачі споживачеві. Джерела інформації (зовнішні сутності) породжують інформаційні потоки (потоки даних), що переносять інформацію до підсистем або процесів. Ті, у свою чергу, перетворюють інформацію й породжують нові потоки, які переносять інформацію до інших процесів або підсистем, накопичувачам даних або зовнішніх сутностей – споживачам інформації.

При моделюванні бізнес-процесів діаграми потоків даних (DFD) використовуються для побудови моделей «AS-IS» і «AS-TO-BE», відображаючи, таким чином, існуючу й пропоновану структуру бізнес-процесів організації й взаємодію між ними.

Зараз спостерігається тенденція інтеграції різноманітних методів моделювання й аналізу систем, що проявляється у формі створення

інтегрованих засобів моделювання. Одним з таких засобів є продукт, що носить назву ARIS (Architecture of Integrated Information System), розроблений німецькою компанією IDS Scheer [3]. Система ARIS являє собою комплекс засобів аналізу й моделювання діяльності підприємства. Її методичну основу становить сукупність різних методів моделювання, що відображають різні погляди на досліджувану систему.

Методика моделювання ARIS ґрунтується на розробленій професором Августом Шером теорії побудови інтегрованих інформаційних систем, що визначає принципи візуального відображення всіх аспектів функціонування аналізованих компаній. ARIS підтримує чотири типи моделей, що відображають різні аспекти досліджуваної системи:

- організаційні моделі, що представляють структуру системи – ієрархію організаційних підрозділів, посад і конкретних осіб, зв'язку між ними, а також територіальну прив'язку структурних підрозділів;
- функціональні моделі, що містять ієрархію цілей, із сукупністю дерев функцій, необхідних для досягнення поставлених цілей;
- інформаційні моделі, необхідні для реалізації всієї сукупності функцій системи;
- моделі управління, що представляють комплексний погляд на реалізацію бізнес-процесів у рамках системи.

Для побудови перерахованих типів моделей використовуються як власні методи моделювання ARIS, так і різні відомі методи й мови моделювання, зокрема, UML. У процесі моделювання кожний аспект діяльності підприємства спочатку розглядається окремо, а після детального пророблення всіх аспектів будується інтегрована модель, що відбиває всі зв'язки між різними аспектами.

Основна перевага методу ARIS полягає в його комплексності, що проявляється у взаємозв'язку між моделями різних типів. Метод ARIS дозволяє описувати діяльність організації з різних точок зору й установлювати зв'язок між різними моделями. Однак такий підхід важко реалізується на практиці, оскільки потребує значних витрат ресурсів, як людських, так і фінансових протягом тривалого часу.

У методі Ericsson-Penker використовуються принципи об'єктного моделювання. Це стало можливим завдяки наявності в UML механізмів розширення. Наявність механізмів розширення принципово відрізняє UML від таких засобів моделювання, як IDEF0, IDEF3, DFD. Перера-

ховані мови моделювання можна визначити як сильно типізовані, за аналогією з мовами програмування, оскільки вони не допускають довільної інтерпретації семантики елементів моделей. UML, допускаючи таку інтерпретацію, є слабо типізованою мовою [1].

Метод використовує чотири основні категорії бізнес-моделі:

- ресурси – різні об'єкти, що беруть участь у бізнес-процесах (люди, матеріали, інформація або продукти);
- процеси – види діяльності, що змінюють стан ресурсів відповідно до бізнес-правил;
- цілі – призначення бізнес-процесів;
- бізнес-правила – умови або обмеження виконання процесів (функціональні, поведінкові або структурні).

Сьогодні на ринку представлена досить значна кількість інструментальних засобів (ARIS Toolset, BPwin і ін.), які дозволяють, так чи інакше, створювати моделі бізнес-процесів. Визначити переваги того або іншого методу й засобів моделювання можна тільки на прикладі конкретного завдання або у рамках конкретного проекту.

Опис бізнес-процесів проводиться з метою їх подальшого аналізу й реорганізації. Для підприємств електронної комерції метою реорганізації може бути удосконалення інформаційної системи обслуговування підприємства, скорочення витрат на підтримку діяльності підприємства, підвищення якості обслуговування клієнтів, оптимізація процесу прийому платежів тощо. Для кожного такого завдання існують певні параметри, що визначають набір критичних знань з бізнес-процесу. У залежності від завдання вимоги до опису бізнес-процесів можуть мінятися.

Одним з найважливіших аспектів опису моделей бізнес-процесів є відображення керуючих впливів, зворотних зв'язків з контролю й управління процедурою. У нотації ARIS, управління процедурою може бути відображено тільки за допомогою вказівки вхідних документів, які регламентують виконання процедури, і послідовності виконання процедур у часі. На відміну від ARIS, у нотації IDEF0 кожна процедура повинна мати хоча б одне керуюче значення. Якщо при створенні моделі в ARIS указувати тільки послідовність виконання процедур, не піклуючись про відображення керуючих документів і інформації, отримані моделі будуть мати низьку цінність з погляду аналізу й подальшого використання.

Кожна з розглянутих систем має свої переваги й недоліки. Залежно від розв'язуваних завдань ці переваги й недоліки можуть як підсилюватися, так і навпаки. Наприклад, відсутність чітких угод по моделюванню керуючих впливів у рамках ARIS може привести до створення моделей, що не відповідають на поставлені питання, у той час як нотація IDEF0 системи BPwin дозволяє вирішити це завдання. Для ведення невеликих за масштабами і тривалістю (кілька місяців) проектів раціонально використовувати BPwin, для великих або тривалих проектів більше підходить ARIS.

Функціональні можливості інструментальних засобів моделювання ARIS Toolset і BPwin можна коректно порівнювати тільки стосовно певного кола завдань. Наприклад, ARIS більш підходить для моделювання бізнес-процесів електронної торгівлі, наприклад, діяльності інтернет-магазину, BPwin – для оптимізації процесів обробки інформації чи взаємодії з клієнтом, наприклад, клієнтської підтримки.

#### **Висновки з даного дослідження й перспективи подальших розробок у даному напрямку**

Таким чином, використання методів моделювання бізнес-процесів на підприємствах є одним з перспективних напрямків удосконалення системи управління господарською діяльністю. Розглянуто основні методи моделювання бізнес-процесів, визначені переваги й недоліки методів, проведений їхній порівняльний аналіз.

Сучасні методи й інструментальні засоби моделювання досягли такого рівня, що можливості з погляду образотворчих засобів моделювання – інструментів моделювання, на сьогодні, стали приблизно однаковими. При цьому одним з основних критеріїв вибору того або іншого методу й інструменту стає ступінь володіння ним з боку консультанта або аналітика, грамотність вираження своїх думок мовою моделювання, що забезпечує достатній рівень розуміння моделей з боку керівників і фахівців організації і застосування цих моделей на практиці.

Діяльність підприємств електронної комерції базується на використанні інформаційних систем, взаємодії з клієнтом (користувачем), платіжними системами, здійсненню операцій купівлі-продажу. Серед розглянутих методик

моделювання бізнес-процесів через широкі функціональні можливості, великий вибір інтегрованих методик, а також адаптації до роботи з інформаційними системами метод ARIS найбільш підходить до застосування у сфері електронної комерції. Однак, як уже було відзначено, вибір методу моделювання у цілому залежить від предметної області моделювання у сфері електронної комерції та масштабу проекту. Тому для моделювання й опису інформаційних бізнес-процесів більш прийнятний метод SADT (IDEF0), у якому можливе агрегування й деталізація потоків даних та інформації.

Перспективним напрямком в області електронної комерції та моделювання бізнес-процесів є дослідження бізнес-процесів, їх детальний опис, регламентація, інтеграція економіко-математичних методів з існуючими методами моделювання.

#### **БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК**

1. Калашян, А. Н. Структурные модели бизнеса: DFD-технологии [Текст] / А. Н. Калашян, Г. Н. Калянов. – М.: Финансы и статистика, 2003.
2. Калянов, Г. Н. Моделирование, анализ, реорганизация и автоматизация бизнеспроцессов [Текст] / Г. Н. Калянов. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 240 с.
3. Каменнова, М. Моделирование бизнеса. Методология ARIS [Текст] / М. Каменнова, А. Громов. – М.: Весть-МетаТехнология, 2001.
4. Марка, Д. А. Методология структурного анализа и проектирования [Текст] / Д. А. Марка, К. МакГоуэн. – М.: МетаТехнология, 1993.
5. Ойхман, Е. Г. Реинжиниринг бизнеса: реинжиниринг организации и информационные технологии [Текст] / Е. Г. Ойхман, Э. В. Попов. – М.: Финансы и статистика, 1997.
6. Репин, В. В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов [Текст] / В. В. Репин, В. Г. Елиферов. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2004.
7. Щенников, С. Ю. Реинжиниринг бизнес процессов, управление, планирование и оценка [Текст] / С. Ю. Щенников. – М.: Ось-89, 2004. – 288 с.
8. Business Process Modeling Notation. Working Draft (1.0) [Електрон. ресурс]. – August 25, 2003. – Режим доступу: <http://www.bpmn.org>.
9. ISO. The ISO 9000:2000 guidance modules – Guidance on the Terminology used in ISO 9001:2000 [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.iso.org/>.

Надійшла до редколегії 31.03.2008.

Л. М. ШУТЕНКО, Е. М. ЄРМАК (Харківська національна академія міського господарства)

## ДО МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОВЖИНИ ПЕРЕГОНУ НА МАРШРУТАХ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ФАКТОРА ЛЮДИНИ

Розглянуто модель визначення оптимальної довжини перегону на маршрутах міського пасажирського транспорту і наведено результати моделювання довжини перегону з урахуванням зміни величини пасажиропотоку і вартості пішого руху.

Рассмотрена модель определения оптимальной длины перегона на маршрутах городского пассажирского транспорта и приведены результаты моделирования длины перегона с учетом изменения величины пассажиропотока и стоимости пешего движения.

The model of determining optimum leg length on municipal public transport routes is examined. The results of modeling leg length taking into account the changes in value of passenger traffic volume and pedestrian movement cost are presented.

### Вступ

В теперішній час у світі всі процеси підпорядковані соціально-економічним законам, суть яких полягає в задоволенні соціальних потреб населення і мінімізації витрат суспільства. Процес пасажирських перевезень напряму залежить від цих особливостей. Соціальна складова – це задоволення потреб населення в перевезенні, а економічна – мінімум витрат суспільства при перевезенні пасажирів. Фахівці в галузі транспортних систем повсякчас ведуть розробки з оптимізації цих двох складових.

### Аналіз останніх публікацій

Автори [1] вирішують оптимізаційну задачу з економії часу пересування пасажиром в залежності від довжини перегону, яка є соціальною.

Інші дослідники [2] розглядали сукупність витрат суспільства, які пов'язані з наявністю зупиночного пункту МПТ. Таким чином була сформована модель загальних витрат, яка є по своїй суті соціально-економічною і її можливо оптимізувати за рахунок перерозподілу довжини перегонів.

### Мета та постановка задачі

Основною метою є дослідження впливу пасажиропотоку та вартості пішого руху на оптимальну довжину перегону.

Основною задачею є виявлення закономірностей впливу пасажиропотоку на оптимальну довжину перегону, що забезпечує мінімум су-

купних суспільних витрат пасажирів, що користуються маршрутом.

### Рішення задачі

Загальні витрати суспільства, пов'язані з роботою зупиночного пункту, складаються із таких складових [2]:

- суспільні витрати, пов'язані з підходом пасажирів до зупинки;
- суспільні витрати, пов'язані з відходом пасажирів від зупинки;
- суспільні витрати, пов'язані з очікуванням пасажирів, що сидять в салоні ТЗ;
- суспільні витрати, пов'язані з утриманням зупиночного пункту;
- суспільні витрати, пов'язані з очікуванням пасажирів ТЗ на зупинці;
- суспільні витрати, пов'язані тільки з рухом ТЗ;
- суспільні витрати, пов'язані з викидом шкідливих відпрацьованих газів.

Рішенням загальних витрат є цільова функція:

$$\sum_{i=1}^k Q_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $\sum_{i=1}^k Q_i$  – сума  $i$ -их витрат суспільства, пов'язаних з роботою зупиночного пункту МПТ, грн.

Оптимізувати сумарні витрати можливо за рахунок зменшення довжини перегону до оп-

тимального значення. Це залежить від складових, які входять до цільової функції, а саме:

- часу очікування ТЗ при посадці та висадці пасажирів;
- капітальних витрат на обладнання зупиночного пункту МПТ та витрат на його утримання;
- кількість викидів шкідливих речовин в атмосферу, що залежить від марки ТЗ;
- вартості пішого руху при підході (відході) до (від) зупиночного пункту;
- суми поправочних коефіцієнтів;
- швидкості руху пасажирів;
- величини пасажиропотоку.

Саме остання складова і є визначальною при мінімізації загальних витрат, пов'язаних з роботою зупиночного пункту МПТ, яка впливає на оптимальну довжину перегону.

Кількість та марка ТЗ напряму залежить від добового пасажиропотоку, а відповідно і витрати на будівництво і утримання зупиночного пункту, та на екокомпенсацію від викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Отже залишилися дві складові, які також впливають на величину довжини перегону, це:

- сукупні витрати при пішому русі;
- сукупні витрати пасажирів, які знаходяться в салоні ТЗ.

Сукупні витрати пасажирів, які знаходяться в салоні ТЗ, напряму залежать від часу, що потрібен на висадку (посадку) пасажирів. Ця величина при певних умовах є постійною.

Таким чином, ми можемо стверджувати, що оптимальна довжина перегону  $S(x)$  залежить від величини пасажиропотоку  $F(x)$  та вартості пішого руху  $C_n$ . Відповідно до цього зробимо розрахунки оптимальної довжини перегону при зміні пасажиропотоку і вартості пішого руху та зобразимо графічно (рис. 1, 2).

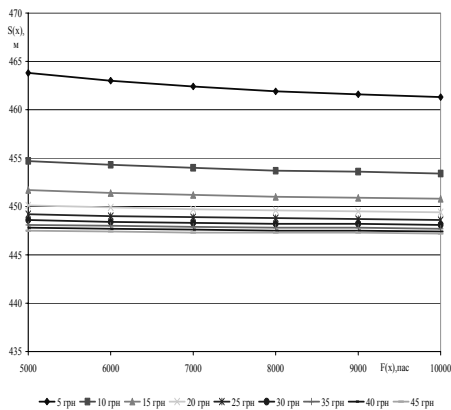


Рис. 1. Графік залежності оптимальної довжини перегону від величини пасажиропотоку

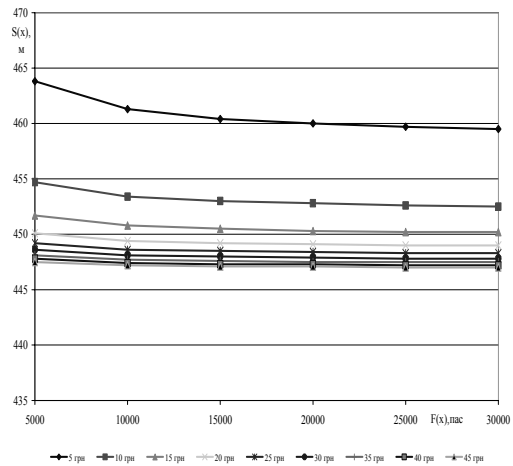


Рис. 2. Графік залежності оптимальної довжини перегону від величини пасажиропотоку

## Висновки

З наведеного чітко видно, що при збільшенні пасажиропотоку оптимальна довжина перегону зменшується. А також при збільшенні значення вартості пішого руху довжина зменшується. Але при значеннях вартості пішого руху 25 гривень і більше зміна довжини перегону майже непомітна. Отримана оптимальна довжина перегону знаходиться в межах 463...447 метрів, що дозволяє в майбутньому, при організації нових пасажирських маршрутів, розташовувати зупиночні пункти на ВДМ з мінімальними витратами суспільства.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок [Текст] / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. – М.: Высш. шк., 1980. – 535 с.
2. Єрмак, Е. М. Визначення довжини перегону на маршрутах МПТ [Текст] / Е. М. Єрмак, В. К. Доля // Зб. наук. пр. – Вип. 85. – Х.: Вид-во УкрДАЗТ, 2007. – С. 104-108.

Надійшла до редколегії 31.03.2008.

## СИСТЕМИ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ, АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ УПРАВЛІННІ ПАРКОМ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН

На даний час обчислювальні машини більше використовуються в режимі пакетної обробки або вирішення окремих задач, що викликаються з пульта оператора. Не дивлячись на те, що на сьогодні переваги систем реального часу і діалогових режимів їх функціонування стали очевидними, проблеми застосування цих прогресивних методів для управління парками будівельних машин поки приділяється мало уваги.

В настоящее время вычислительные машины более используются в режиме пакетной обработки или решения отдельных задач, которые вызываются из пульта оператора. Несмотря на то, что в настоящее время преимущества систем реального времени и диалоговых режимов их функционирования стали очевидными, проблеме применения этих прогрессивных методов для управления парками строительных машин пока уделяется мало внимания.

Presently computers are more utilized in the mode of batch processing or solution of separate jobs, which are loaded from the stand of operator. In spite of the fact that at present the advantages of the real-time systems and dialog modes of their functioning became obvious, too little attention is paid to the problem of application of these progressive methods for the management of parks of building machines.

### Актуальність

Широке впровадження цифрових обчислювальних машин (ЦОМ) у сферу управління багатьма спеціалістами [1 та ін.] прирівнюється до науково-технічної революції. Процес впровадження ЦОМ у сферу управління ще більш прискорився з появою дешевих мікропроцесорів і мікро-ЕОМ, що однак володіють значною обчислювальною потужністю [2 та ін.]. Прогрес, досягнутий в області розробки зовнішніх пристроїв, апаратури зв'язку і засобів сполучення людини з обчислювальною машиною, дозволяє в даний час реалізувати в системах організаційного типу прогресивний режим управління – в реальному часі [3]. У зв'язку з цим доцільно провести аналіз вирішуваних задач і оцінку можливостей застосування в реальному масштабі часу при управлінні парком будівельних машин.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз літературних джерел показує, що на даний час обчислювальні машини більше використовуються в режимі пакетної обробки або вирішення окремих задач, що викликаються з пульта оператора. Цей режим використання ЕОМ найбільше підходить для задач, в яких введення вихідних даних і видача рішення жорстко не прив'язані до часу. До такого типу задач можна віднести задачу формування парку будівельних машин. Оскільки на даний час бі-

льшість вітчизняних обчислювальних машин працюють в режимі пакетної обробки, ця задача найбільш розроблена і їй присвячена переважна кількість публікацій.

### Основний матеріал

Невідповідність між необхідним часом прийняття рішення і часом з використанням ЕОМ в пакетному режимі може бути усунене шляхом використання календарного планування [4]. У цьому випадку за допомогою ЕОМ складається розклад початку і закінчення кожної з робіт і графік їх виконання будівельними машинами, що є у наявності. Відрізок часу планування береться достатньо великим, щоб витрати часу на підготовку вихідних даних і рішення задачі в пакетному режимі не мали суттєвого значення. Природно, надалі від виконавців необхідно зажадати бездоганно дотримуватися цього графіка.

Критика вказаного підходу при оперативному управлінні завантаженням верстатів металообробного цеху дана в роботі відного американського фахівця із застосування обчислювальних машин в управлінні виробництвом – Мартіна Дж. [3]. Він вказує, що докладні графіки для всіх операцій, виконувани на обладнанні цеха, не можуть бути використані на практиці тому, що вони не мають необхідної гнучкості. Наприклад, можуть відбуватися непередбачені події, такі як: поломка верстата, надходження

нового термінового замовлення, яке повинне виконуватися поза чергою, майстер може поставити на верстат учня, який не може виконувати окремі операції згідно графіку. Будь-яка з цих подій, відзначає автор, викликає ланцюгову реакцію впливу на інші події, і незабаром такий графік стає нереальним і некорисним.

Залишається додати, що будівельне виробництво ще більшою мірою схильне до випадкових збурень [4], чим ізольоване від погодних і інших умов обладнання металообробного цеху. Так, на рис. 1 і 2 наведені графіки зміни швидкості руху автопоїздів, що перевозять комплекти залізобетонних виробів в умовах міста і магістрального шосе, узяті з роботи [5]. Як видно, зі зміною ситуацій на перехрестях, щільності руху і інших факторів швидкість змінюється в широких межах.

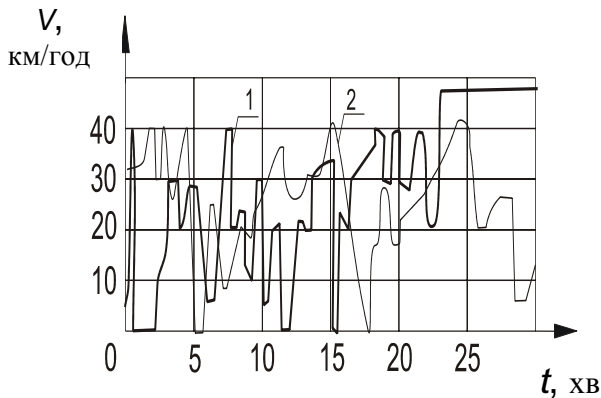


Рис. 1. Зміна швидкості руху автопоїзда в умовах міста:  
1 – з вантажем; 2 – без вантажу

Природно чекати, що, при перебазуванні будівельних машин з об'єкту на об'єкт під впливом тих же факторів, час перебазування коливатиметься в значних межах. Це неминуче ускладнює роботу по жорстких розкладах.

Недоліки режиму пакетної обробки, що розглядали, для оперативного управління в організаційних системах привели до використання іншого принципу використання ЕОМ – управління в реальному часі. Слід зазначити, що більшість автоматизованих і автоматичних систем управління технологічними процесами є системами реального часу [1]. У системах організаційного типу цей режим почав використовуватися порівняно недавно, коли були розроблені термінальні пристрої і апаратура зв'язку, що дозволяють вводити дані в ЕОМ з місця їх виникнення і виводити їх у формі, зручній для сприйняття людиною, безпосередньо на місці їх споживання [3].

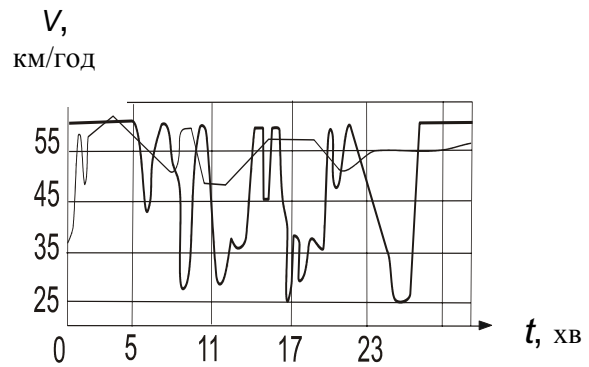


Рис. 2. Зміна швидкості руху автопоїзда на магістральному шосе:  
1 – з вантажем; 2 – без вантажу

У системі реального часу недоліки, властиві управлінню по заздалегідь складених розкладах (графіках), усуваються шляхом приймання рішення про дію, що управляє об'єктом, коли в цьому назріла необхідність і відомий реальний стан об'єкту управління. При цьому можна не складати заздалегідь графік переміщення машин з об'єкту на об'єкт, а ухвалювати рішення про чергове перебазування. Диспетчер вводить в ЕОМ повідомлення про закінчення роботи з вказівкою номера будівельної машини, що звільнилася, ЕОМ проглядає чергу робіт, які підлягають виконанню, що знаходиться в її пам'яті, і, керуючись заданим критерієм якості, вибирає одну з них для виконання. При цьому можуть бути враховані такі фактори, як розташування будівельної машини і вказаної роботи на обслуговуваній території, обсяг робіт, характеристики машини та інші. Якщо диспетчер згоден з вирішенням ЕОМ, він приймає його до виконання, а ЕОМ проводить коректування поточного стану парку машин у своїй пам'яті.

Одною з основних систем реального часу в порівнянні із звичайним використанням обчислювальних машин є можливість реалізації діалогового режиму управління.

Як людина, так і обчислювальна машина мають свої переваги і недоліки. Людина дуже добре вирішує завдання творчого характеру. Вона здатна знаходити вирішення в обстановці невизначеності, при обмеженій наявності вихідних даних або їх кількості. Проте людина повільно проводить обчислення, часто помиляється, стомлюється та ін.

Обчислювальна машина точна і надійна, вона не страждає від одноманітності і втоми, володіє прекрасною пам'яттю, проводить складні розрахунки, витрачаючи при цьому, приблизно, одну мільйонну того часу, який було б потрібно людині.

Коли людина і машина працюють разом, недоліки одного компенсуються перевагами іншого. Це дає можливість швидко і якісно вирішити поставлену задачу.

### Висновки

Не дивлячись на те, що в даний час переваги систем реального часу і діалогових режимів їх функціонування стали очевидними [1, 6 та ін.], судячи по літературних джерелах, проблемі застосування цих прогресивних методів для управління парками будівельних машин поки приділяється мало уваги.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Глушков, В. М. Введение в АСУ [Текст]. – 2-е изд. / В. М. Глушков. – К.: Техника, 1974. – 319 с.

2. Каган, Б. М. Микропроцессоры в цифровых системах [Текст] / Б. М. Каган, В. В. Сташин. – М.: Энергия, 1979. – 193 с.
3. Мартин, Дж. Программирование для вычислительных систем реального времени [Текст] / Дж. Мартин. – М.: Наука, 1975. – 359 с.
4. Рыбальский, В. И. Автоматизированные системы управления в строительстве [Текст] / В. И. Рыбальский. – К.: Вища шк., 1974. – 480 с.
5. Атаев, С. С. Специализированный технологический транспорт в строительстве [Текст] / С. С. Атаев, Б. Ф. Кулик. – Минск: Наука и техника, 1971. – 223 с.
6. Клыкков, Ю. И. Ситуационное управление большими системами [Текст] / Ю. И. Клыкков. – М.: Энергия, 1974. – 135 с.

Надійшла до редколегії 31.03.2008.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ В ОБ'ЄМАХ ОКРЕМИХ ЗЕРЕН ПОЛІКРИСТАЛІВ

Розглянуті питання оцінки мікротвердості при зміні навантаження на індентор при навантаженнях в одне і те ж місце зразка.

Рассмотрены вопросы оценки микротвердости при изменении загрузки на индентор при условиях нагружения в одно и то же место образца.

The questions of microhardness estimate in changing the loading on indenter, if the same place of a sample is loaded, are considered.

Відомо, що спроможність полікристалічних однофазних сплавів до деформаційного зміцнення значною мірою зв'язана не тільки зі станом металу на великокутових границях [1], а й із твердорозчинним зміцненням в межах окремого зерна [2]. Аналіз відомих експериментальних даних [3] з використанням розробленої методики побудови кривої навантаження для окремого зерна [4] свідчать, що відхилення від монотонного ходу кривої, що спостерігаються, можуть бути обумовлені неоднорідним розподілом хімічних елементів, які входять до складу сплаву, та іншими впливами.

Метою дослідження є спроба визначення зміни напруження в мікрооб'ємі низьковуглецевої сталі в залежності від ступеню навантаження.

Матеріалом для дослідження була низьковуглецева сталь з кількістю вуглецю 0,01 %. Для отримання полідрічного феритного зерна сталь піддавали гарячій формуючій операції, далі була витримка в печі до 0,5 год при температурі 900...910 °С, з остаточним охолодженням з піччю. Вимірювання мікротвердості здійснювали за допомогою приладу ПМТ-3, діапазон навантаження на індентор складав значення 1...5 грамів. З метою запобігання впливу наклепаного шару металу на значення мікротвердості, після операції шліфування та полірування, поверхню шліфа піддавали електролітичному розчиненню в хлорно-оцтовому електродолі [5].

Порівняно з відомими методиками оцінки спроможності металевих полікристалічних зразків до деформаційного зміцнення, коли використовують підхід, заснований на усередненні поведінки окремих зерен [1, 2], розробка методики з побудови кривої навантаження для одного зерна [4] – є крок у напрямку оцінки пове-

ділки при навантаженні металу в межах одного зерна. Дійсно, як показано в [3], будова кривої деформації для мікрооб'ємів, які обмежені великокутовими границями, дозволяє оцінити характер розвитку пластичної деформації і зв'язаного з нею деформаційного зміцнення. Однак, будова кривої навантаження в істинних координатах, порівняно з кривою в координатах  $P_i - d_i$ , не дала очікуваних результатів. Існування в межах зерна полікристала фрагментів, які відокремлені один від одного малокутовими границями, приводить до порушення монотонного ходу кривих наведених співвідношень. Криві будують за співвідношеннями:

$$\sigma_i - \varepsilon'_i, \text{ де } \sigma_i = \frac{P_i}{d_i^2}, \varepsilon'_i = \ln\left(\frac{d_i}{d_o}\right), \sigma_i, \varepsilon'_i - \text{істинні напруження і деформація відповідно, } P_i, d_i - \text{текучі значення навантаження на індентор приладу ПМТ-3, діагоналі відбитка, } d_o - \text{початкове значення діагоналі. Одним із рішень, яке спрямоване на усунення наведених недоліків із впливу малих розорієнтацій в межах визначеного зерна полікристала на експериментальні дані (для будови кривої навантаження), може бути розробка методики вимірювання мікротвердості в залежності від послідовного підвищення навантаження на індентор, при його зануренні в одне і те ж місце. Для інтервала значень 1...5 г, для одного вибраного зерна фериту, на рис. 1 наведено співвідношення між } P_i \text{ і } d_i \text{ при зануренні індентора в різні місця зерна і в одне і те ж місце, при досягненні сумарного однакового навантаження. Крива (1) показує співвідношення } P_i - d_i \text{ за методикою [4] (навантаження в різні місця зерна фериту). Крива (2) відповідає умовам: } P_i = 1 \text{ г, в дійсності складається з двох занурень індентора в}$$

тінні напруження і деформація відповідно,  $P_i, d_i$  – текучі значення навантаження на індентор приладу ПМТ-3, діагоналі відбитка,  $d_o$  – початкове значення діагоналі. Одним із рішень, яке спрямоване на усунення наведених недоліків із впливу малих розорієнтацій в межах визначеного зерна полікристала на експериментальні дані (для будови кривої навантаження), може бути розробка методики вимірювання мікротвердості в залежності від послідовного підвищення навантаження на індентор, при його зануренні в одне і те ж місце. Для інтервала значень 1...5 г, для одного вибраного зерна фериту, на рис. 1 наведено співвідношення між  $P_i$  і  $d_i$  при зануренні індентора в різні місця зерна і в одне і те ж місце, при досягненні сумарного однакового навантаження. Крива (1) показує співвідношення  $P_i - d_i$  за методикою [4] (навантаження в різні місця зерна фериту).

Крива (2) відповідає умовам:  $P_i = 1$  г, в дійсності складається з двох занурень індентора в

одне і теж місце по 0,5 г;  $P_i = 4$  г – занурення індентора чотири рази при навантаженні в 1 г в одне і те ж саме місце. На основі аналізу експериментальних даних, які наведені на рис. 1, можна спостерігати достатньо якісне співпадіння ходу кривих (1) і (2) при відносно малих рівнях навантаження (до 3 г). При більш великих кількостях навантаження (наприклад 5 разів по 1 г) розвиток процесів релаксації внутрішніх напружень, в період розвантаження та деформаційного зміцнення під час наступного навантаження, приводять до відхилень від монотонного ходу кривих (рис. 1).

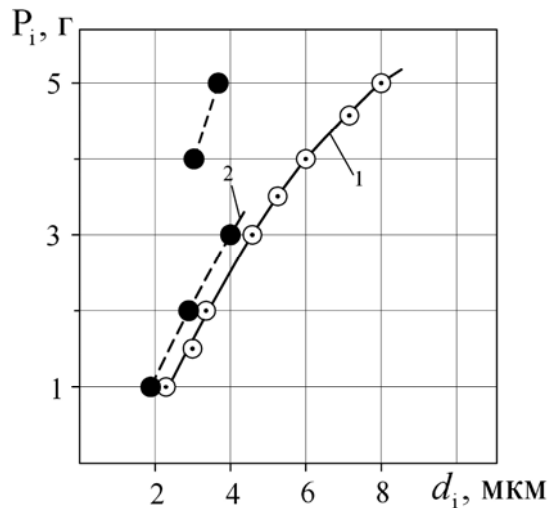


Рис. 1. Для окремого зерна фериту вигляд співвідношення між навантаженням на індентор ПМТ-3 ( $P_i$ ) і розміром діагоналей відбитка ( $d_i$ ) при вимірюванні в різних місцях зерна (1) і чисельних навантаженнях в одне і теж саме місце (2)

З метою поглибленого аналізу були проведені системні дослідження по визначенню співвідношення  $P_i - d_i$  за двома методиками будови кривої навантаження. Позначимо методику будови кривої навантаження при зануренні індентора в різні місця зерна (I), в одне і те ж місце (II). На рис. 2, а наведено зовнішній вигляд співвідношень  $P_i - d_i$ , які відповідають методикам I, II (криві (1) і (2) відповідно). Експериментальні дані, які відповідають кривій II, отримані при навантаженнях в одне і те ж місце за схемою, коли перше навантаження дорівнювало 1 г, а вантаж на інденторі послідовно збільшували. Так, при другому зануренні індентора навантаження складало значення вже 1,5 г, а записували  $\sum = 1 + 1,5 = 2,5$  і відповідне значення  $d_i$  в мкм (11,4 мкм). Для третього  $P_i = 2$  г, а в дійсності записували

$\sum = 1 + 1,5 + 2 = 4,5$  г, а  $d_i = 12,6$  мкм, та інш. Останнє значення було  $P_i = 5$  г, а в дійсності  $\sum = 1 + 1,5 + \dots + 5 = 27$  г,  $d_i = 23,7$  мкм.

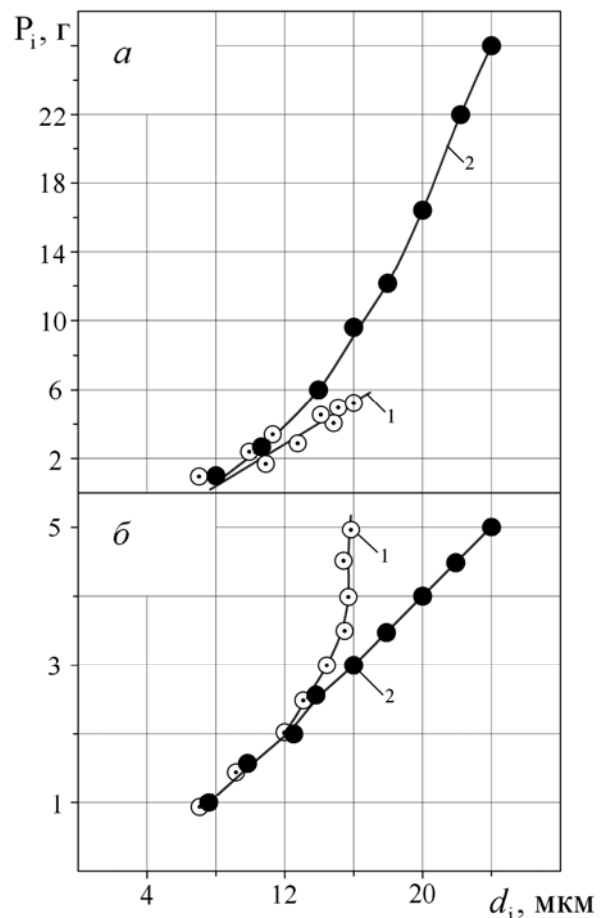


Рис. 2. Співвідношення між  $P_i$  і  $d_i$  за умовами навантаження на індентор для визначеного зерна фериту для різних місць (1) і в одне і теж саме місце (2). Абсолютна сума всіх навантажень (а), за відніманням попередніх навантажень (б)

Але, як було визначено раніше, неврахування впливу релаксаційних процесів при розвантаженні системи обов'язково буде впливати на зовнішній вигляд співвідношення (рис. 2). Дійсно, порівняльний аналіз побудованих кривих указує на існування розбіжностей (рис. 2 а). Причому, чим більше подрібнення навантаження, тим більше відхилення порівняно з методикою I. З метою врахування впливу розвитку релаксаційних процесів була зроблена спроба перерахування величини  $P_i$  шляхом віднімання попередніх значень, так щоб величина навантаження співпадала з аналогічною характеристикою ( $P_i$ ) для кривої за методикою I. В результаті розрахунків була побудована крива 2, наведена на рис. 2, б.

На основі отриманих результатів, були розраховані значення  $\sigma_i = P_i / d_i^2$  та  $\varepsilon'_i = \ln(d_i / d_o)$ , співвідношення яких, у вигляді кривої навантаження в істинних координатах наведено на рис. 3. Наведена крива (2) має достатньо якісно виражені області, яким відповідають відомі процеси зміни внутрішньої будови металу під час навантаження.

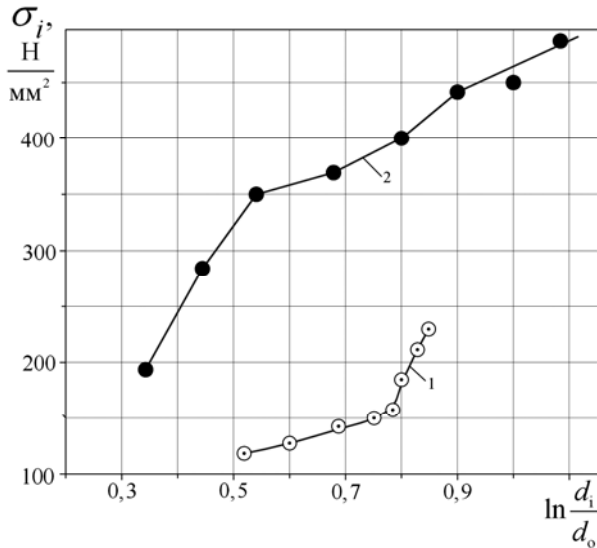


Рис. 3. Криві навантаження, які побудовані в істинних координатах. Позначення такі, як на рис. 1, 2

Таким чином, використання методики визначення співвідношення між послідовними навантаженнями в одне і те ж місце зерна полі-

крystalа може розглядатись як варіант можливої оцінки спроможності металу до деформаційного зміцнення. Крім цього, для вдосконалення методики оцінки необхідні подальші дослідження впливу релаксаційних процесів на отримані результати.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бабич, В. К. Деформационное старение стали [Текст] / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Metallurgy, 1972. – 320 с.
2. Вакуленко, И. А. О связи величины  $\sigma_0$  кривой деформации с параметрами уравнения Холла-Петча [Текст] / И. А. Вакуленко, В. А. Пирогов, В. К. Бабич // Metallфизика. – 1986. – т. 8, № 6. – С. 61-64.
3. Вакуленко, Л. И. Методика построения кривой деформации для отдельных зёрен поликристалла [Текст] / Л. И. Вакуленко, Н. Н. Грищенко // В кн.: Стародубовские чтения. – 2006. – С. 17-20.
4. Патент № 183169 [Текст] / М. М. Грищенко, Л. И. Вакуленко, А. Л. Пулария. – 2006, Бюл. № 11.
5. Попилов, Л. Я. Электрополирование и электро травление металлографических шлифов [Текст] / Л. Я. Попилов, Л. П. Зайцева. – М.: Metallургия, 1955. – 196 с.

Надійшла до редакції 09.12.2008.

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СТРУКТУРНОГО СТАНУ ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА

Аналіз зміни структури після різноманітних термомеханічних обробок вуглецевої сталі дозволяє визначити умови підвищення якості залізничних коліс.

На основе исследования изменения структуры углеродистой стали после различных термомеханических обработок определяются условия повышения качества железнодорожных колес.

On the basis of research of modification of carbon steel structure after different thermomechanical treatments the conditions of improving the quality of railway wheels are determined.

Сучасний інтенсивний розвиток промисловості супроводжується обґрунтованим зростанням вимог щодо експлуатаційної безпеки залізничного транспорту. Неухильна зорієнтованість на зростання частки перевозок, для яких характерно одночасне збільшення питомого навантаження на вісь колісної пари та середньої швидкості руху, вимагає розробки заходів, спрямованих на підвищення надійності експлуатації рухомого складу. На сьогоднішня це достатньо актуальна проблема, вирішення якої має велике значення. Однією зі складових наведеної проблеми є визначення оптимального співвідношення між комплексом властивостей залізничного колеса і рейок. Окрім чисельних експериментальних досліджень [1, 2], з яких відомо про необхідність досягнення приблизно однакових міцнісних характеристик і, в першу чергу, твердості, аналіз процесів структурних перетворень в металі коліс та рейок під час їх експлуатації дозволить обґрунтовано підійти до визначення оптимального структурного стану.

Метою досліджень був аналіз структурних перетворень в металі залізничного колеса від визначених впливів при експлуатації.

Матеріал для досліджень – фрагменти, які були відібрані від залізничних коліс, які в свою чергу передчасно, за рахунок різноманітних ушкоджень, були вилучені з експлуатації. Аналіз процесів структурних перетворень проводили під світловим і електронним мікроскопами. Оцінку розміру структурних елементів проводили використовуючи методики кількісної металографії [3].

У відповідності до нормативно-технічної документації, залізничні колеса і рейки виготовляють із вуглецевих сталей з різною концентрацією вуглецю. Так, для виготовлення коліс використовують сталі з кількістю вуглецю в межах

0,55...0,65 %, в той час як для рейок вміст складає більш високі значення. Окрім різниці за кількістю вуглецю, сталі після відповідних зміцнюючих термічних обробок мають різний структурний стан, який обумовлений конструктивними особливостями вказаних виробів.

Вуглецеві сталі з кількістю вуглецю 0,55...0,65 %, після гарячої пластичної деформації мають структуру, яка складається з перлітних колоній та областей структурно-вільного фериту. Кількість структурно незв'язаного фериту може досягати значень 20...25 %. При підвищенні швидкості охолодження, наприклад, як при терморозміцнюючих обробках залізничних коліс, одночасно з диспергуванням перлітних колоній спостерігається зменшення об'ємної частки структурно-вільного фериту, за рахунок формування псевдоевтектоїда [4]. Однак, навіть у випадку досягнення максимально високих швидкостей охолодження, усунути виділення прошарків незв'язаного фериту по великокутових границях аустенітних зерен неможливо (рис. 1).



Рис. 1. Структура сталі з 0,6 % С після гарячої пластичної деформації (збільшення 800)

Таким чином, оптимальною структурою, яку можна сформувати в процесі прискореного охолодження ободу залізничного колеса, є пластинковий сорбіт з переривчастою сіткою структурно-вільного фериту. Враховуючи достатньо складну форму залізничного колеса та різнорозмірність його елементів, зміцнюючі термічній обробці можуть піддавати як повністю залізничне колесо, так і окремі його елементи. Такий підхід обумовлений вирішенням проблеми підвищення надійності експлуатації залізничних коліс, в залежності від умов навантаження. Однією з можливих характеристик для цього можуть бути виникаючі напруження, які виникають в елементах колеса від зовнішніх впливів. Урахування конструктивних особливостей диска колеса, вигляду епюри напружень дали можливість розробити процес термічної зміцнюючої обробки, який дозволяє через формування структурного стану в диску колеса впливати на рівень внутрішніх напружень в ободі. Так, при використанні примусового прискореного охолодження диска, особливо в місцях переходу до обода та маточини за рахунок формування бейнітних структур на визначеній глибині від поверхні охолодження та подальшого самовідпуску (адекватного окремому розігріву до температур 600...650 °C) досягаються глобулярні структури карбідної фази.

В порівнянні з пластинковою формою цементиту, який, входячи до складу перлітної колонії, спроможний витримувати великі пластичні деформації [4], глобулярні карбіди навпаки, навіть після ступенів деформації, за яких метал руйнується, залишаються практично незмінними. В цьому випадку розвиток процесів дисперсійного твердіння значною мірою визначає поведінку металу при навантаженні. Так, у випадку, коли глобулі цементиту розташовуються по великокутових границях зерен фериту (рис. 2), експериментально спостерігається підвищення опору металу зародженню та зростанню тріщин, особливо для відносно низьких температур [5]. Наведене положення обумовлене співвідношенням між кількістю місць зародження та анігіляції дислокацій при пластичному деформуванні металу. У разі розташування цементитних глобулів на великокутових границях фериту міжфазна поверхня ферит-цементит виконує функції як джерела, так і місць анігіляції дислокацій після виконання ними акту деформації [4, 5]. На підставі цього стає зрозумілим, що збільшення об'ємної частки цементиту, навіть без урахування дисперсності, сприяє підвищенню опору зародженню

тріщин за рахунок низького рівня деформаційного зміцнення [5].

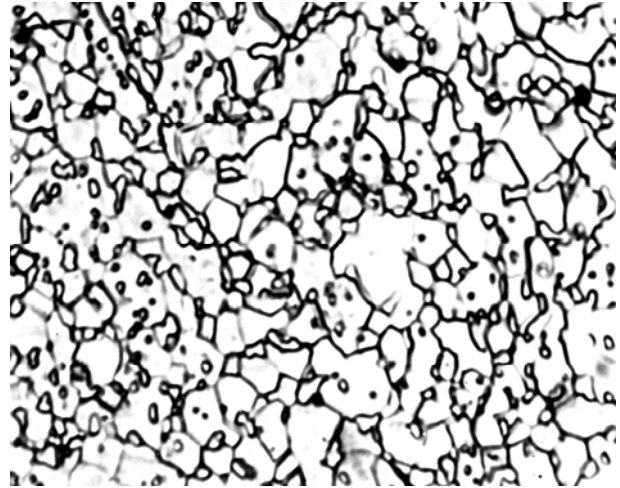


Рис. 2. Структура сталі з 0,6 % C після гартування від нормальних температур нагріву, відпуску 650 °C, деформації 50-60 %, відпалу при 650 °C (збільшення 2000)

У випадку, коли розмір зерна фериту значно перебільшує міжкарбідну відстань (рис. 3), картина значною мірою змінюється.

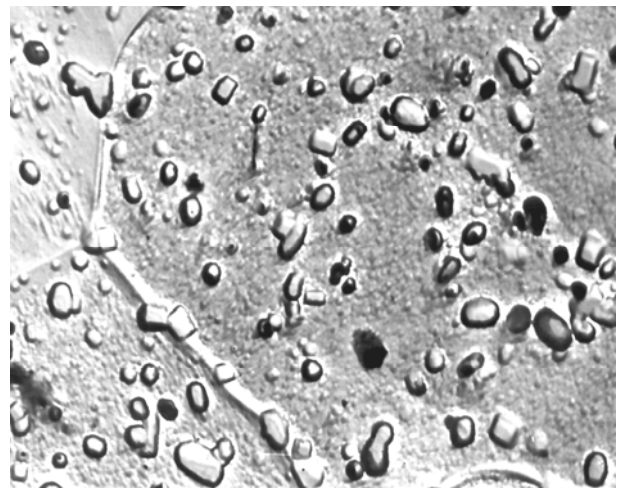


Рис. 3. Структура сталі з 0,6 % C після гартування, відпуску 650 °C, деформації 15 %, відпалу при 650 °C (збільшення 4000)

Наведене положення обумовлене різною можливістю поглинання дислокацій після елементарного акту пластичної деформації металу. Порівняно з великокутовими границями фериту, міжфазова ферит-цементит може бути місцем анігіляції дислокацій лише у випадку, коли глобулі цементиту розташовується в кристалграфічній площині ковзання дислокацій. Тоді при підвищенні об'ємної частки карбідної фази, при незмінному розмірі зерна фериту досягається лише збільшення джерел зародження дислокацій, без зміни кількості місць анігіляції.

В цьому випадку накопичення дислокацій вже на початкових етапах пластичної деформації (в об'ємах металу попереду гирла тріщини) приведе до формування навколо глобулів цементиту визначеної щільності взаємозаблокованих дислокацій. На підставі цього спостерігається різке підвищення параметрів деформаційного зміцнення вуглецевої сталі [6]. Враховуючи, що для середньо- та високовуглецевих сталей збільшення деформаційного зміцнення супроводжується зниженням пластичних властивостей, можна вважати, що в цьому випадку об'єми металу поблизу міжфазних поверхонь розподілу будуть найбільш вірогідними місцями зародження субмікротріщин.

Таким чином, при використанні вуглецевих сталей, з кількістю вуглецю, коли не має можливості усунення структурновільного фериту, оптимальним структурним станом необхідно вважати пластинкові структури. Перлітні колонії разом зі структурно вільним феритом беруть участь у пластичному деформуванні металу, що обумовлює можливість розвитку анігіляційних процесів, які сприяють гальмуванню процесів зародження та зростання мікротріщин в металі залізничних коліс під час експлуатації.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Марков, Д. П. Оптимизация колесно-рельсовой трибосистемы [Текст] / Д. П. Марков // Вестник ВНИИЖТ. – 2004. – № 6. – С. 32-38.
2. Захаров, С. М. Контактно-усталостные повреждения колес и рельсов и способы их устранения [Текст] / С. М. Захаров, Е. А. Шур. – В кн.: Современные проблемы взаимодействия подвижного состава и пути. – М., 2003. – С. 47-50.
3. Бабич, В. К. Деформационное старение стали [Текст] / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
4. Панченко, Е. В. Лаборатория металлографии [Текст] / Е. В. Панченко, Ю. А. Скаков, Б. И. Кример. – М.: Металлургия, 1965. – 439 с.
5. Вакуленко, И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании [Текст] / И. А. Вакуленко. – Д.: Gaudeamus, 2003. – 94 с.
6. Вакуленко, И. А. О факторах, вызывающих пластически нестабильное течение углеродистой стали [Текст] / И. А. Вакуленко // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1994. – № 9. – С. 27-29.

Надійшла до редакції 09.12.2008.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ СЕРДЕЧНИКІВ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ У ДВОШАРОВІЙ ЛИВАРНІЙ ФОРМІ

В статті наведена математична модель температурного поля системи «відливка – двошарова ливарна форма», спроможна оцінити характер розповсюдження фронту кристалізації по перетину відливки і визначити параметри ливарної форми, які забезпечать найбільш сприятливі теплові умови формування структури сердечників.

В статье приведена математическая модель температурного поля системы «отливка – двухслойная литейная форма», позволяющая оценить характер распространения фронта кристаллизации по сечению отливки и определить параметры литейной формы, которые обеспечат наиболее благоприятные тепловые условия формирования структуры сердечников.

The mathematical model of the temperature field of the «Casting» system is presented in the article. «Casting» as a two-layer foundry form is supposed to estimate the character of propagation of crystallization front along the casting section and to define the parameters of the casting form, which will provide the most favorable thermal conditions of the core structure formation.

Надійність і довговічність стрілочних переводів, які відповідають за безпеку руху в місцях переходу рухомого складу з однієї колії на іншу, залежить від зносостійкості та строку служби сердечників і хрестовин – найбільш зношуваних елементів цієї відповідальної конструкції.

Суцільність рейкових ниток у межах хрестовини порушена і колеса рухомого складу, переходячи з вістря сердечника на вусову частину (або в протилежному напрямку), утворюють значні ударні та стираючі навантаження, які призводять до інтенсивного зношування сердечників. Тому питання підвищення експлуатаційної стійкості сердечників є актуальною задачею.

Сердечники і хрестовини відливають з високолегованої сталі 110Г13Л в сухих пісчано-глиняних формах.

Відомо [1], що структура і властивості литого металу значною мірою залежать від умов кристалізації та охолодження відливок у ливарній формі.

Одним з найбільш ефективних методів, який дозволяє керувати процесом кристалізації та охолодження відливок в широкому діапазоні, а отже, цілеспрямовано формувати необхідну структуру і властивості сталі в робочому шарі відливок, є використання двошарових ливарних форм зі змінною товщиною облицювального шару. Технологія відливання сердечників в двошаровій ливарній формі розроблена в ДІПТі [2].

Для визначення оптимальних параметрів двошарової ливарної форми, які забезпечать найбільш сприятливі умови кристалізації таких складних в тепловому відношенні відливок зі змінним поперечним перетином, як сердечники, необхідно провести складні експериментальні дослідження. Але отримання необхідних даних на основі тільки експериментальних досліджень, особливо в заводських умовах, зв'язано з великими організаційними, технологічними й матеріальними труднощами, часто нездоланими, що ініціює пошуки нових шляхів отримання необхідної інформації.

Найбільш ефективним і прийнятним рішенням даної проблеми може бути математичне моделювання процесу кристалізації сердечників у двошаровій ливарній формі.

### **Фізико-математична модель температурного поля системи «відливка – двошарова форма»**

Модель призначена для дослідження процесу кристалізації сердечників у двошаровій ливарній формі в залежності від змінних умов тепловідведення на різних ділянках форми з урахуванням співвідношення між товщиною металевої оболонки і облицювального шару формовочної суміші, а також теплообміну з навколишнім середовищем. Процес теплообміну в межах ливарної форми напряму залежить від умов теплопередачі теплопровідністю, а тепло-

передача з зовнішньої поверхні відбувається природною конвекцією.

Враховуючи, що термічний опір облицювального покриття значно більше термічного опору газового прошарку на границі шарів форми, зневажаємо термічним опором останнього, тобто вважаємо систему «відливка – форма» за суцільне середовище зі змінними по координатах теплофізичними властивостями, залежними від температури. Вирішується плоска задача, тому що в третьому напрямку систему можна вважати нескінченно-довгою, що виправдано великою довжиною сердечників.

Математично процес тверднення відливки описується в наближенні квазірівноважної двофазної зони [3]. Розподіл температури в плоскому перетині системи «форма – відливка» описується квазілінійним диференціальним рівнянням теплопровідності зі змінними коефіцієнтами:

$$\frac{\partial}{\partial X_1} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial X_1} \right) + \frac{\partial}{\partial X_2} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial X_2} \right) = c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad (1)$$

де  $c$  – теплоємність,  $c = c(X_1, X_2, T)$ ;  $\rho$  – щільність,  $\rho = \rho(X_1, X_2)$ ;  $X_1, X_2$  – поточні координати,  $0 \leq X_1 \leq l_1$ ,  $0 \leq X_2 \leq l_2$ ;  $l_1, l_2$  – розміри моделі;  $T$  – температура,  $T = T(X_1, X_2, \tau)$ ;  $\tau$  – час;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності,  $\lambda = \lambda(X_1, X_2, T)$ .

Початкові умови:

$$T(X_1, X_2, 0) = T_0(X_1, X_2), \quad (2)$$

де  $T_0 = 1690$  К – початкова температура металу, який заливається у форму.

Умови на границях:

$$X_1 = 0, X_1 = l_1, \lambda \frac{\partial T}{\partial X_1} = \alpha(T - T_{\text{сер}}) \quad (3)$$

$$X_2 = 0, X_2 = l_2, \lambda \frac{\partial T}{\partial X_2} = \alpha(T - T_{\text{сер}}) \quad (4)$$

де  $T_{\text{сер}} = 293$  К – температура навколишнього середовища.

Теплоємність описується декількома рівняннями:

а) для стінки кокілю:

$$c(X_1, X_2, T) = c_k(T); \quad (5)$$

б) для облицювального шару:

$$c(X_1, X_2, T) = c_{\text{обл}}(T); \quad (6)$$

в) для виливка розглядається ефективна теплоємність з врахуванням виділення теплоти кристалізації та наявності твердо-рідкої фази:

$$c = \begin{cases} c_T, & \text{якщо } T \leq T_S, \\ c_{\text{эф}} = \frac{c_T + c_P}{2} + \chi \frac{dS}{dT}, & \text{якщо } T_S < T < T_L, \\ c_P, & \text{якщо } T \geq T_L, \end{cases}, \quad (7)$$

де  $c_P, c_T$  – теплоємності рідкої і твердої фаз;  $\chi$  – теплота кристалізації;  $\frac{dS}{dT}$  – частка твердої фази, обумовлена рівнянням:

$$\frac{dS}{dT} = \frac{1}{(1 - K_p)(T_A - T_0)} \left( \frac{T_A - T_0}{T_A - T} \right)^{\frac{2 - K_p}{1 - K_p}}, \quad (8)$$

де  $T_A$  – параметр рівняння лінії ліквідус;  $T_A = 1812$  К;  $T_0$  – температура ліквідус, що відповідає заданому вмісту вуглецю в розплаві;  $T_0 = 1690$  К;  $K_p$  – коефіцієнт розподілу,  $K_p = 0,45$  для сталі.

Коефіцієнт теплопровідності можна прийняти:

а) для стінки кокілю:

$$\lambda(X_1, X_2, T) = \lambda_k(T); \quad (9)$$

б) для облицювального шару:

$$\lambda(X_1, X_2, T) = \lambda_{\text{обл}}(T); \quad (10)$$

в) для виливка береться усереднений для рідкої та твердої фаз:

$$\lambda(X_1, X_2, T) = \lambda_{\text{отл}}(T). \quad (11)$$

Для наближених розрахунків наведені вище оцінки співвідношення теплоємності та коефіцієнта теплопровідності можна апроксимувати кусково-лінійними залежностями на інтервалах температур. Тоді вихідне рівняння (1) перетворюється в рівняння з кусково-розривними коефіцієнтами, що не залежать від температури, а є функціями координат. Рішення цього рівняння дозволить визначити температуру в кожній точці перетину в будь-який момент часу. Границі затверділої зони відповідають температурі солідус чи температурі, за якої твердне 95 % сплаву.

### Кусково-різницева апроксимація задачі

На прямокутник розрахункової схеми, представленої на рис. 1, накладається сітка з осере-

дками  $h_1 = \frac{l_1}{N_1}$  і  $h_2 = \frac{l_2}{N_2}$ , що складає  $(N_1 - 1)(N_2 - 1)$  внутрішніх вузлів і  $[2(N_1 + N_2 - 2) + 4]$  вузлів на границях області. Де  $N_1, N_2$  – число розподілів по координатах  $X_1$  та  $X_2$ , відповідно. Відрізок часу  $t_{\max}$  відповідає періоду від заливання металу в форму до повного тверднення, теж розбивається на  $n$  рівних частин із кроком  $\tau = \frac{t_{\max}}{n_{\max}}$ .

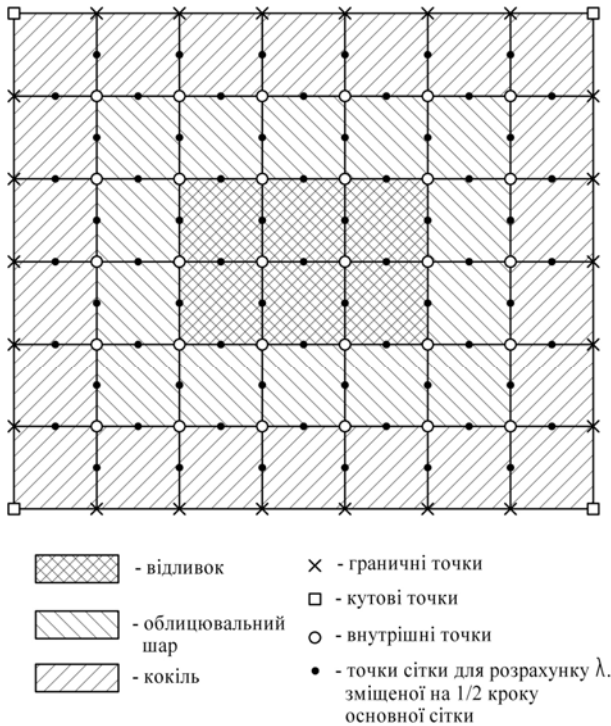


Рис. 1. Схема розташування сітки в перетині відливка

Використовуючи інтегро-інтерполяційний метод теплового балансу для всіх точок, неявну схему апроксимації похідної за часом і формули «наскрізного рахунку» [4], що не змінюються при переході від одного вузла сітки до іншого, одержують кінцево-різницеві апроксимації похідних по координатах.

Універсальним методом, придатним для рішення рівняння теплопровідності з перемінними чи навіть розривними коефіцієнтами в довільній області  $G$ , будь-якого числа вимірювань, є локально-одномірний метод. Сутність його складається в заміні, наприклад, двомірного рівняння теплопровідності послідовністю двох одномірних рівнянь.

Локально-одномірна схема (ЛОС) для рів-

няння (1) будується з послідовності двох різницевих схем. При цьому при переході від часового шару  $n$  до шару  $n+1$  вводиться проміжний шар  $n + \frac{1}{2}$ . На шарі  $n$  рішення шукається в одному напрямку сітки. Це рішення є проміжним і служить початковим рішенням для рішення на другому напрямку сітки, яке буде остаточним для  $n+1$  кроку за часом.

Для визначення  $T^{n+\frac{1}{2}}$ , а потім  $T^{n+1}$  використовується метод прогону, причому значення температури  $T$ , що входить аргументом у функції « $c$ » та « $\lambda$ », беруться із шару  $n + \frac{1}{2}$ . Оскільки ці значення невідомі, то їх шукають послідовними наближеннями по  $K$ -номеру ітерації. Число їх звичайно дорівнює 4...7.

В рамках даної статті немає необхідності наводити усі перетворення вихідного рівняння в остаточні рівняння ЛОС, розв'язувані методом прогону на ПЕОМ за програмою.

### Результати розрахунків експериментальних досліджень

Використовуючи розроблену фізико-математичну модель тверднення сердечника, розраховується розподіл температур по перетину системи «відливка – двошарова форма» за різних умов тепловідведення. За цими даними можна оцінити характер і швидкість просування фронту кристалізації в будь-якому перетині вилівка і, як наслідок, визначити найбільш сприятливі умови кристалізації, які забезпечать щільну, дрібнозернисту структуру металу з високим рівнем механічних властивостей в робочому шарі поверхонь кочення сердечників.

Результати обчислень за запропонованою методикою підтверджуються експериментальними даними і добре прослідковуються по кривих охолодження металу в різних точках по перетину системи «відливка – двошарова форма» (рис. 2). Експерименти проводились на натурних зразках із товщиною облицовального шару на ділянках форми, які відповідають поверхням кочення сердечників, від 0 до 5 мм і товщиною 35 мм на інших ділянках форми (рис. 3). Встановлено, що зі зміною товщини покриття темп охолодження  $\left(\frac{\Delta T}{\Delta \tau}\right)$  змінюється і там, де шар облицювання менше, швидкість поширення фронту кристалізації зростає.

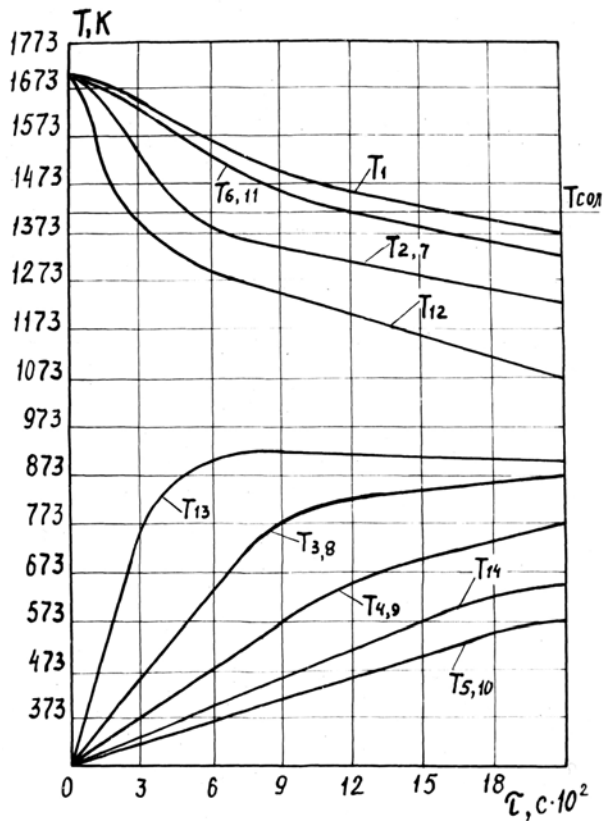


Рис. 2. Криві охолодження в контрольних точках (див. рис. 3) по перетину системи «відливок – двошарова форма»

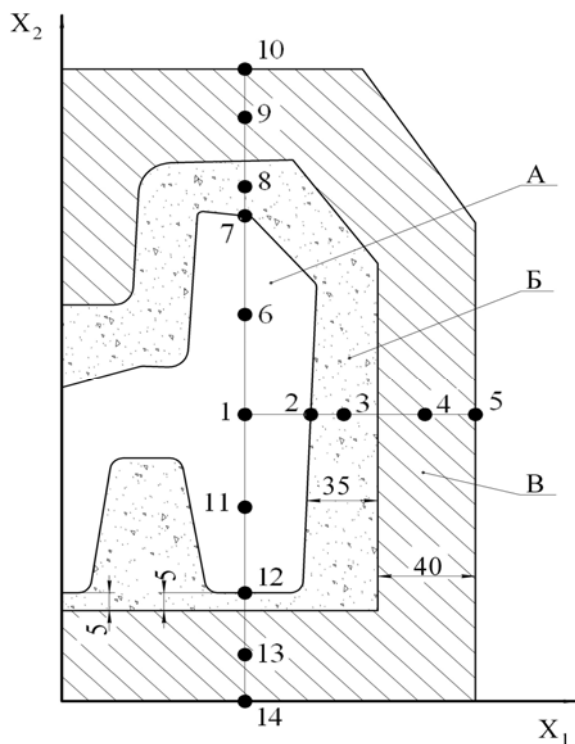
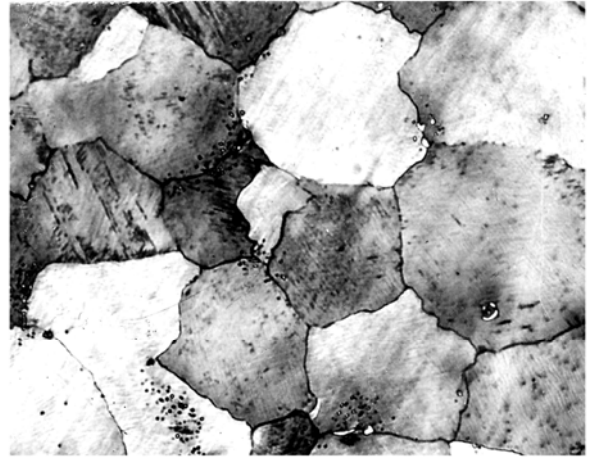


Рис. 3. Схема системи «двошарова форма – відливок»: А – відливок; Б – формовочна суміш; В – металева оболонка

У випадку, коли товщина покриття відсутня, тобто залишається тільки металева оболонка, швидкість процесу кристалізації найвища. Це супроводжується утворенням щільної дрібнозернистої структури. На рис. 4 показана залежність розміру зерен від товщини облицювального шару.



а



б

Рис. 4. Мікроструктура сталі 110Г13Л в поверхневому шарі сердечників, відлитої у двошаровій формі (збільшення 120):

а – товщина облицювального шару 5 мм;  
б – товщина облицювального шару 35 мм

Але відсутність шару формовочної суміші неприпустима, тому що контакт з розплавом призводить до поступового руйнування металевої оболонки. Потрібен незначний шар формовочної суміші, до 5 мм. На рис. 5 видно характер розповсюдження фронту кристалізації по перетину сердечника, який охолоджується в двошаровій формі з товщиною формовочної суміші 5 мм на вістрі і вусовинах, і 35 мм на інших ділянках форми.

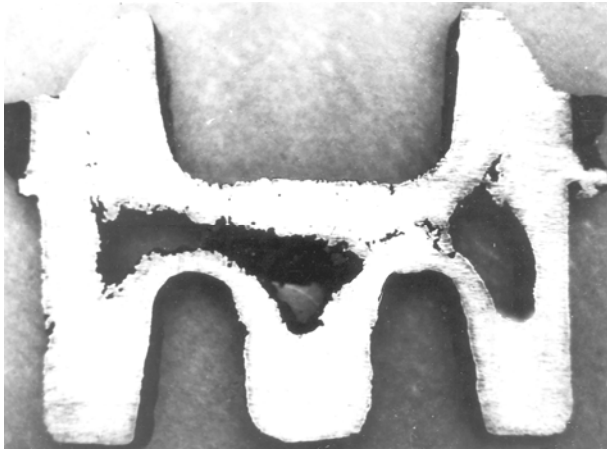


Рис. 5. Характер просування фронту кристалізації по перетину сердечника, який охолоджується в двошаровій формі з товщиною формовочної суміші 5 мм на вусовиках і вістрі та 35 мм – на інших ділянках форми

### ВИСНОВКИ

1. Розроблено фізико-математичну модель тверднення сердечників зі сталі 110Г13Л у двошаровій ливарній формі. Модель дозволяє встановити характер і швидкість просування фронту кристалізації в будь-якому перетині відливка і визначити оптимальні параметри двошарової форми, які забезпечать найбільш сприятливі умови кристалізації.

2. Встановлено, що товщина формовочної суміші на ділянках форми, які відповідають вістрі і вусовикам сердечника, повинна бути

мінімальною до 5 мм. Це дозволяє отримати щільну мілкозернисту структуру в робочому шарі поверхонь кочення сердечників. На інших ділянках шар формовочної суміші товщиною 30...35 мм забезпечить необхідну податливість форми.

3. Збіг результатів розрахунків з експериментальними даними дає можливість отримання сердечників стрілочних переводів із прогнозованими експлуатаційними характеристиками.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Михайлов, А. М. Влияние режимов охлаждения отливок в форме на структуру и механические свойства стали 110Г13Л [Текст] / А. М. Михайлов. – М.: Литейное производство, 1980. – С. 5-7.
2. Литейная форма для отливки сердечника железнодорожной крестовины [Текст] : а. с. № 1470441 (СССР) : МКИ В22С / Б. Н. Смирнов. – 1989. – № 3. – С. 4.
3. Михеев, М. А. Основы теплопередачи [Текст] / М. А. Михеев, И. М. Михеев. – М.: Энергия, 1986. – 173 с.
4. Самарский, А. А. Теория разностных схем [Текст] / А. А. Самарский. – М.: Наука, 1977. – 140 с.

Надійшла до редколегії 24.12.2008.

## АНАЛІЗ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ НА ПАСАЖИРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ У ДАЛЬНЬОМУ СПОЛУЧЕННІ

В даній роботі проведено аналіз методики визначення витрат від перевезення пасажирів у дальньому сполученні. Досліджено умови досягнення беззбитковості пасажирських тарифів.

В настоящей работе проведен анализ методик определения затрат от перевозки пассажиров в дальнем сообщении. Исследованы условия достижения безубыточности пассажирских тарифов.

In the present work the analysis of procedures of determination of expenditures for passenger transportations in distant communication is conducted. The conditions of reaching the passenger tariffs to work without loss are studied.

### Вступ

В Україні, як і в багатьох країнах Європи, пасажирські перевезення у дальньому сполученні є збитковими. Кожна країна по-різному вирішує проблему зниження їх збитковості. Укрзалізниця покриває збитки за рахунок вантажних перевезень. В останні роки вантажні перевезення стали менш прибутковими і практично не можуть погасити збитки від пасажирських перевезень шляхом субсидування.

### Постановка задачі

На порядок денний стало питання дослі-

дження витрат на пасажирські перевезення, поділення витрат на постійні та змінні, встановлення закономірності поведінки кожної з них і визначення за допомогою концепції маржинального доходу наукових принципів побудови тарифів на ці перевезення.

### Результати

Подальші дослідження даної проблеми виконувалися на основі аналізу існуючої калькуляції собівартості пасажирських перевезень за видами сполучень [2]. Кожна зі статей витрат була віднесена до умовно-змінних (рис. 1) або умовно-постійних витрат (рис. 2).

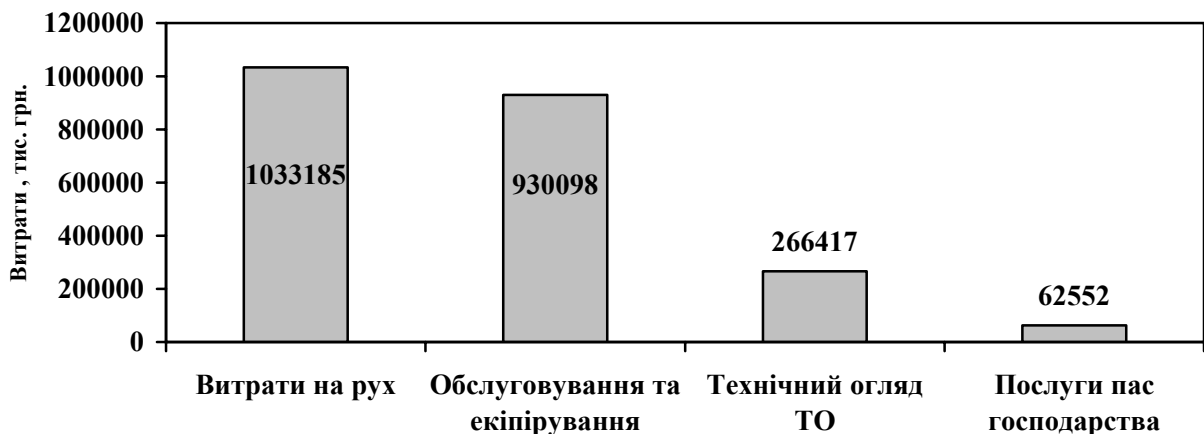


Рис. 1. Умовно-змінні витрати на перевезення пасажирів у дальньому сполученні

До умовно-змінних витрат віднесені витрати, що пов'язані з:

- рухом пасажирських поїздів;
- обслуговуванням поїздів під час руху та на станціях;
- екіпіруванням пасажирських вагонів на технічній станції;

- екіпіруванням пасажирських локомотивів;
- технічним оглядом вагонів та локомотивів;
- послугами з продажу квитків;
- послугами з прийому та видачі багажу.

До умовно-постійних витрат (рис. 2) віднесені витрати, що пов'язані з:

- утриманням та обслуговуванням інфраструктури залізниць усіма господарствами;
- утриманням та обслуговуванням іншої інфраструктури (будівель та споруд, які не пов'язані з колією, штучними спорудами, контактною мережею, повздовжніми ЛЕП, кабельними лініями, лініями зв'язку;
- амортизацією рухомого складу;
- поточними видами ремонту локомотивів;
- деповським ремонтами вагонів та капітальними видами ремонту рухомого складу;
- послугами інших господарств.

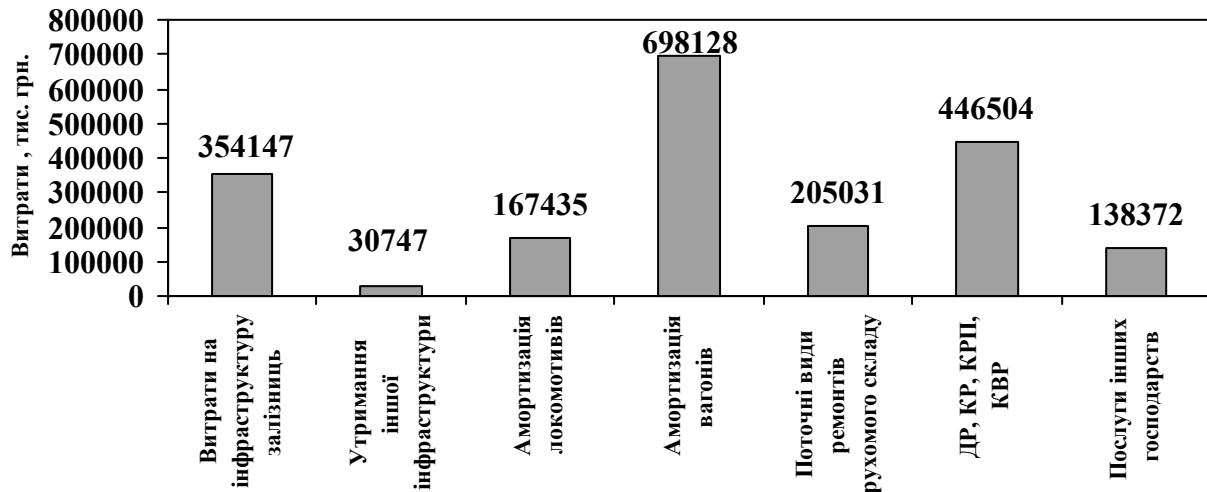


Рис. 2. Умовно-постійні витрати на перевезення пасажирів у дальньому сполученні

Для подальших досліджень необхідно провести аналіз «затрати – обсяг діяльності – прибуток», для чого побудуємо графік беззбитковості пасажирських перевезень в дальньому сполученні за правилами графічного визначення маржинального доходу (рис. 3).

Передбачається, що аналіз здійснюється в межах релевантного діапазону, в якому загальна сума умовно-постійних витрат залишається незмінною, а функції умовно-змінних витрат, реального доходу та маржинального доходу є лінійними залежно від обсягу перевезень. При суттєвому збільшенні кількості рухомого складу для перевезення пасажирів треба виконувати аналіз витрат у новому релевантному діапазоні з іншими показниками змінних та постійних витрат.

На горизонтальній осі наносимо значення пасажирських перевезень в пас.-км для певного розрахункового року. З даної точки будуємо вгору відрізок паралельно вертикальній осі, значення якого дорівнює постійним витратам – 2 040 364 тис. грн. Потім угору додаємо відрізок, значення якого дорівнює змінним витратам – 2 292 252 тис. грн. Побудований таким чином загальний відрізок дорівнює витратам від перевезення пасажирів у розрахунковому році – 4 332 616 тис. грн. Через дану точку та точку перетину лінії постійних витрат з верти-

кальною віссю проводимо лінію загальних витрат (жирний пунктир). Якщо провести з точки нуль на початку координат пряму до точки, що дорівнює значенню витрат на перевезення пасажирів у розрахунковому році, то отримаємо лінію умовних доходів від перевезень (показано жирним). Точка перетину даної лінії з лінією загальних витрат на перевезення є точка беззбитковості, тобто точка, в якій величина доходів від перевезень дорівнює значенню величині загальних витрат (позначена кільцем).

На рис. 3 жирним показана умовна лінія доходу від перевезень, яка не є реальною, а лише ілюструє знаходження точки беззбитковості. Таку точку знайти на графіку, за умови нанесення на нього реального доходу від пасажирських перевезень в дальньому сполученні, не вдається, оскільки реальна лінія доходу (показана штрих-пунктиром) не перетинається з лінією витрат у межах рисунка.

На рис. 4 зроблені інші побудови лінії загальних витрат. Спочатку з точки нуль нарисована лінія змінних витрат, а потім зверху до неї на дистанції 2 040 364 тис. грн нарисована паралельно лінії загальних витрат. При такій побудові лінії загальних витрат на перевезення пасажирів нічого не змінилося. Також, як і на графіку (рис. 3), проведено через точку беззбитковості лінію умовного та нижче лінію реаль-

ного доходу від перевезень. Додатково показані кути між горизонтальною віссю та лініями реа-

льного доходу, умовного доходу та витрат відповідно  $\alpha_1, \alpha_1^1, \alpha_2$ .

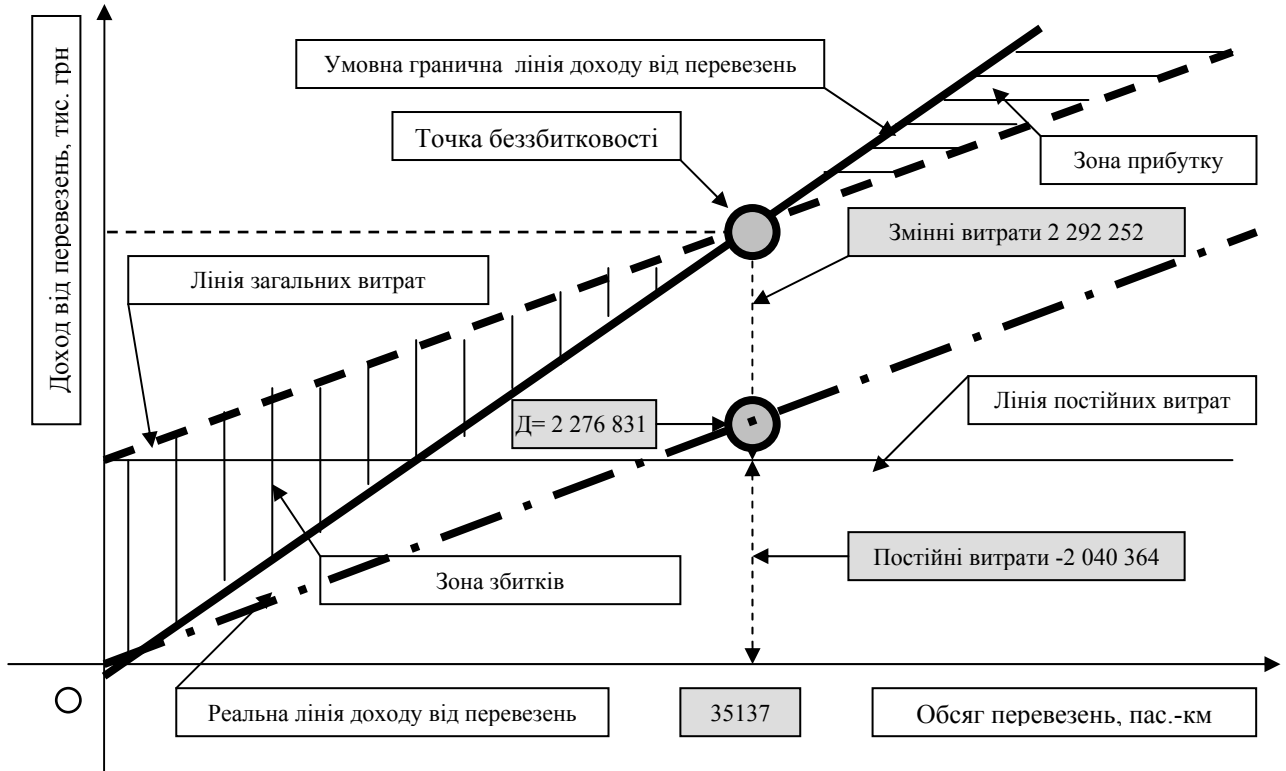


Рис. 3. Графік беззбитковості пасажирських перевезень за умови, коли доходи дорівнюють витратам

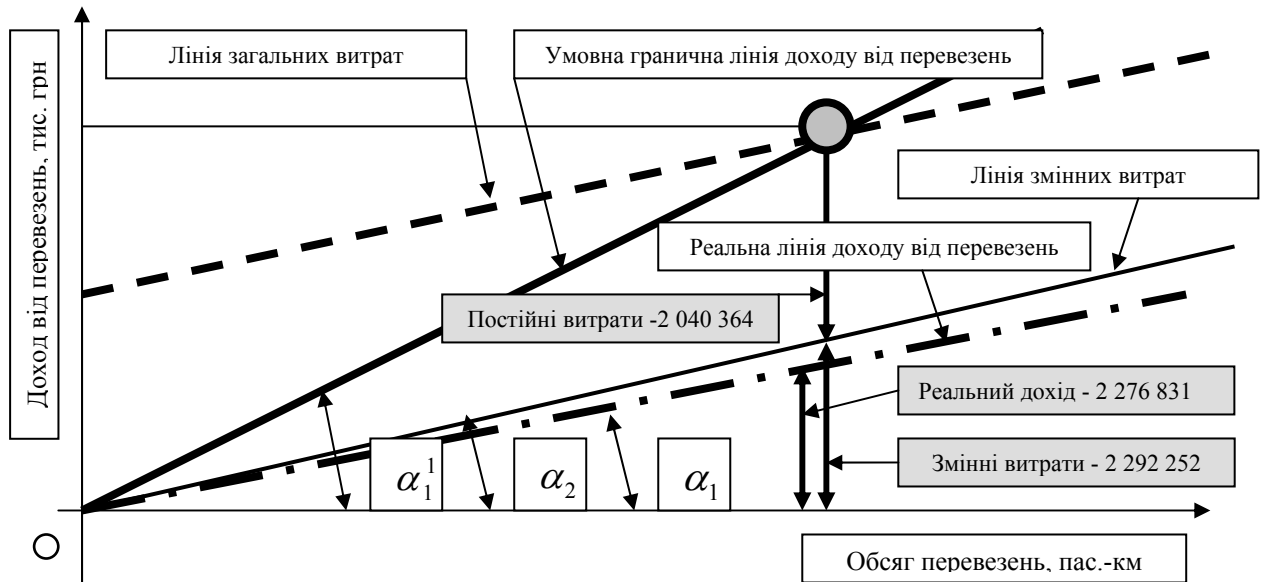


Рис. 4. Графік беззбитковості пасажирських перевезень з використанням маржинального доходу

З рисунка випливає, що  $\text{tg } \alpha_1 = D_p / nk$ ;  
 $\text{tg } \alpha_1^1 = D_y / nk$ ;  $\text{tg } \alpha_2 = 3B / nk$ , звідси

$$\frac{D_y}{\text{tg } \alpha_1^1} = \frac{3B + ПВ}{\text{tg } \alpha_1^1} = \frac{D_p}{\text{tg } \alpha_1} = \frac{3B}{\text{tg } \alpha_2},$$

де  $D_y$  – умовний дохід від перевезень пасажирів у дальньому сполученні, коли дохід дорівнює витратам;

$D_p$  – реальний дохід від перевезення пасажирів у дальньому сполученні в розрахунковому році;

$ZB$  – змінні витрати від перевезення пасажирів у дальньому сполученні в розрахунковому році;

$ПВ$  – постійні витрати від перевезення пасажирів у дальньому сполученні в розрахунковому році.

Подальший аналіз показує: для того, щоб досягнути точки беззбитковості при перевезенні пасажирів у дальньому сполученні, необхідно, щоб кут  $\alpha_1$  був завжди більшим за  $\alpha_2$  (див. кут  $\alpha_1^1$ ). Якщо навпаки кут  $\alpha_1$  менший за  $\alpha_2$ , то перевезення пасажирів у дальньому сполученні завжди будуть збитковими навіть тоді, коли постійні витрати будуть дорівнювати нулю. Це вказує на необґрунтовану побудову тарифів, оскільки доходи від перевезень пасажирів не покривають навіть змінні витрати.

## Висновки

Дослідження, проведені в даній роботі, показали:

1. Існуючі тарифи на перевезення пасажирів у дальньому сполученні не є обґрунтованими, оскільки доходна ставка не покриває навіть питому величину змінних витрат.

2. Укрзалізниця мусить просити Уряд України переглянути існуючу тарифну політику на соціально-спрямовані перевезення пасажирів для того, щоб доходи від них обов'язково перекривали змінні та частину постійних витрат.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Голов, С. Ф. Управлінський облік [Текст] : підручник – 3-тє вид. / С. Ф. Голов. – К.: Лібра, 2006. – 704 с.
2. Калькуляція собівартості перевезень пасажирів по видах сполучення, табл. 5 [Текст]. – Укрзалізниця, 2007. – 11 с.

Надійшла до редколегії 25.12.2008.

## ЩОДО ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЛІ ДЕРЖАВНИХ ВИТРАТ У ПРОЦЕСАХ ФОРМУВАННЯ ФІНАНСОВОЇ ПОЛІТИКИ

У статті проаналізовано стан фінансової системи через державні витрати. Аналізуються фактори впливу державного регулювання на формування фінансової політики.

В статье проанализировано состояние финансовой системы через государственные расходы. Анализируются факторы влияния государственного регулирования на формирование финансовой политики.

The paper deals with the analyses of financial system conditions through the state expenses. The factors of the state regulation influence on forming the financial policy are analyzed.

Зважаючи на те, що певні економічні концепції визначають важливість ролі політики витрат, яку вона відіграє у регулюванні економічних відносин, тому і проведення такої політики, під якою розуміють витрати держави на придбання благ або послуг, пов'язаних із задоволенням суспільних потреб, потребує узагальнення, аналізу її проведення та виявлення особливостей та напрацювання методології впровадження в сучасних умовах проведення економічних перетворень.

Проводячи певні наукові дослідження, слід відмітити те, що в світовій практиці існують декілька видів класифікації державних витрат. Так, наприклад, англійський вчений А. Пігу розділяє державні витрати на трансформаційні та трансфертні [4].

За його визначеннями до трансформаційних витрат відносяться наступні витрати:

- державні інвестиції;
- державне споживання товарів та послуг;
- виплати із бюджету заробітної плати.

У сьогоденні світової економічної діяльності державні кошти використовуються для придбання послуг, які мають вираз у товарі або праці, тобто як би трансформуються в інші блага. Тому, до трансфертних витрат можливо віднести й такі витрати, як:

- субсидії;
- грошова допомога домашнім господарствам;
- соціальне забезпечення.

Тобто, це витрати, які не передбачають зустрічних послуг й визначаються, як пряма передача коштів (трансферт).

Для того, щоб забезпечити державний контроль за витратами грошових коштів, використовують так звані інституціональний розпо-

діл фінансових ресурсів, а саме: по міністерствах, відомствах, департаментах тощо [1].

Проведення контрольних заходів за ефективністю використання державних грошових коштів можливо впроваджувати, якщо згрупувати їх за цільовим призначенням, наприклад: на оборону, освіту, охорону здоров'я, наукові дослідження, соціальне забезпечення.

Відповідно, масштаби державних витрат можуть наявно свідчити про роль держави в економічній діяльності та її впливи на неї, особливо якщо проводити їх порівняння із ВВП країни, що можливо проаналізувати по державних витратах, які проводились у розвинених країнах у третю чверть минулого століття, що представлені в табл. 1.

Таблиця 1

### Державні витрати розвинених країн (у %% до ВВП)

|                                     | 1970 р. | 1994 р. |
|-------------------------------------|---------|---------|
| США                                 | 32      | 34      |
| Японія                              | 19      | 36      |
| ФРН                                 | 39      | 51      |
| Велика Британія                     | 39      | 45      |
| Франція                             | 39      | 55      |
| Італія                              | 34      | 54      |
| Швеція                              | 43      | 71      |
| Економічно розвинені країни (разом) | 32      | 42      |

Порівняльний аналіз державних витрат, які представлені в таблиці за період у 24 роки, надає можливість констатувати, що державні ви-

трати володіють досить високою рухливістю, так званою еластичністю.

Слід відмітити, що під час кон'юнктурного підйому відбувається автоматичне зниження державних витрат і навпаки.

Найбільшою антициклічною дією визначають витрати держави на соціальну підтримку безробітних або на інші види соціальної допомоги [3].

Під час підйому підвищуються платежі підлягаючим обов'язковому страхуванню особам, одночасно знижуються виплати по безробіттю. У період спаду разом із зростанням безробіття підвищуються виплати на соціальну підтримку та скорочуються відрахування від одержаних доходів на цілі страхування.

Головним завданням проведення державної політики витрат визначають впливи на сукупний попит. Одночасно така політика спрямовується на підтримання й інших форм економічної рівноваги, а саме:

- між сферою виробництва й природним комплексом;
- рівнем розвитку окремих регіонів країни та виробничих промислових галузей;
- станом економіки країни та ступенем її зовнішньої безпеки.

Таким чином, держава, контролюючи оподаткування й витрати отриманих грошових коштів, може впливати в цілому на розвиток

економіки, що є важелем впливу на спонукання відтворювальних процесів в період транзитивної економічної політики, яку проводить Україна.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Адамик, Б. П. Національний банк і грошово-кредитна політика [Текст] : навч. посібник / Б. П. Адамик. – Т.: Карт-бланш, 2002. – 279 с.
2. Базилевич, В. Д. Державні фінанси [Текст] : навч. посібник / В. Д. Базилевич, Л. О. Баластрик; за заг. ред. В. Д. Базилевича. – К.: АТІКА, 2002. – 368 с.
3. Власюк, В. Є. Щодо еволюційних надбань теорії грошей, капіталу і фінансів [Текст] / В. Є. Власюк // Економіка: проблеми теорії та практика. Зб. наук. пр. – Вип. 139. – Д.: ДНУ. 2002. – С. 189-193.
4. Власюк, В. Є. Важелі управлінських впливів на проведення фінансово-кредитної політики [Текст] : монографія / В. Є. Власюк. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – 268 с.
5. Габбард, Р. Г. Гроші, фінансова система та економіка [Текст] / Р. Глен Габбард. – К., 2004. – 451 с.
6. Економіка України: стратегія і політика довгострокового розвитку [Текст] / за ред. В. М. Гейця. – К.: Ін-т екон. прогнозув.; Фенікс, 2003. – 1008 с.

Надійшла до редколегії 26.08.2008.

## СУТНІСТЬ І ПРИЗНАЧЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛІВ У КОНТЕКСТІ РОЗРОБЛЕННЯ МІЖНАРОДНОЇ ТОРГОВО-ТРАНСПОРТНОЇ СТРАТЕГІЇ УКРАЇНИ

Досліджено шляхи підвищення ефективності управління транспортним процесом у транспортному вузлі. Запропоновано методи впровадження логістичних технологій у процес управління транспортним вузлом.

Исследованы пути повышения эффективности управления транспортным процессом в транспортном узле. Предложены методы внедрения логистических технологий в процесс управления транспортным узлом.

Ways of improving the efficiency of transport process management at a transport junction are investigated. The methods of introduction of the logistic technologies into the management process at a transport junction are suggested.

### Постановка проблеми

Дослідження нової сутності та призначення транспортних вузлів обумовлено багатьма причинами, серед яких особливу увагу викликають наступні. По-перше, процеси глобалізації та соціально-економічних перетворень у країнах з перехідною економікою змінюють роль транспортних вузлів, у яких здійснюється переробка і перевалка експортно-імпортних вантажних потоків. По-друге, збільшення транснаціональних товаропотоків визначило формування системи транс'європейських комунікацій – міжнародних транспортних коридорів (МТК), які проходять через транспортні вузли і потребують розбудови відповідної інфраструктури транспортно-логістичного сервісу. По-третє, зростає залежність ефективності комерційної взаємодії суміжників у транспортному вузлі від технології управління технологічними ланцюжками доставки вантажу і ступеня зацікавленості в логістизації транспортного обслуговування не тільки задіяних суб'єктів – перевізника, вантажовласника, експедитора, а й потенціальних інвесторів, партнерів по бізнесу, фіскальних органів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В умовах глобалізації суспільного виробництва, розвитку мережі міжконтинентальних транспортних зв'язків і розвитку ринкових відносин на пострадянському просторі значно підсилюється інтерес до взаємодії різних видів транспорту у складі глобальних і національних транспортних систем. Цим проблемам присвячено ряд нормативно-правових актів [1, 2], наукові праці Диканя В. Л. [3, 4], Куренкова П. В., Кот-

ляренко А. Ф. [5], інших фахівців, науковців та урядовців країн СНД, Балтії, Європи, США.

### Виділення невирішеної проблеми

Незважаючи на велику кількість публікацій, які в основному присвячені аналізу сутності транспортної системи, принципів її єдності, форм взаємодії різних видів транспорту, не існує чіткого визначення сутності транспортного вузла в контексті еволюції транспортного процесу, а також аналізу змін, що відбуваються в системі управління транспортним процесом у транспортних вузлах України, в умовах переходу до ринкових відносин, інтеграції у світовий економічний простір і розвитку логістичних технологій.

*Метою даної статті* є визначення сутності та призначення транспортних вузлів у контексті розроблення міжнародної торгово-транспортної стратегії України, яка призвана прискорити реалізацію Програми створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні [1, 2].

### Результати досліджень

У процесі дослідження було доведено, що сутність самого поняття «транспортний вузол» різними авторами трактується неоднозначно. Згідно [6, 7], під транспортним вузлом розуміється пункт стикування двох чи більшої кількості транспорту. У той же час у [8, 9] транспортний вузол розглядається як транспортна система промислового вузла, форма територіальної організації транспортних підприємств, елемент регіональної транспортної системи. Згідно Положення про транспортний вузол,

«...транспортний вузол включає в себе морські, річкові порти і пароплавства, залізничні станції, відділення і управління залізниць, автотранспортні підприємства і управління автомобільного транспорту, інші підприємства і організації, які спільно забезпечують перевезення і переробку вантажів, обробку транспортних засобів» [10]. Розміщуються усі підприємства транспортного вузла на достатньо великій території, тобто транспортний вузол займає певний транспортний простір регіону обслуговування.

Враховуючи вище наведені визначення, доцільно транспортний вузол, як категорію транспортної науки, розглядати у широкому та вузькому розумінні.

«Транспортний вузол у широкому розумінні», або промисловий транспортний вузол, представляє собою складну просторову систему підприємств різних видів транспорту та інших господарюючих суб'єктів в межах промислового вузла, що спільно забезпечують здійснення транспортного процесу з метою задоволення потреб клієнтів у перевезенні вантажів і пасажирів. У цьому розумінні транспортний вузол може розглядатися як регіональна транспортно-логістична система, у якій виокремлюються типові технологічні ланцюжки, що обслуговуються окремими підсистемами, наприклад, технологічні ланцюжки з ремонту та контролю технічного стану рухомого складу, технологічні ланцюжки з обслуговування транзитних вантажних потоків за схемою «суходіл – море – суходіл», або логістичні ланцюжки по доставці вантажів від складу виробника до логістичного розподільного центру тощо. Параметрами промислового транспортного вузла є: число взаємодіючих видів транспорту; число типових технологічних або логістичних ланцюжків, що обслуговуються окремими підсистемами транспортного вузла; число фаз, якщо окремі підсистеми вступають у роботу послідовно; кількість зв'язків між елементами у підсистемах.

«Транспортний вузол у вузькому розумінні» представляє собою пункт перетину двох, або більшої кількості видів транспорту і може розглядатися як ланка окремо узятото транспортно-логістичного ланцюга доставки вантажу у змішаних перевезеннях.

Використовуючи трійність взаємної обумовленості розвитку системи можна встановити таку ієрархію: «транспортний вузол у широкому розумінні» — це надсистема «транспортного вузла у вузькому розумінні». Підсистеми

«транспортного вузла у вузькому розумінні» складаються з окремих підприємств, організацій, що утворюють типові транспортно-технологічні і транспортно-логістичні ланцюжки. Нижню ступінь ієрархії утворюють типові процеси з визначеним технічним оснащенням та локальними системами управління.

У складі транспортного вузла у широкому розумінні, як правило, виділяють такі підсистеми:

- пасажирське обслуговування (прийом, відправлення та обслуговування міських, приміських, дальніх і транзитних пасажиропотоків);
- вантажне обслуговування (прийом, відправлення, транзит без переробки, транзит з переробкою, змішаний транзит за участю декількох видів транспорту);
- ремонт та контроль технічного стану рухомого складу;
- транспортне експедиторське обслуговування;
- розподіл матеріальних потоків (склади, складські термінали, транспортно-складські комплекси, торгівельні бази, центри логістичного розподілу);
- інформаційне супроводження пасажирських, вантажних, транспортних потоків (масиви транспортної і комерційної інформації для всіх учасників логістичних ланцюгів);
- інвестиційно-фінансове забезпечення транспортно-логістичного процесу.

У світовій практиці транспортні підприємства промислового транспортного вузла інтегруються з торговою й індустріальною зоною усього регіону, причому на транспортних комплексах розміщуються комплекси глибокої переробки вантажів. Складські термінали виконують функції логістичних підприємств, діяльність яких націлена на скорочення перевізного часу і раціональне зниження енергетичних та трудових витрат у межах регіонального і загальнодержавного розподілу вантажів. У середині великого промислового транспортного вузла можуть бути зосереджені десятки терміналів, на периферії – навіть кілька десятків.

В основу організації транспортного вузла (у широкому і вузькому розумінні) покладені наступні принципи: раціональне розміщення вузла щодо обслуговуючої клієнтури; оснащеність навантажувально-розвантажувальних фронтів; наявність місць тимчасового складування, оснащених високопродуктивними перевантажувальними засобами. У ринкових умовах транспортування будь-якого вантажу при пря-

тому чи змішаному варіанті розглядається як активність логістичної системи, що забезпечує найбільш швидке просування товару від місця формування вантажопотоку до місця його призначення, тому крім зазначених принципів варто дотримувати також принципу відповідності пропускної здатності технічного оснащення потужностям потоків вантажів з урахуванням перспектив розвитку перевезень у даному регіоні на основі стратегічного планування. При організації транспортного вузла передбачається комплексний розвиток матеріально-технічної бази транспорту з узгодженням параметрів рухомого складу, задіяного в транспортному коридорі, за габаритами, вантажопідйомністю і місткістю, забезпеченням ритмічності подачі транспортних засобів, управління рухом контейнерів за допомогою організації системи спостереження.

Учасники міжнародних перевезень першими відчують необхідність впровадження єврологістичних технологій вантажної переробки, інтермодальних та термінальних систем доставки, телекомунікаційних систем супроводження вантажів. За оцінками міжнародних експертів ООН та ЄС і прогнозами НАНУ, до 2010 р. можна очікувати збільшення товарообміну в напрямку європейської вертикалі Північ – Південь на 25...30 %, євразійської – на 30...35 %. А це значить, що на початку нового століття значимість світових транспортних зв'язків і роль розподільних центрів, які, як правило, розміщуються у транспортних вузлах змішаного типу, зрівняється зі значимістю центрів видобутку сировини і промислового виробництва, якщо не перевищить її [9].

Процес глобалізації суттєво вплинув на зміну географії перевезень. Встановилися не тільки нові маршрути товарообігу, але й зв'язані з ними напрямки транспортних потоків. Очевидно, що нові технології перевезень не можуть бути впроваджені відразу на всій транспортній мережі. Це зажадало б занадто великих матеріальних і фінансових витрат. Тому світова практика пішла по шляху створення транспортних коридорів, технічні засоби і технології в яких дозволили б здійснювати комбіновані перевезення. У країнах ЄС та СНД простежується тенденція до розбудови системи терміналів для переробки контейнерів. У рамках міжнародної програми «Collomodul», у реалізації якої беруть участь Німеччина, Голландія та Франція, вирішується задача створення міжнаціональних логістичних центрів фізичного розподілу на основі використання контейнерів в інтермодальних

перевезеннях та створення комунікаційних інформаційно-комп'ютерних систем. На залізницях Росії реалізована «Комплексна програма розвитку контейнерних перевезень вантажів», впроваджується «Автоматизована система управління контейнерними перевезеннями на базі номерної контейнерної моделі» [11].

Транспортні системи Угорщини, Польщі, Чехії, Словенії, Словаччини безпосередньо зв'язані з ТДК України, що безсумнівно прискорить інтеграцію транспортної системи України в європейську і у світову транспортні системи. Так, у 2001 році у Братиславі між керівниками транспортних міністерств Росії, України, Словаччини та Чехії був підписаний меморандум «Про співпрацю в області залучення інвестицій, організації перевезень вантажів по залізничній колії 1520 мм і створення логістичного центру й терміналу в Чеській республіці», Верховною Радою прийнято «Комплексна програма затвердження України як транзитної держави у 2002-2010 рр.», закон України про ратифікацію «Угоди про принципи формування спільного транспортного простору і взаємодії держав – учасниць СНД у галузі транспортної політики». Згідно з [12], на території України передбачається створити 46 опорних транспортно-складських комплексів (ТСК) і спеціалізувати їх за трьома категоріями: 9 прикордонних, 16 сухопутних і 21 водний. Організація поставки вантажів за логістичними принципами «від дверей до дверей» та «точно в строк» на просторі країн СНД, що залишається не охоплений подібними послугами, є складовим елементом Інвестиційної Програми створення торгово-транспортної мережі «DOOR – TO – DOOR» у контексті нової Міжнародної торгово-транспортної стратегії України на недалеку перспективу [4].

Підвищення конкурентноздатності транспортних вузлів на підґрунті координації роботи усіх учасників транспортного процесу є однією з логістичних технологій, якій у країнах Західної Європи приділяється велика увага. Місця дислокації логістичних центрів вибирають, при наявності вільних територій, поблизу автострад і залізничних ліній [13]. У визначених умовах транспортні вузли, що здійснюють переробку експортно-імпортних вантажних потоків, стають центрами складної міжнародної мережі розподілу матеріальних, інформаційних та фінансових потоків.

Багатоопераційний і разом з тим комплексний процес перевалки вантажів у транспортному вузлі об'єктивно вимагає координації та вза-

ємодії роз'єднаних учасників транспортного процесу. Взаємодія, яка передбачає удосконалення оперативного планування і управління узгодженою роботою конкретних підрозділів різних видів транспорту, потребує залучення до цього процесу підприємств та організацій інших галузей народного господарства. До ринкових реформ вважалося, що така взаємодія здійснюється на середньому рівні транспортної ієрархії (управління залізницею і пароплавство) та у низових її ланках (станції, порти, автомобільні підприємства) [5]. Однак, при проходженні зовнішньоторговельних вантажів через морські транспортні вузли взаємодія відбувається не тільки між залізничною станцією і портом, а й між перевізниками та експедиторами, між експедиторами й вантажовласниками, між експедиторами та стивідорами, між стивідорами і агентами, між агентами й таможною, між експедиторами і таможною тощо. Крім того, у перевезеннях приймають участь не тільки державні організації, а й приватні компанії, тому взаємодією і координацією охоплено практично усі рівні управління транспортним процесом. Стратегічні цілі розвитку промислових транспортних вузлів, які здійснюють зовнішньо-економічні і міжнародні перевезення, передбачають: інтеграцію транспортних підприємств із торговою та індустріальною зоною; формування бізнес-альянсів світового рівня на основі інтегрованих логістичних систем; розбудову термінальних комплексів і інформаційно-логістичних центрів як суб'єктів управління транспортним процесом у інтегрованих логістичних системах; встановлення тісних зв'язків між логістичними центрами і муніципалітетами промислових транспортних вузлів та формування Координаційної Ради адміністрацій суб'єктів транспортно-логістичної системи і представників законодавчих органів транспортного вузла, що об'єднає людей, матеріальні ресурси, фінанси, енергію та інформацію так, щоб їх спільне використання забезпечило досягнення запрограмованих цілей.

### Висновки

На підставі дослідження призначення, місця і ролі транспортних вузлів у контексті розроблення міжнародної торгово-транспортної стратегії України було вироблено ряд наукових висновків, зміст яких полягає у наступному.

1. На процеси, які відбуваються у транспортних вузлах України, мають вплив загальні закономірності розвитку світової економіки. По-

перше, це глобалізація економічних зв'язків, яка привела до збільшення транскордонних потоків товарів, капіталу, технологій, інформації та до гомогенізації світу. По-друге, це соціально-економічні перетворення або структурно-інноваційне моделювання розвитку країн перехідної економіки, яке викликало необхідність визначити стратегічні пріоритети розвитку транспортно-дорожнього комплексу України.

2. Залучення інфраструктури транспортних вузлів до розбудови МТК потребує розробки спеціальної концепції та програми розвитку транспортних вузлів з урахуванням еволюції транспортного процесу та нової ролі транспортних вузлів як логістичних центрів вантажно-інформаційного транспортного коридору.

3. Метою вдосконалення управління транспортним процесом у підсистемах транспортного вузла у визначених умовах є зменшення стикових втрат (запасів, резервів вантажних фронтів, складів), скорочення простоїв рухомого складу, мінімізація витрат, узгодження ритмів роботи постачальників, споживачів і транспорту.

4. Використання принципів логістики дозволяє оптимізувати управління транспортним процесом у промисловому транспортному вузлі за рахунок створення стрункої та гнучкої інтегрованої логістичної системи (ІЛС), яка потребує визнання усіма її учасниками необхідності партнерства та наявності організуючого начала у вигляді логістичного центру управління, незаангажованого ні одним із учасників транспортного процесу. Метою оптимізації транспортного процесу в ІЛС промислових транспортних вузлів є розвиток транспортно-логістичного сервісу та підвищення конкурентоздатності національної мережі транспортних вузлів, які здійснюють транзитні та зовнішньоторговельні перевезення.

5. Об'єднання процесу перевезення з наданням послуг транспортно-логістичного сервісу забезпечує реалізацію відомої закономірності – кількісне поєднання окремих елементів у єдине ціле дає нову якість функціонування транспортного вузла як моноцентричного транспортно-виробничого ареалу, пов'язаного з ядром децентрованими силами, та центру міжнародної торгово-транспортної мережі.

### БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Концепція створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні [Текст] : Пост. Каб. Міністрів України від 04.08.1997 р. № 821.

2. Про затвердження Програми створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні [Текст] : Пост. Каб. Міністрів України від 20.03.1998 р. № 346 // Урядовий кур'єр. – 1998. – № 67-68. – С. 7-16.
3. Дикань, В. Л. Актуальность улучшения системы комбинированных перевозок в международной транспортной сети [Текст] / В. Л. Дикань // Вісник економіки транспорту і промисловості : збір. наук. пр. – № 13. – Х.: УкрДАЗТ, 2006. – С. 13-19.
4. Дикань, В. Л. Становление и развитие транспортной системы путём создания торгово-транспортной сети «DOOR - TO - DOOR» [Текст] / В. Л. Дикань // Матеріали Міжн. наук.-практ. конф. «Проблеми міжнародних транспортних коридорів і Єдиної транспортної системи України» (Коктебель – 2007). – С. 67-72.
5. Куренков, П. В. Внешнеторговые перевозки в смешанном сообщении. Экономика. Управление [Текст] / П. В. Куренков, А. Ф. Котляренко. – Самара: СамГАПС, 2002. – 636 с.
6. Методика технико-экономических расчетов при развитии транспортных узлов [Текст] / под ред. К. Ю. Скалова, Э. Е. Островского, Г. С. Молярчука. – М.: Транспорт, 1972. – С. 5.
7. Железнодорожные станции и узлы [Текст] / В. М. Акулиничев и др.; под ред. В. М. Акулиничева. – М.: Транспорт, 1992. – С. 391.
8. Дегтяренко В. Н. Транспортные узлы промышленных районов [Текст] / В. Н. Дегтяренко. – М.: Стройиздат, 1974. – С. 120.
9. Правдин, Н. В. Взаимодействие различных видов транспорта в узлах [Текст] / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей. – Минск: Высшая шк., 1983. – С. 31.
10. Положение о транспортном узле [Текст]. – М.: МПС СССР, 1983. – 27 с.
11. Європейське залізничне законодавство [Текст] / за ред. І. Б. Матвеева // Збірка законодавчих актів Європейського Союзу, які відображають етапи розвитку та становлення Європейського залізничного права у 2-х т. – Управління зовнішніх зв'язків Державної адміністрації залізничного транспорту України. – К.: Поліграфсервіс, 2006.
12. Полякова, О. М. Аспекти розміщення вантажних транспортно-логістичних комплексів в Україні [Текст] / О. М. Полякова // Вісник економіки транспорту і промисловості : зб. наук. ст. УкрДАЗТ. – № 8. – Х.: УкрДАЗТ, 2004. – С. 142-146.
13. Елисеев, С. К типологизации логистических центров [Текст] / С. Елисеев, А. Котляренко, П. Куренков // Логистика. – 2003. – № 3. – С. 15-16.

Надійшла до редколегії 23.12.2008.

## СУТНІСТЬ ФОРМУВАННЯ МОТИВАЦІЙНОГО МЕХАНІЗМУ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОНОМІКИ

Розглянуто сутність формування мотиваційного механізму підприємства; наведено різницю між поняттями «мотивація» та «стимул».

Рассмотрена сущность формирования мотивационного механизма предприятия; приведена разность между понятиями «мотивация» и «стимул».

An essence of forming the motivational mechanism of enterprise is considered; a difference between concepts of «motivation» and «stimulus» is presented.

### Постановка проблеми

Одне з основних завдань переходу до ринкової економіки та її функціонування – посилення господарської мотивації та стимулів ефективної, високопродуктивної праці. Від успішного рішення цього завдання величезною мірою буде залежати формування необхідного суспільству відношення до праці, використання всіх резервів і можливостей підвищення її продуктивності. Дослідження методів і напрямків трансформації механізму мотивації праці в ринковому середовищі, що формується, представляє собою одне з найбільш важливих і складних завдань економічної науки. Це пояснюється тим, що в перехідний період колишня структура виробництва не може бути швидко перебудована на основі ринкових механізмів.

Актуальність поставленої проблеми обумовлена тим, що перехід до соціально орієнтованого ринку припускає необхідність створення адекватного механізму мотивації праці. Без цього не можна розглядати на практиці об'єктивні передумови для підвищення ефективності виробництва – основи зростання реальних доходів і рівня життя населення. При цьому кінцевим пунктом здійснення всіх реформ є підприємство, де безпосередньо відбувається з'єднання робочої сили із засобами виробництва, здійснюється процес трудової діяльності. Визнання визначальної ролі мотиваційного механізму в умовах проведених реформ робить тему управління механізмом мотивації праці особливо актуальною.

### Аналіз останніх досліджень

Західна економічна наука завжди цікавилася мотивами діяльності людини. Вивченню мотивів (у тому числі господарських) присвячені дослідження Ф. Герцберга, Д. Мак-Клеланда, А. Маслоу, Л. Ерхарда, П. Друкера й інш. Можна сказати, що всі роботи в області мікроеко-

номіки або менеджменту, в тому або іншому ступені були присвячені мотивам діяльності суспільства, людей і підприємств.

У часи командно-адміністративної системи в нашій країні практичний досвід і теоретичні концепції регулювання мотиваційного механізму не залучали належної уваги радянських економістів.

Тим часом, вітчизняна історія й культура дають нам приклади глибокого дослідження мотивів діяльності окремої людини на різних етапах розвитку. Це й сучасник Петра І І. Т. Ципків, А. І. Герцен, Н. П. Огарьов, Н. Г. Чернишевський, Л. Н. Толстой і багато інших відомих співвітчизників. А тульський селянин М. П. Новиков ще до революції спробував на практиці створити ринковий механізм мотивації праці.

У радянський період розвитку проблемам праці та трудових відносин було присвячено багато фундаментальних праць цілого ряду видних економістів і суспільствознавців: А. І. Амосова, Е. Г. Антосенкова, Н. І. Гвоздьової, А. Е. Городецького, А. З. Дадашева, А. І. Дерябіна, А. Г. Здравомислова, Р. К. Іванової, В. М. Іванченко, Е. І. Капустіна, Д. Н. Карпукіна, І. С. Кона, Е. Ф. Міженської, П. В. Савченко, Д. Е. Сорокіна й багатьох інших. Об'єктом їх дослідження були праця, її продуктивність та інтенсивність, відносини змагання в праці, інтереси, потреби й цінності людини.

На сучасному етапі, у період становлення ринкових відносин в Україні, все більше вітчизняних економістів звертають свою увагу на проблему вдосконалювання мотиваційного механізму.

Проблемам мотивації праці в перехідний економіці присвячені дослідження М. І. Воейкова, Ю. П. Кокіна, Н. Е. Титової, Т. Я. Четверняної, Л. С. Шаховської, Р. А. Яковлева. Окремі елементи мотивації персоналу докладно описа-

ні в працях С. А. Агапова, В. В. Адамчука, Б. М. Генкіна, В. М. Соколинського, О. В. Ромашова й інших авторів.

Однак слід зазначити, що багато теоретичних питань мотивації трудової діяльності залишаються дискусійними й малодослідженими, а пропонувані практичні міри є розрізненими й часто не пов'язаними між собою.

Нерозкритим є взаємозв'язок між теоретичним баченням і практикою формування мотиваційного механізму, не виявлені закономірності й основи його функціонування, недослідженим є механізм регулювання соціально-трудо-вих відносин. Недостатнім є теоретичне осмислення питань і ролі вдосконалювання механізму мотивації праці в підвищенні ефективності та продуктивності праці.

**Метою статті** є дослідження сутності формування мотиваційного механізму підприємства в умовах трансформації економіки.

### Основний матеріал дослідження

Підвищення ефективності виробництва й праці на рівні підприємств і економіки в цілому багато в чому залежить від дієвості системи мотивації й стимулів, властивій ринковій економіці. Для того, щоб виробити найбільш правильні рішення в цьому напрямку, необхідно більш чітко сформулювати деякі теоретичні й методологічні позиції відносно мотивації праці.

Радянська економічна наука мотивами діяльності людини, у тому числі й трудової, цікавилася слабо. Довгі роки досить завзятим було прагнення офіційної ідеології нав'язати праці характер першої життєвої потреби, безкорисливої праці в ім'я суспільства й т.п. Переважна зрівняльність в оплаті праці викликала розвиток утриманства, послабляла трудову мотивацію і, в остаточному підсумку, стримувала темпи росту продуктивності праці й негативно позначалася на його якості. У той же час рівень продуктивності праці в радянський період незмінно підвищувався, хоча й значно відставав від рівня цього показника в розвинених країнах. В останні роки, у період проведення реформ відбулося різке падіння рівня продуктивності праці в усіх галузях економіки. Багато в чому це обумовлено відсутністю мотиваційного механізму, адекватного ринковим умовам, а також тим, що багато теоретичних проблем досліджені недостатньо.

Для виявлення сутності мотиваційного механізму необхідно, насамперед, розрізнити поняття «мотивація» і «стимули».

У [1, с. 270] поняття мотивації трактується як стан схильності або готовності, схильності діяти певним чином. В основі поведінки людини значне місце займають ціннісні орієнтації

особистості, під якими в соціології розуміють стійкі установки на ті або інші соціальні цінності.

М. Мескон, М. Альберт і Ф. Хедоурі визначають мотивацію як процес спонукання себе й інших до діяльності для досягнення особистих цілей та цілей організації. [2, с. 360].

Дж. М. Іванцевич і А. А. Лобанов стверджують, що мотивація працівників є сукупність причин, що спонукають людину діяти тим або іншим цілеспрямованим чином. Це внутрішній стан, що спонукає, направляє та зберігає у людини прагнення досягти певної мети [3, с. 30].

На думку Г. Шредера, мотивацією є задане в певній ситуації прагнення зробити ту або іншу дію, або ж є фактичне підтвердження того, що одному предмету віддається перевага перед іншим [4, с. 56.].

Г. Дж. Болт трактує мотивацію як визначення того, як домогтися максимальної віддачі від підлеглих через розуміння їхніх способів дій, мотивів, причин їх гарної або поганої роботи і використання цієї інформації й цілого набору способів спонукання підлеглих домагатися найвищого рівня продуктивності [4, с. 137].

Золотарьов В. Г. вважає, що мотивація – це спонукальна причина, привід до якої-небудь дії, активний стан людини (його мозкових структур), що спонукає його робити спадково закріплені або придбані досвідом дії, спрямовані на задоволення індивідуальних (наприклад, спрага, голод та ін.) або групових (турбота про дітей та ін.) потреб [5, с. 242].

В. В. Травін і В. А. Дятлов визначають мотивацію праці як прагнення працівника задовольнити свої потреби (одержати певні блага) за допомогою трудової діяльності [6, с. 98]. Це корелює із соціологічним підходом до мотивації. У соціології мотивація розглядається як усвідомлювання потреби суб'єкта в досягненні певних благ, бажаних умов діяльності [7, с. 167]. Мотив відображає певний процес переходу від потреби до задовольняючого її блага шляхом власної діяльності індивіда. Мотив спонукає людину до трудової діяльності, являє собою образ бажаного людиною блага, що прийде на зміну потреби за умови, якщо будуть виконані певні трудові дії.

Економічна енциклопедія трактує мотивацію персоналу як спонукання до діяльності для досягнення особистих цілей або цілей фірми [8, с. 446].

Мотивація – це спонукання до активності й діяльності суб'єкта (особистості, соціальної групи, спільності людей), зв'язане із прагненням задовольнити певні потреби [9, с. 197].

Уткін Е. А. формулює мотивацію праці як прагнення працівника задовольнити свої потре-

би (одержати певні блага) за допомогою трудової діяльності [10, с. 31].

У психології мотивація означає сукупність зовнішніх і внутрішніх умов, що спонукають суб'єкта до активності, а також предмет або об'єкт, на який ця активність спрямована, будучи усвідомлюваною або неусвідомлюваною [11, с. 70; 12, с. 219].

На думку Р. С. Немова, термін «мотивація» використовується у двоякому смислі: по-перше, як позначаючий чинник системи чинників, детермінуючих поведінку (сюди входять потреби, мотиви, цілі, інтереси тощо) і, по-друге, як характеристика процесу, який підтримує поведінкову активність на певному рівні [13, с. 219].

Г. В. Шнеєрова бачить у мотивації процес створення індивідуі стимулів для досягнення поставлених перед ним цілей [14, с. 191].

І. А. Баткаєва визначає мотивацію як процес свідомого вибору людиною того або іншого типу поведінки, обумовленого комплексним впливом зовнішніх (стимули) і внутрішніх (мотиви) чинників [15, с. 367].

Як сукупність внутрішніх і зовнішніх рушійних сил, які спонукають людину до діяльності, задають межі й форми діяльності та надають цій діяльності спрямованість, орієнтовану на досягнення певних цілей, трактують мотивацію О. С. Віханський та А. І. Наумов. [16, с. 99-101].

І. П. Булеєв, досліджуючи питання мотивації праці, дійшов висновку, що «мотивація праці є складовою частиною господарського механізму, включає економічне стимулювання і відповідальність, соціально-психологічні чинники. Мотивація праці спирається на інтереси, виражає систему інтересів, в яких, в умовах різноманіття форм власності і товарно-грошових відносин стає інтерес індивідуума (особистий, груповий). За допомогою економічних важелів, а в ряді випадків й адміністративних методів, держава прагне до односпрямованості особистих, групових, колективних інтересів та інтересів суспільства» [17, с. 26-27].

Н. Захаров і Н. Куцин мотивацію описують як процес свідомого вибору людиною того або іншого типу поведінки, діяльності, обумовленого комплексним впливом зовнішніх (стимули) і внутрішніх, особистих (мотиви) чинників [18, с. 91].

Організації розглядають мотивацію як набір прийомів і інструментів, які керівник використовує для напрямку внутрішніх рушійних сил (мотивів) персоналу на досягнення встановлених цілей [16, с. 145].

Таким чином, дослідивши поняття мотивації, ми бачимо, що серед фахівців з управління немає єдиного підходу до визначення мотивації. Це говорить насамперед про широкомасш-

табність проблеми і про різні підходи до її вирішення.

Грунтуючись на проведенні власних досліджень, беручи до уваги все вищесказане, автор вважає, що мотивація персоналу – це спонукування працівників до цілеспрямованої діяльності через вплив зовнішніх рушійних сил (стимулів) на внутрішні рушійні сили (мотиви), які задають межі та форми діяльності та надають цій діяльності направленість, орієнтовану на досягнення певних цілей. Вплив мотивації на поведінку людини залежить від багатьох чинників, багато в чому індивідуально і може змінюватися під впливом зворотного зв'язку з боку діяльності людини.

У роботі розглядається не «мотивація праці» як така, а «мотивація трудової діяльності», оскільки трудова діяльність включає більш широке поняття ніж праця. Трудова діяльність людини у своїх стратегічних цілях передбачає широке коло життєвих проблем людини: праця над самим собою, в освіті й вихованні, своєму поведінці й, нарешті, у духовному розвитку.

Таким чином, трудова діяльність ставить основною потребою людини в розвитку його і як особистості, і як громадянина, зміцненні його фізичного й психічного здоров'я, довголіття, забезпеченні багатства матеріального й духовного життя. До того ж праця людини за своїми формами і змістом в епоху інформаційного суспільства істотно відрізняється від праці минулого, внаслідок, з одного боку, широкої автоматизації та інформатизації виробництва, а з іншого, в результаті підвищення рівня освіти й соціальних очікувань працівників. Ці зміни потребують від працівника більшого особистого внеску. Особистий внесок – це не тільки використання знань і вмінь, але й створення нового в роботі (творче відношення до праці), а також ефективна міжособистісна взаємодія – володіння комунікаційними технологіями роботи в колективі. Це значить, що результати трудової діяльності формуються в процесі її здійснення, що визначається як професіоналізм, так і поведінки, відношення людини, що визначається особливостями особистості. Такі зміни визначають використання персоналізованого підходу до мотивації трудової діяльності, що спричиняється професійним розвитком людини, розвитком його трудового потенціалу, розвитком людини як висококультурної особистості, що, у свою чергу, забезпечує ріст продуктивності праці й ефективну роботу підприємства в остаточному підсумку.

Мотиви існують у системній взаємодії з іншими психологічними явищами, утворюючи складний механізм мотивації, який містить у собі потреби, домагання, стимули, установки, оцінки й т.д.

Початковою ланкою, першим «полюсом» механізму є потреба, що виражає необхідність для людини певних благ, предметів або форм поведінки. Потреби можуть бути як природженими, так і надбаними в процесі життя і виховання.

Найважливішою передумовою трудової діяльності виступають потреби. Г. А. Дмитренко розуміє потребу як «стан потреби в чомунбудь. Потреби активізують організм, направляючи його на пошук того, що в цей момент необхідно йому» є присутнім у роботах [19, с. 38]. «Потреби – це те, що виникає й перебуває усередині людини, що досить загальне для різних людей, але в той же час має певний індивідуальний прояв у кожній людині» [20, с. 77]. «Потребу можна визначити як те, що постійно нагадує про себе, турбуючи людину, що хотіла б звільнитися від цього занепокоєння. Потребу можна так само визначити як стан нестабільності, нестійкості, дефіциту, на усунення яких людина направляє дії» [21, с. 7]. «Потреба – це усвідомлена необхідність у тих або інших матеріальних, культурних благах, соціальних і духовних цінностях» [22, с. 88]. Ф. Енгельс писав: «Люди звикли пояснювати свої дії зі свого мислення, – замість того, щоб пояснювати їх зі своїх потреб (які при цьому, звичайно, відбиваються в голові, усвідомлюються)...» [23, с. 493], що показує роль потреб в ініціюванні діяльності. Платон і Сократ вважали, що в основі діяльності лежать потреби і їхнє задоволення. Аристотель вважав, що джерелом дій людини є не потреби, а здатності. Кожна людина – затверджував Аристотель – від природи влаштована так, що їй краще, легше й приємніше виконувати якусь певну справу. Це значить, що до однієї справи людина має покликання, тобто здатності, а до іншого – не має. Іншими словами джерелом дій людини є здатності – сили, які вкладені в неї й повинні реалізуватися [24, с. 241].

В. А. Ткаченко дає наступне формулювання потреб: «Потреба – це сукупність природних процесів, що відбуваються в біоенергетичній системі людини й дозволяють цій складній мегасистемі як задовольняти її здібності, виходячи із природного потенціалу, так і визначати свої позиції в навколишньому середовищі. Потреба – це природна функціональна необхідність будь-якої біоенергосистеми людини» [25, с. 120].

Другим «полюсом» механізму мотивації виступає стимул, що є тими або іншими благами (предмети, цінності і т.п.), здатними задовольняти потребу при здійсненні певних дій (поведінки). Власне кажучи, стимул орієнтований на задоволення потреби.

«Стимул – спонукальна причина, поштовх, зацікавленість у здійсненні чого-небудь»

[26, с. 794]. На думку Е. А. Уткіна, стимул є «інструментом, що викликає дію певних мотивів» [27, с. 17]. На наш погляд, у трудовому процесі стимул – це нагорода, тобто певна «предметна» мета, матеріальна або моральна. Ми згодні й із точкою зору, висловленою у дисертаційній роботі Н. В. Кузнецової про те, що під стимулом розуміється «не сам об'єкт потреби, а скоріше оперування ним з боку суб'єкту управління» [28].

Призначення стимулів до праці полягає в розвитку системи потреб людей, структури їх особистих інтересів, у розкритті здатностей працівника, підвищенні його економічної й соціальної відповідальності. Щоб стимули виконували свою роль у повному обсязі, у суспільній свідомості повинен бути переборений підхід до людини тільки як до індивідуума, що зіставляє вигоди від росту свого матеріального благополуччя з тяготами від більш інтенсивної та напруженої праці. Подібний підхід обмежує систему стимулювання заробітною платою, винагородами, можливостями «отоварювання» доходів. Моральні, творчі стимули до праці розглядаються як менш важливі, їм нерідко приділяється другорядна роль.

Тим часом, коли стоїть завдання істотно підвищити суспільно необхідну інтенсивність і якість роботи, забезпечити краще використання виробничого й трудового потенціалу, дуже важливі й соціальні фактори – гармонізація особистих інтересів, їхнє сполучення з колективними, створення сприятливих умов для розвитку особистості в процесі праці. Щоб реально управляти інтересами й через інтереси, необхідно забезпечувати спільність матеріальних, моральних, творчих та інших стимулів.

Такий підхід до системи стимулів до праці, як свідчить досвід не тільки українських, але й закордонних підприємств, істотно підвищує дієвість матеріальної зацікавленості. Цей досвід підтверджує: якщо заробітна плата компенсує відсутність творчих початків у праці, нерозвиненість форм участі працівників у керуванні підприємством, слабкість соціальної інфраструктури й подібні їм явища (наприклад, вага й непривабливість умов праці), функції стимулювання високопродуктивної праці не можуть здійснюватися досить ефективно. Разом із тим, як вказувалося, в Україні досить актуальне завдання усунути обмеження росту заробітної плати, забезпечити своєчасну виплату дійсно заробленого.

Між потребою і стимулом як двома крайніми «полюсами» механізму мотивації знаходиться цілий ряд опосередковуючих ланок, що характеризують процес сприйняття (у тому числі оцінки) стимулу і утворення неактуалізованого (звичайно латентного, прихованого або ще не повністю усвідомленого) мотиву. На цьому

етапі циклу перетворення стимулу в детермінуючий, поведінка мотив – стимул може бути заздалегідь прийнятий, а може бути і відторгнутий суб'єктом.

У разі попереднього ухвалення стимулу подальший шлях вольового імпульсу (неактуалізованого мотиву) як би роздвоюється. Його швидка актуалізація і найкоротший шлях до дій забезпечується за наявності відповідної установки. Вона характеризує готовність, схильність людини до певної поведінки (активності) в конкретній ситуації і як би зв'язує домагання і очікування з минулим досвідом дій в аналогічних умовах. Установка може бути позитивною або негативною залежно від того, як впливав минулий досвід дій на реалізацію потреби.

### Висновок

Таким чином, мотиваційний механізм підприємства – це комплексна система застосовуваних інструментів і способів впливу на працюючий персонал для забезпечення досягнення цілей мотиваційної політики.

Мотиваційний механізм повинен будуватися з урахуванням особливостей персоналу, що працює у підприємстві, що включають у себе потреби, інтереси, установки й ціннісні орієнтації працівників. Мотиваційний механізм повинен враховувати існуючу структуру управління персоналом підприємства, чинники, що впливають на підприємство усередині й ззовні, а також сформовані на підприємстві традиції й історичний досвід роботи.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Словарь-справочник менеджера [Текст]. – М.: ИНФРА-М, 1996. – 370 с.
2. Мескон, М. Основы менеджмента [Текст] : [пер. с англ.] / М. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури; под ред. Л. И. Евенко. – М.: Дело, 1992. – 368 с.
3. Иванцевич, Дж. Человеческие ресурсы управления [Текст] / Дж. Иванцевич, А. А. Лобанов. – М.: Дело, 1993. – 286 с.
4. Шредер, Г. А. Руководить сообразно ситуации [Текст] / Г. А. Шредер. – М.: Интерэксперт, 1994. – 349 с.
5. Золотарев, В. Г. Энциклопедический словарь по экономике [Текст] / В. Г. Золотарев. – Минск: Польша, 1997. – 823 с.
6. Травин, В. В. Основы кадрового менеджмента [Текст] / В. В. Травин, В. А. Дятлов. – М.: Дело, 1995. – 246 с.
7. Краткий словарь по социологии [Текст] / под общ. ред. Д. М. Гвишиани, Н. И. Лапина. – М.: Политиздат, 1989. – 453 с.
8. Экономическая энциклопедия [Текст]. – М.: Экономика, 1999. – 754 с.
9. Вечканов, Г. С. Краткая экономическая энциклопедия [Текст] / Г. С. Вечканов, Г. Р. Вечкано-

- ва, В. Т. Пуляев. – СПб.: ТОО ТК «Персеполис», 1998. – 618 с.
10. Уткин, Э. А. Основы мотивационного менеджмента [Текст] / Э. А. Уткин. – М.: Экмос, 2000. – 381 с.
11. Магун, В. С. Потребности и психология социальной деятельности личности [Текст] / В. С. Магун. – Л.: Наука, 1983. – 370 с.
12. Психология. Словарь [Текст] / под общ. ред. А. В. Петровского, М. Г. Ярошевского – М.: Политиздат, 1990. – 219 с.
13. Немов Р. С. Психология [Текст] / Р. С. Немов. – М.: Просвещение, 1990. – 246 с.
14. Основы управления персоналом [Текст] / под ред. Б. М. Генкина. – М.: Высш. шк., 1996. – 384 с.
15. Управление персоналом в организации [Текст] : учебник / под ред. А. Я. Кибанова. – М.: ИНФРА-М, 1997. – 381 с.
16. Булеев, И. П. Обеспечение эффективности производства на этапе формирования рыночных отношений [Текст] / И. П. Булеев // Автореф. дисс. ... докт. экон. Наук. – 1993. – 42 с.
17. Захаров, Н. Мотивация «против» стимулирования [Текст] / Н. Захаров, Н. Куцын // Соц. труд. – 1991. – № 11. – С. 90-97.
18. Болт, Г. Дж. Практическое руководство по управлению сбытом [Текст] : [пер. с англ.]. – М.: Экономика, 1991. – 413 с.
19. Дмитренко, Г. А. Мотивация и оценка персонала [Текст] : учеб. пособие / Г. А. Дмитренко, Е. А. Шарпагова, Т. М. Максименко. – К.: МАУП, 2002. – 372 с.
20. Тимошенко, И. И. Мотивация личности и человеческих ресурсов [Текст] / И. И. Тимошенко, А. С. Соснин. – К.: Изд-во Европ. Ун-та, 2002. – 453 с.
21. Колот, А. М. Мотивация персонала [Текст] : учебник / А. М. Колот. – К.: КНЕУ, 2002. – 354 с.
22. Карташова, Л. В. Организационное поведение [Текст] : учебник / Л. В. Карташова, Т. В. Николаева, Т. О. Соломанидина. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 276 с.
23. Маркс, К. Диалектика природы [Текст] – Соч. – 2-е изд. – Т. 20 / К. Маркс, Ф. Энгельс. – 579 с.
24. Аристотель. Соч. в 4-х томах [Текст]. – Т. 4 / Аристотель; под общ. ред. И. А. Доватура. – М.: Мысль, 1983. – 345 с.
25. Ткаченко, В. А. Шлях у майбутнє України через значення сьогодення [Текст] / В. А. Ткаченко. – К.-Д.: МА БЕТ ПРВ, 2001.
26. Ожегов, С. И. Толковый словарь русского языка [Текст] / С. И. Ожегов, Н. Ю. Шведова / РАН. Ин-т рус. яз.; Российский фонд культуры. – М., 1992. – 679 с.
27. Уткин, Э. А. Мотивационный менеджмент [Текст] / Э. А. Уткин. – М.: Ассоциация авторов и издателей «ТАНДЕМ», Изд-во ЭКМОС, 1999. – 368 с.
28. Кузнецова, Н. П. Экономический рост в историческом контексте [Текст] / Н. П. Кузнецова // Вести. С.-Петербург. ун-та. Сер. 5. Экон. – 1992. – Вып. 1. – С. 35.

Надійшла до редколегії 25.12.2008.

А. В. ГРЕЧКО (НТУУ «КПІ», Київ)

## АЛЬТЕРНАТИВНІ МОДЕЛІ РЕФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗНИЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ

В даній статті представлено поняття механізму управління підприємствами залізничного транспорту, на основі якого систематизовано основні моделі реформування залізничного транспорту України.

В даній статті пропонується поняття механізму управління підприємствами залізничного транспорту, на основі якого систематизовано основні моделі реформування залізничного транспорту України.

In the paper a definition of management mechanism of railway transport enterprises is suggested. On the basis of this definition the basic models of reforming the railway transport of Ukraine are systemized.

### Вступ

Президент Європейської Асоціації залізничників, д-р Ж.-П. Естиваль зробив аналіз і виділив три види структурних моделей реформування залізничного транспорту, які прийняті серед країн-кандидатів у члени ЄС [1].

**Модель розділення** (інституційне розділення операторів інфраструктури і підприємств, що здійснюють залізничні перевезення). Піонером такої моделі є Швеція. Кожну сферу діяльності там здійснює самостійна юридична особа з відокремленим балансом, звітністю і відповідальністю за результати діяльності. Цю модель з відповідною національною адаптацією використано в скандинавських країнах, Великій Британії, Іспанії, Португалії, Франції та Голландії.

**Інтеграційна модель.** Сфери діяльності (крім управління інфраструктурою та надання перевізних послуг) є незалежними одна від одної з позиції управління і мають окремі рахунки та окремий баланс. Але відповідні організаційні структури не є самостійними юридичними особами. Інтегроване підприємство в цьому випадку є єдиною юридичною особою. На сьогодні ця модель працює в Бельгії, Росії та Люксембурзі. До 1997 р. вона діяла у Франції. Для унеможливлення будь-якої дискримінації цим підприємствам необхідно розподіляти надану перевізну оплату та збори за використання залізничної лінії відповідно до Директиви 2001/12/ЄС.

**Холдингова модель** (трансформація в холдинг) є результатом поєднання двох перших моделей. У цьому випадку юридично незалежні суб'єкти діяльності мають свободу дій, але їхні стратегії визначаються організаційною структурою управління холдингу. Цей шлях прой-

шла Німеччина, а згодом сюди приєдналися Італія, Австрія та Греція.

Підготовка до структурної реформи в Україні відбувається вже кілька років. В кінці 2006 р. була розроблена та затверджена Урядом концепція державної програми реформування залізничного транспорту [2]. У 2007 р. було підготовлено та затверджено деякими міністерствами перший проект «Державної програми реформування залізничного транспорту» [3], яким передбачалося створення Державної акціонерної компанії (ДАК) «Українські залізниці» – єдиного суб'єкта господарювання. Але у 2008 р. Укрзалізницею разом з Міністерством транспорту та зв'язку було розроблено новий проект реформування залізничного транспорту України [4], в якому на перших етапах реформування зберігалась державна форма власності на майно залізниць, яке на наступних етапах поступово корпоратизувалося і приватизувалося. В іншому дуже принципових різниць між обома проектами не було.

### Постановка задачі

Основна мета цієї статті – визначення альтернативних моделей реформування залізничного транспорту та систематизація їх за наслідками.

### Результати

Для проведення досліджень моделей реформування доцільно визначитися з поняттям механізм управління залізничною галуззю. В економічній енциклопедії [5] таке поняття відсутнє. На наш погляд, можна запропонувати таке визначення механізму управління підприємствами залізничного транспорту – це система заходів (програмних, правових, адмініст-

*ративних, технічних) та сукупність підприємств залізничного транспорту, побудованих за певною ієрархією, залежно від їх функцій та взаємодії для ефективного виконання своєї місії та цілей в умовах сучасного ринку.*

З представленої термінології можна заключити, що первинними для побудови організаційної структури управління залізничним транспортом України є функції, які уряд передасть новоутвореній структурі та її форма власності. Однак проста зміна форми власності на майно з державної на 100 % акціонерну хоча й дає деякі переваги для Укрзалізниці (самостійне встановлення тарифів на перевезення та підвищення величини амортизаційних відрахувань у собівартості послуг залежно від реальної ціни основних засобів), але вирішити проблему залучення додаткового капіталу від зовнішніх інвесторів не дозволяє. Крім того, слід врахувати, що кошти від приватизації майна поступають в бюджет держави і можуть бути залучені Укрзалізницею лише як інвестиції уряду, що в сучасних умовах не є реальним.

**Головною метою реформування залізничного транспорту є створення дієздатної організаційної структури управління, яка забезпечить необхідні умови для залучення фінансових ресурсів та утворення ефективної інвестиційно-інноваційної моделі розвитку галузі.** Дієздатність механізму сучасного управління залізничним транспортом залежить від:

- 1) оптимального розподілу функцій між урядом та новоутвореними структурами;
- 2) економічної доцільності виділення деяких видів перевезень в окремі акціонерні товариства;
- 3) вибору оптимального виду бюрократичної організаційної структури управління;
- 2) кількості рівнів управління в організаційній структурі та величини ланцюга команд;
- 3) мотивації до праці робітників структурних підрозділів та ін.

Автор пропонує п'ять варіантів моделей реформування залізничного транспорту, три з яких подано у двох варіантах.

На рис. 1, а подано модель Державного підприємства «Українські залізниці», яка відрізняється від сучасної організаційної структури Укрзалізниці наявністю одного суб'єкта господарювання – юридичної особи. Шість залізниць як юридичні особи ліквідуються, і поступово на третьому етапі реформування утворюються департаменти за видами перевезень з вертикаль-

но-інтегрованою структурою управління за функціональним принципом.

На рис. 1, б подано модель Державного підприємства, яка відрізняється від попередньої виділенням на третьому етапі реформування окремих акціонерних компаній за видами перевезень. При цьому у складі Державного підприємства «Українські залізниці» залишається інфраструктура залізниць та частка перевезень за видами сполучень, яка пов'язана з державними замовленнями.

Модель Державної акціонерної компанії «Українські залізниці» представлена на рис. 2, а. Замість державної структури утворюється акціонерна компанія, 100 % акцій якої належать державі. На цьому суттєве реформування залізничного транспорту завершується, а сфери пасажирських та вантажних перевезень залишаються без змін. Фактично відбувається тільки розподіл державних і господарських функцій, а залізниці об'єднуються і стають єдиним суб'єктом господарювання – юридичною особою. Одночасно відбувається розподіл доходів та витрат на вантажні й пасажирські перевезення.

На рис. 2, б подано варіант Державної акціонерної компанії «Українські залізниці» з виділенням частки вантажних та пасажирських перевезень в акціонерні товариства з метою створення конкурентного середовища на ринку транспортних послуг.

Ці дві моделі (рис. 1, 2) є проміжними на шляху реформування українських залізниць та прямування їх у єдиний європейський транспортний простір. При впровадженні цих моделей частково вирішуються задачі, які були поставлені Європейським Союзом перед залізницями Європи.

На рис. 3, а представлено організаційну структуру Державної акціонерної компанії «Українські залізниці» за інтеграційною моделлю. Для її побудови існуюча структура Укрзалізниці перетворюється в акціонерну компанію у вигляді відкритого акціонерного товариства, що об'єднує майно усіх підприємств залізничного транспорту. При цьому державна акціонерна компанія країни стає правонаступником державних залізниць, що входять до її складу як філії (дочірні підприємства) без права утворення юридичної особи.

На рис. 3, б представлено організаційну структуру Державної акціонерної компанії «Українські залізниці» за інтеграційною моделлю з виділенням частки залізничних перевезень у незалежні акціонерні товариства. При цьому

у складі Державної акціонерної компанії сполучень, яка пов'язана з державними замовленнями. «Українські залізниці» залишається інфраструктура залізниць та частка перевезень за видами

а) без виділення частки перевезень в акціонерні товариства



б) з виділенням частки перевезень в акціонерні товариства



Рис. 1. Схема організаційної структури Державного підприємства «Українські залізниці»

а) без виділення частки перевезень в акціонерні товариства



б) з виділенням частки перевезень в акціонерні товариства



Рис. 2. Схема організаційної структури Державного акціонерного товариства «Українські залізниці»

а) без виділення частки перевезень в акціонерні товариства



б) з виділенням частки перевезень в акціонерні товариства



Рис. 3. Організаційна структура Державної акціонерної компанії «Українські залізниці» за інтеграційною моделлю

Замість державної структури утворюється акціонерна холдингова компанія (рис. 4), що управляє акціями окремих акціонерних компаній, які організуються на базі окремих підприємств – юридичних осіб, до якої входять компанії з перевезення вантажів і пасажирів та компанія інфраструктури. Цей процес відбувається поетапно. Замість державної структури спочатку утворюється державна акціонерна компанія, яка потім, через кілька років, трансформується у холдингову компанію.

На рис. 5 представлена організаційна структура управління за моделлю, яка вважається найрадикальнішою. Замість державної структу-

ри утворюються окремі підприємства за видами перевезень та діяльності, кожне з яких має бути юридичною особою з державною формою власності. Потім ці державні підприємства повинні акціонуватися й перетворитися в акціонерні товариства зі 100%-ою державною власністю. Частка державної власності в них поступово буде зменшуватися і може досягнути нуля. Для підприємств інфраструктури частка державної власності не може бути меншою ніж 50 % + 1 акція за вимогами Директиви ЄС 91/440. Залишати новоутворені структури в державній власності має сенс тільки на початку структурної реформи.



Рис. 4. Організаційна структура Холдингової компанії «Українські залізниці»



Рис. 5. Організаційна структура управління залізничним транспортом за моделлю розділення

### Висновки

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Для теоретичного обґрунтування побудови організаційної структури управління залізничною галуззю України запропоновано поняття сучасного механізму управління підприємствами залізничного транспорту та визначені основні фактори впливу на нього.

2. Запропоновано та систематизовано п'ять альтернативних моделей управління залізничним транспортом в умовах сучасного ринку.

2. Концепція державної програми реформування залізничного транспорту [Текст] // Магістраль. – № 1 (1179). – 10-16 січня 2007 р.
3. Державна програма реформування залізничного транспорту (Проект) [Текст], 2007. – 22 с.
4. Інформаційний матеріал щодо проекту Програми реформування залізничного транспорту України [Текст]. – К.: МТЗУ, 2008. – 49 с.
5. Економічна енциклопедія [Текст] : у 3-х т. / за ред. С. В. Мочерного та ін. – К.: Видавничий центр «Академія», 2002.

Надійшла до редколегії 22.12.2008.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Естіваль, Ж.-П. Організаційні моделі залізниць: національні критерії побудови [Текст] / Ж.-П. Естіваль // Залізн. трансп. України. – 2005. – № 1. – С. 68-71.

## МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ ПАРКАМИ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

В даній роботі подана методика розрахунку вагонних парків з урахуванням їх списання, оновлення, відволікання для господарчих потреб та впровадження структурної реформи.

В настоящей работе приведена методика расчета вагонных парков с учетом их списания, обновления, отвлечения на хозяйственные нужды и внедрения структурной реформы.

In the article the technique of calculation of wagon stocks taking into account their writing off, renovating, taking off for economic needs and implementing the structural reform is presented.

## Вступ

Через недостатню кількість внутрішніх та повну відсутність зовнішніх інвестицій на залізницях прогресує тенденція до збільшення фізичного зносу й морального старіння основних фондів. Загальний ступінь їх зносу становить близько 70 %, у тому числі активної частини – від 80 до 90 %. Парк пасажирських вагонів за останні 16 років зменшився на 3000 вагонів і не дозволяє забезпечити потреби населення в перевезеннях.

## Постановка задачі

Для вирішення цієї задачі необхідно розробити методику управління парком пасажирських вагонів за рахунок подовження їх терміну служби, ефективного використання, впровадження структурної реформи та організаційних заходів.

## Результати

Дефіцит пасажирських вагонів утворюється, коли розрахункова кількість рухомого складу на перспективу менша за наявний робочий парк. Ці розрахунки виконуються на кілька років вперед для своєчасної ліквідації нестачі пасажирських вагонів за рахунок їх ефективного використання. Зважаючи на це, можна записати:

$$ДВ_{\theta}^i = NP_{\theta\text{роб}}^i - NH_{\theta\text{роб}}^i, \quad (1)$$

де:

$ДВ_{\theta}^i$  – дефіцит пасажирських вагонів  $\theta$ -го типу в робочому парку в  $i$ -му році;

$NP_{\theta\text{роб}}^i$  – потреба в робочому парку пасажирських вагонів  $\theta$ -го типу в  $i$ -му році;

$NH_{\theta\text{роб}}^i$  – наявна кількість пасажирських вагонів  $\theta$ -го типу в робочому парку в  $i$ -му році.

У свою чергу величина  $NH_{\theta\text{роб}}^i$  розраховується за формулою

$$NH_{\theta\text{роб}}^i = N_{\theta\text{інв}}^{i-1} - (N_{\theta 41}^i + N_{\theta 1д}^i + N_{\theta 2д}^i + N_{\theta\text{тз}}^i + N_{\theta\text{гп}}^i) + N_{\theta\text{інв}}^i, \quad (2)$$

а інвентарна кількість пасажирських вагонів  $\theta$ -го типу в  $i$ -му році  $N_{\theta\text{інв}}^i$  розраховується за формулою

$$N_{\theta\text{інв}}^i = N_{\theta\text{інв}}^{i-1} - (N_{\theta 41}^i + N_{\theta 1д}^i + N_{\theta 2д}^i) + N_{\theta\text{інв}}^i, \quad (3)$$

де:

$N_{\theta\text{інв}}^i$  – розрахункова інвентарна кількість пасажирських вагонів  $\theta$ -го типу в  $i$ -му році;

$N_{\theta\text{інв}}^{i-1}$  – розрахункова інвентарна кількість пасажирських вагонів  $\theta$ -го типу в  $(i-1)$ -му році;

$N_{\theta 41}^i$  – вагони  $\theta$ -го типу, які підлягають виключенню з інвентарного парку в  $i$ -му році після 41 року служби;

$N_{\theta 1д}^i$  – вагони  $\theta$ -го типу, які підлягають виключенню з інвентарного парку в  $i$ -му році після першого технічного діагностування;

$N_{\theta 2д}^i$  – вагони  $\theta$ -го типу, які підлягають виключенню з інвентарного парку в  $i$ -му році після повторного технічного діагностування;

$N_{\theta\text{тз}}^i$  – технологічний запас пасажирських вагонів  $\theta$ -го типу в  $i$ -му році;

$N_{\theta\text{гп}}^i$  – вагони  $\theta$ -го типу, які відволікаються на господарчі потреби в  $i$ -му році;

$N_{\theta_{нв}}^i$  – план придбання Укрзалізницею нових вагонів  $\theta$ -го типу в  $i$ -му році;  
 $i$  – індекс розрахункового року.

Якщо після розрахунків за формулою (1) залишається непогашений дефіцит пасажирських вагонів, його слід ліквідувати за допомогою заходів ефективного використання пасажирських вагонів:

- впровадження рухомого складу нового покоління з підвищеною пасажировмісністю.
- удосконалення методів експлуатації пасажирських поїздів;
- подовження терміну служби пасажирських вагонів;
- підвищення швидкості руху пасажирських поїздів;
- об'єднання парків залізниць України;
- гнучкого планування ремонтів вагонів протягом року.

$$ДВЗ_{\theta}^i = ДВ_{\theta}^i - (ЕВ_{\theta_{пм}}^i + ЕВ_{\theta_{еп}}^i + ЕВ_{\theta_{пр}}^i + ЕВ_{\theta_{пш}}^i + N_{\theta_{ко}}^i + ЕВ_{\theta_{оп}}^i + ЕВ_{\theta_{гп}}^i), \quad (4)$$

де:

$ДВЗ_{\theta}^i$  – дефіцит вагонів  $\theta$ -го типу в  $i$ -му році після впровадження заходів ефективного використання;

$ЕВ_{\theta_{пм}}^i$  – ефективне використання вагонів  $\theta$ -го типу в  $i$ -му році за рахунок підвищення їх пасажировмісності;

$ЕВ_{\theta_{еп}}^i$  – ефективне використання вагонів  $\theta$ -го типу в  $i$ -му році за рахунок впровадження нових методів експлуатації пасажирських поїздів;

$ЕВ_{\theta_{пр}}^i$  – ефективне використання вагонів  $\theta$ -го типу в  $i$ -му році за рахунок подовження їм терміну служби та обґрунтованої зміни міжремонтних циклів після 28 років експлуатації;

$ЕВ_{\theta_{пш}}^i$  – ефективне використання вагонів  $\theta$ -го типу в  $i$ -му році за рахунок підвищення швидкості руху пасажирських поїздів;

$N_{\theta_{ко}}^i$  – план придбання компаніями-операторами нових вагонів  $\theta$ -го типу в  $i$ -му році;

$ЕВ_{\theta_{оп}}^i; ЕВ_{\theta_{гп}}^i$  – ефективне використання вагонів  $\theta$ -го типу в  $i$ -му році за рахунок об'єднання парків залізниць та гнучкого планування ремонтів протягом року, відповідно.

Для вирішення проблеми ефективного використання пасажирських вагонів у сучасних умовах необхідно визначити їх потребу на прогностичні 2009 – 2015 рр. Такі розрахунки були виконані Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна в науково-дослідних роботах [1, 2] за участю автора. Зміна потреби у вагонах у майбутньому прийнята пропорційно до зміни пасажирообороту. Це базується на припущенні, що якісні показники роботи рухомого складу в майбутньому зберігаються. Потреба в робочому парку пасажирських вагонів визначена в табл. 1.

1. Величина технологічного запасу вагонів дуже велика й пояснюється недосконалою технологією ремонтного та перевізного процесу, які потребують суттєвої зміни.

2. Наявний робочий парк вагонів зростає повільно ідентично інвентарному парку й у жодному році не перевищує розрахункову потребу. У результаті цього виникає щорічний дефіцит рухомого складу.

На ліквідацію дефіциту пасажирських вагонів потрібні кошти, частина з яких утворюється за рахунок переваг структурної реформи, друга частина – за рахунок оптимізації використання пасажирського рухомого складу.

При розрахунку дефіциту пасажирських вагонів на прогностичні роки за формулою (4) до уваги бралися звітні дані Головного пасажирського управління за 2007 р., статистичні дані технічного діагностування, списання вагонів та ліміт грошових коштів Укрзалізниці на 2008 – 2015 рр. на придбання нових вагонів пасажирських вагонів з урахуванням зростання їх вартості, які наведені в табл. 2.

Одним з основних джерел підвищення конкурентоспроможності пасажирських перевезень у дальньому сполученні є ліквідація їх збитковості. Для цього планується до 2015 р. [3, с. 4-8]:

- підвищити обсяги пасажирських перевезень на 16 %;
- підняти рівень тарифів на вантажні перевезення;
- підвищити продуктивність праці в 1,6 рази, при цьому відповідні експлуатаційні витрати знизяться на 15 %. Потім поступово підняти продуктивність праці у 2,4 рази та відповідно знизити експлуатаційні витрати.

Потрібний парк пасажирських вагонів [2, етап 1, с. 76-77]

| Найменування   | Значення величини на розрахункові роки, вагон |          |          |          |          |          |          |
|--|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|  | 2009  | 2010     | 2011     | 2012     | 2013     | 2014     | 2015     |
| Пасажирооборот, млн пас.-км  | 40 846,5                                      | 41 848,7 | 42 458,6 | 42 817,7 | 43 019,3 | 43 155,5 | 43 226,6 |
| Базисні індекси зростання пасажирообороту                          | 1,083   | 1,109    | 1,125    | 1,135    | 1,141    | 1,144    | 1,146    |
| Потрібний парк вагонів у дальньому сполученні, од.                 | 6 708   | 6 871    | 6 971    | 7 032    | 7 070    | 7 088    | 7 098    |
| Потрібний парк вагонів у приміському сполученні од. (за даними УЗ) | 397   | 386      | 375      | 364      | 332      | 296      | 233      |
| Резерв Укрзалізниці (за даними УЗ)                                 | 235   | 237      | 237      | 235      | 232      | 229      | 225      |
| Разом потрібний робочий парк пасажирських вагонів з резервом УЗ    | 7 340   | 7 494    | 7 583    | 7 631    | 7 634    | 7 613    | 7 556    |

У 2008 р. Укрзалізниця вдруге проведе переоцінку основних засобів. Це суттєво позначиться на амортизаційних відрахуваннях, величина яких у 2015 р. досягне 2960 млрд грн і дасть змогу Департаменту з перевезення пасажирів у дальньому сполученні закупляти більше пасажирських вагонів. Збільшаться обсяги додатково отриманих компенсацій за перевезення пільгової категорії громадян і з врахуванням підвищення мобільності населення у 2015 р. досягнуть величини 1200 млн грн за рахунок підвищення фінансової дисципліни при розрахунках з громадськими організаціями, урядовими структурами й місцевими організаціями. Для цілей кредитування планувалося залучити за цей період вітчизняні кредитні ресурси у обсязі 1,73 млрд грн та отримати кредит ЄБРР для закупівлі пасажирських вагонів. Залучаються кошти також інших інвесторів.

У 2009 та 2010 роках планується придбати 550 вагонів, що будуть закуплені за допомогою фінансового лізингу. Іншим ефективним джерелом інвестування в оновлення основних засобів пасажирського господарства є інвестиції комерційних структур у придбання пасажирського рухомого складу Укрзалізниці у приватну власність. За даними Укрзалізниці [3, с. 8-9], в 2009 – 2015 рр. планується залучення 3 240 млн грн приватних інвестицій, у тому числі у:

2009 р. – 144 млн грн;

2010 р. – 288 млн грн;

2011 р. – 432 млн грн;

2012 р. – 432 млн грн;

2013 р. – 576 млн грн;

2014 р. – 648 млн грн;

2015 р. – 720 млн грн.

Спільна діяльність ДАК «УЗ» з іншими організаціями набуде нового сенсу, а її обсяги зростуть у десятки разів і досягнуть величини 175 млн грн. Це відбудеться за рахунок закупівлі нового рухомого складу приватними організаціями та спільного використання з ДП «УЗ» на прибуткових напрямках пасажирських перевезень.

Вищенаведені прогнози розрахунки виконані на основі потреб в інвестиційних ресурсах та джерел фінансування розвитку залізничного транспорту на 2007 – 2015 рр. (дод. 1 до [4]) з корегуванням деяких показників автором для розвитку пасажирського господарства у дальньому сполученні на 2009 – 2015 рр.

Впровадження структурної реформи на залізничному транспорті дозволить пасажирському господарству збільшити існуючі та отримати додатково нові джерела інвестицій (виділено жирним) для закупівлі рухомого складу нового покоління з покращеними техніко-економічними характеристиками. Ці заходи відповідно вплинуть на ефективність пасажирських перевезень, збільшать їх обсяги, знизять збитковість та підвищать конкурентоспроможність.

## Розрахунок прогнозної кількості пасажирських вагонів до реформування

| Найменування  | Значення величин на розрахункові роки, вагон |        |        |        |        |        |        | Разом |
|---|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
|   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   |       |
| Інвентарний парк пасажирських вагонів                           | 7 583  | 7 612  | 7 644  | 7 655  | 7 683  | 7 656  | 7 686  | —     |
| Вичерпано термін служби   | 329  | 359    | 386    | 333    | 385    | 342    | 339    | 2 473 |
| Було подовжено термін служби за рахунок КРП                     | 1 224  | 1 259  | 1 295  | 1 330  | 1 336  | 1 289  | 1 248  | —     |
| План КРП на поточний рік  | 115  | 126    | 135    | 117    | 135    | 120    | 119    | 867   |
| Підлягають виключенню з інвентарного парку після 41 року служби | 80   | 90     | 100    | 110    | 182    | 161    | 128    | 851   |
| Підлягають виключенню за результатами діагностування            | 66   | 72     | 77     | 67     | 77     | 68     | 70     | 497   |
| Підлягають повторному технічному діагностуванню                 | 289  | 215    | 355    | 366    | 377    | 388    | 400    | 2 390 |
| Підлягають виключенню після повторного діагностування           | 75   | 56     | 92     | 95     | 98     | 101    | 104    | 621   |
| Технологічний запас   | 830  | 830    | 830    | 830    | 830    | 830    | 830    | —     |
| Відволікання вагонів на господарські потреби                    | 120  | 120    | 120    | 120    | 120    | 120    | 120    | —     |
| Найвний робочий парк станом на 31.12.                           | 6 412  | 6 444  | 6 425  | 6 433  | 6 376  | 6 376  | 6 434  | —     |
| Потреба у робочому парку вагонів (табл 3.1)                     | 7 340  | 7 494  | 7 583  | 7 631  | 7 634  | 7 613  | 7 556  | —     |
| Надлишок або дефіцит вагонів                                    | -928   | -1 050 | -1 158 | -1 198 | -1 258 | -1 237 | -1 122 | —     |
| План придбання вагонів Укрзалізницею                            | 250  | 250    | 280    | 300    | 330    | 360    | 400    | 2 170 |
| Надлишок або дефіцит вагонів після поповнення                   | -678   | -800   | -878   | -898   | -928   | -877   | -722   | —     |

## Висновки

1. Впровадження структурної реформи на залізничному транспорті дозволить пасажирському господарству збільшити існуючі та отримати додатково нові джерела інвестицій для закупівлі рухомого складу з покращеними техніко-економічними характеристиками. Ці заходи відповідно вплинуть на ефективність паса-

жирських перевезень, знизять їх збитковість та підвищать конкурентоспроможність.

2. Вперше розроблені теоретико-методичні основи побудови механізму управління парком пасажирським вагонів, якій враховує його формування за рахунок власних, запозичених коштів, вагонів чужої власності та оптимального використання існуючого рухомого складу.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Розробка заходів щодо зменшення дефіциту пасажирських вагонів за рахунок оптимізації КВР, формування та організації руху поїздів [Текст] : звіт про НДР / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – № ДР 0107U010378.
2. Розробка концепції пасажирського руху на залізницях України в 2008 – 2015 роках [Текст] : звіт про НДР / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – № ДР 0107U010380.
3. Корнієнко, В. В. Особливості структурної реформи залізничного транспорту України [Текст] / В. В. Корнієнко, В. В. Козак, Г. М. Легенький // Залізн. трансп. України. – 2007. – № 5. – С. 3-9.
4. Державна програма реформування залізничного транспорту (Проект) [Текст], 2007. – 22 с.

Надійшла до редколегії 10.11.2008.

В. В. МЯМЛИН (ДИИТ)

## СУЩЕСТВУЮЩАЯ ПРИБЫЛЬНО-ФИНАНСОВАЯ МОДЕЛЬ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ – ОСНОВНАЯ ПРИЧИНА КРИЗИСА МИРОВОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И КРАХА ФИНАНСОВОЙ СИСТЕМЫ

Розкрито суперечність існуючої прибутково-фінансової моделі економіки. Показано непрацездатність такої моделі. Запропоновано новий розділ економіки, що вивчає її взаємозв'язки з іншими світовими процесами та явищами – мегаекономіка. Запропоновано концепцію безприбуткової економіки. Запропоновано основні рекомендації з виходу країни із кризи.

Вскрыты противоречия существующей прибыльно-финансовой модели экономики. Показана неработоспособность такой модели. Предложен новый раздел экономики, изучающий её взаимосвязь с другими мировыми процессами и явлениями – мегаэкономика. Предложена концепция бесприбыльной экономики. Даны основные рекомендации по выходу страны из кризиса.

Inconsistencies of existing profit-financial model of the economy are exposed. The inoperability of such a model is demonstrated. A new field of economics (called as «megaeconomics»), aimed at study of the economy with other universal processes and phenomena, is suggested. The concept of non-profitable economy is proposed. General recommendations on overcoming a crisis in the country are given.

В настоящее время мировая система хозяйствования столкнулась с той ситуацией, с которой обязательно должна была столкнуться при принятой модели экономики.

Обычно причины кризиса ищут в каких-то внешних факторах, а на самом деле эти причины кроются в самой модели хозяйствования [1].

Кризис – это противоречие между элементами системы (или между подсистемами). Чем выше уровень системности, тем у системы меньше противоречий, тем она работает стабильнее [2].

В настоящее время во всех странах мира принята прибыльно-финансовая модель экономики. Современная экономическая наука зиждется на ключевом понятии – «прибыль». Все экономические теории основаны только на том, как получить прибыль [3 – 8].

Надо отметить, что в мире произошло очень сильное разделение наук. Вместо единой, целостной науке о Природе и Обществе появилось великое множество отдельных «изолированных» наук. Не обошло это и экономику.

В системе экономического образования всех стран имеются различные пособия по политической экономии и по экономике отдельных отраслей. Автор работы [9] чётко подметил, что большинство экономических светил работают либо сами на себя и их работы являются чистым умствованием, либо обслуживают интере-

сы определённых групп в целях одурачивания общества.

Как правило, экономические явления исследуются на различных уровнях и с различных точек зрения. Можно исследовать экономику на уровне предприятия, можно на уровне отрасли, можно на уровне отдельного государства, а можно и на уровне мирового сообщества. Поэтому существует микроэкономика, макроэкономика, интерэкономика, политэкономия, плановая экономика, рыночная экономика, экономическая кибернетика и т.п.

Все эти экономические теории объединяет то, что они не работают. А не работают они потому, что сориентированы на ложную парадигму, связанную с обязательным извлечением прибыли. То, что связано в настоящее время с экономикой, вращается только в одной плоскости – получение прибыли. Поэтому все эти экономические теории являются антиприродными. Кроме того, они все вместе сплетены в такой узел, который невозможно развязать, его можно только разрубить.

Существующая экономическая ситуация в мире напоминает картину, когда человек всю жизнь карабкался вверх по лестнице, а потом вдруг выяснилось, что она была приставлена не к тому зданию.

Т.к. и при социализме, и при капитализме понятие «прибыль» существует (она только по-разному распределяется), то можно констати-

ровать, что обе эти системы являются неработоспособными.

Термин «политэкономия» ввёл в своё время Монкретьен, а Карл Маркс закрепил этот термин. Маркс делал акцент на классовом подходе, изучал производственные отношения с этой точки зрения. Длительный период времени экономическая теория развивалась как политическая экономия. Заметим, что производственные отношения изучать необходимо, но не с классовой точки зрения, а с точки зрения уровня сознания людей.

Английский философ и экономист Адам Смит считал, что стоимость каждого товара определяется количеством затраченного труда на производство этого товара [3]. Так, например, кусок обычного мрамора и статуя, изготовленная из этого куска, имеют различную стоимость. Чем больше затрачено труда, тем больше и стоимость. Таким образом, Адам Смит ввёл понятие трудовой теории стоимости. Но как быть, если, например, при последнем ударе молотка скульптора уже готовая статуя разваливается пополам. Или токарь после продолжительного вытачивания сложной детали вдруг допускает ошибку, и деталь превращается в брак. А как быть, если крестьяне пахали, сеяли, а урожай из-за непогоды пропал. Труд был затрачен, а стоимости получается что нет.

Трудовую теорию стоимости подхватил Карл Маркс и трансформировал её в закон прибавочной стоимости. Смысл этого «закона» сводится к тому, что капитал в производственном обращении с использованием наёмного труда приносит новую прибавочную стоимость, а получаемая капиталистами прибыль в действительности принадлежит наёмным работникам. Таким образом, мы видим, что и по Карлу Марксу прибыль есть, но она только неправильно распределяется.

Перед тем, как ответить на вопрос «Существует ли прибавочная стоимость?», попытаемся разобраться, что такое прибавочный продукт? Откуда он берётся, и берётся ли он вообще?

Т.к. любая социально-экономическая система создаётся людьми, то такая система является искусственной. В Природе самый высокий уровень системности, потому что она строится и развивается на основе высших законов мироздания. Любая искусственная система имеет уровень системности значительно ниже, чем его имеет сама Природа [2].

Как известно, из ничего что-то получить нельзя. Человек может оперировать только тем, что создано самой Природой. И вот здесь мы

выпускаем из виду один очень важный научный факт. Сколько бы Человек ни копал, ни сеял, ни сжигал, ни строил, ни перемещал вещества, массу планеты Земля он не сумеет увеличить (уменьшить) даже на 1 миллиграмм. Он даже один-единственный дополнительный атом водорода создать и то не в состоянии. Масса планеты Земля всегда постоянна, и изменяться не может. Это связано с Всемирной гравитацией. Под массой планеты будем понимать общую массу всех на Земле минералов, растений, микроорганизмов, животных и людей. Даже независимо от того, один миллион людей проживает на Земле или более шести миллиардов – масса Земли остаётся неизменной. Общая масса растительности на Земле составляет около  $10^{13}$  тонн, а живых существ –  $10^9$  тонн. Это составляет примерно 0,01 % массы всей биосферы с её твёрдой, жидкой и газообразной средой обитания. Согласно [10], биомасса (живая материя) всех живых организмов, находящихся на Земле, не изменяется и удерживается на постоянном уровне. Хотя и происходит непрерывное «движение» биомассы, но общая масса её не увеличивается и не уменьшается. Поэтому, если где-нибудь начинают массово вырубать, например, леса, то где-то начинает массово размножаться, например, саранча и тому подобное. То же самое можно сказать и о косной (неживой) материи. В Природе всё идёт своим чередом. Происходит постоянный кругооборот веществ, никаких отходов в Природе не образуется, конфликтов не возникает. Технологии, которые создаёт Природа, являются безотходными. Конечные результаты одного процесса служат сырьём для следующего процесса и так далее. Всё гармонично развивается. Никакого «прибавочного» вещества, кроме того, что уже есть, быть не может. Если никакого прибавочного продукта быть не может, то не должно быть и никакой прибавочной стоимости.

Из одного продукта можно получить другой продукт, но не добавочный. То, что мы понимаем под «прибылью», это просто промежуточный результат целенаправленного процесса. А под процессом понимается изменение состояния вещества с течением времени. Существуют целиком природные процессы, а есть синергетические процессы, протекающие при участии человека и Природы.

Известно, что заработная плата  $ЗП$  входит составной частью в себестоимость продукции  $С$ . Поэтому можно записать, что

$$ЗП < С.$$

Кроме того, известно, что отпускная цена товара  $C$  всегда больше, чем её себестоимость  $C$ ,

$$C < C.$$

Причём

$$C = C + P,$$

где  $P$  – прибыль. Если

$$ЗП < C, \text{ а } C < C,$$

то, следовательно, и

$$ЗП < C.$$

Таким образом, величина зарплаты  $ЗП$  всегда меньше величины отпускной цены товара  $C$ . Т.е. часть всегда меньше целого. Как же люди, имея на руках только часть, могут за неё купить целое? В этом и заключается основное противоречие существующей прибыльно-финансовой системы.

В качестве иллюстрации к сказанному рассмотрим простой пример. Время начала промышленного производства, имеется владелец фабрики и небольшой фабричный посёлок, в котором проживают наёмные рабочие, которые работают на данной фабрике. Фабрикант производит, например, кухонную утварь (как сейчас принято говорить – товары народного потребления) и работает с использованием прибыльно-финансовой модели экономики. Если фабрикант выпустит партию товаров на сумму, например, 10 у.е., а рабочим заплатит за работу, например, 5 у.е. (прибыльно-финансовая модель экономики), то здесь возникает кризисная ситуация. Кухонная утварь предназначена для самих же рабочих (товары народного потребления), а как же рабочие смогут купить утвари на 10 у.е., если им заплатили за работу только 5 у.е.? На 5 у.е. они и смогут купить товаров. Сколько рабочим заплатили, столько с них можно и взять. Поэтому фабрикант начинает искать новые рынки сбыта своих товаров. Если он эти рынки находит, то прибыльно-финансовая модель кое-как ещё работает.

А теперь рассмотрим следующий пример, при котором новые рынки сбыта уже закончились. Будем совокупность всех предприятий в мире условно рассматривать как одно громадное международное предприятие, которое производит всю мировую продукцию, а всю совокупность людей – как работников этого предприятия. И вот такое предприятие выпустило мирового валового продукта на сумму, например,  $10 \times 10^{15}$  у.е., а рабочим заплатило меньше, например, только  $5 \times 10^{15}$  у.е. Получается, что

мы сами же хотим свою продукцию продать себе и ещё хотим при этом заработать, т.е. получить прибыль. Естественно, при таком соотношении стоимости товаров и зарплаты все товары реализованы быть не могут.

Обозначим через  $x_i$  стоимость  $i$ -го наименования товара, а через  $y_i$  величину заработной платы, входящей в стоимость  $i$ -го товара. При этом  $x_i > y_i$ .

Поэтому

$$\sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n y_i = Z,$$

где  $Z$  – разница между величиной общей стоимости всех товаров и величиной заработной платы, входящей в общую стоимость всех товаров.

Для возможности дополнить людям недостающую сумму денег  $Z$  для покупки товаров и была внедрена кредитно-банковская система.

Эта система является антиприродной, антинаучной и существует только благодаря очень сильной пропаганде, внедряющей в сознание людей определённые штампы о том, что реальное богатство находится в банках, которые являются идеальным местом для хранения денег, и могут взимать за это проценты.

Таким образом, все хотят получить прибыль, а её всем получить просто невозможно, даже теоретически. Поэтому происходит конфликт, который перерастает в развал всей системы.

В данной системе возникает противоречие между заработной платой и ценой товара. Противоречие это зарождается ещё в ментальной области человеческой природы. Оно возникает между возможностями человека что-то сделать и желанием что-то за это сделанное получить. Второе, как правило, превосходит первое. Поэтому это противоречие замаскировано под «естественное» желание человека «заработать». Но не просто получить деньги за свой труд, а получить больше, чем потратил. Это основано на ложной психологической установке большинства людей – получить что-то сверх затраченных усилий, так сказать, в подарок. Люди часто выдают желаемое за действительное.

Каждый человек определяет свою «прибыль» по-своему. Людям свойственно завышать свои заслуги. И поэтому, формируя отпускные цены, они завывают стоимость товара как эквивалента своего труда и, таким образом, нарушают закон сохранения энергии.

Всю существующую прибыльно-финансовую систему можно разделить на две подсистемы

темы. К первой подсистеме относится действительно реальная экономика, которая создаёт различные материальные ценности для общества. Эта подсистема является основной и создана для реализации главной цели хозяйствования – производства необходимых материальных благ. Ко второй составляющей относится кредитно-финансовая подсистема, которая является вспомогательной и представляет собой лишь средство (одно из средств). В настоящее время эти подсистемы очень сильно переплетены между собой. Причём, вторая подсистема, вместо того, чтобы просто обслуживать первую (быть посредником в эквивалентном обмене товаров), была сориентирована на абсолютно абсурдную идею – торговлю финансами, т.е. продажу денег за ещё большие деньги. При таком подходе, естественно, появляется виртуальная прибыль (дополнительная цветная бумага). Но, чтобы эта финансовая бессмыслица не бросалась в глаза, такая же «прибыльная» идея была подброшена и реальной экономике: «Всё что-то стоит, всё продаётся и покупается, везде есть прибыль, все работают ради прибыли». Товаром сделали деньги, товаром сделали труд, товаром сделали природные ресурсы. По сути это финансовая игра, в которой выигрывает тот, кто устанавливает правила игры, или простыми словами мировая «дурилка», возведённая в ранг всеобщей мировой финансовой науки.

Основной смысл всех существующих финансовых систем, основанных на принципах монетаризма, сводится к следующему правилу: «Покупай дешевле и продавай дороже». Таким образом, делается акцент на обязательном извлечении прибыли. То, что в настоящее время в учебниках называется «экономикой», – по существу не что иное, как монетарная теория [3 – 8]. Вместе с тем, реальное описание существующих процессов с точки зрения этой теории не представляется возможным. Кроме того, громадным недостатком монетаризма является его желание изобразить всевозможные схемы ростовщичества как архиважную часть экономической деятельности и показать их незаменимость для экономики в целом.

Разразившийся недавно мировой экономический кризис не есть каким-нибудь очередным временным кризисом, который скоро закончится – он закончится полным крахом всей мировой прибыльно-финансовой модели экономики. Это связано с тем, что закончились рынки сбыта, а без них эта система, как и любая пирами-

да, основанная на обмане, существовать долго не может.

После натурального хозяйства появились товарообменные отношения. Известно, что товар появился раньше того времени, когда были введены деньги. С появлением денег товарообменные отношения переросли в товарно-денежные отношения. Но на определённом историческом отрезке товарно-денежные отношения незаметно переросли в денежно-товарные (чтобы произвести товар или организовать какое-нибудь дело, вначале нужны деньги). Денежно-товарные отношения существуют и на сегодняшний день. Кроме того, существующая финансовая система породила ещё и денежно-денежные отношения, т.е. «деньги делают деньги». Эта система пытается имитировать созидательный труд Человека и производительные силы Природы, подменяя цели средствами. Эта система является раковой опухолью на теле организма. После того, как погибнет организм, погибнут и сами раковые клетки. Вся беда в том, что мало кто это понимает.

Уже давно настало время (а мировой финансовый кризис ещё больше усугубил ситуацию) изменить фальшивую антинаучную прибыльно-финансовую парадигму, ведущую всё мировое сообщество в тупик, и приступить к разработке новой финансово-экономической модели, основанной на естественных и гармоничных законах Природы. И такой моделью должна стать бесприбыльная эквивалентно-финансовая модель.

Подчеркнём ещё раз, что плановую экономику и рыночную экономику объединяет то, что они обе в чистом виде не работают. При создании новой экономической модели очень важно правильно определить соотношение порядка и хаоса [10]. Поэтому на данном этапе развития необходимо взять ориентиры на смешанную экономику, основанную на следующей пропорции: плановая экономика – 60...65 % (порядок), рыночная экономика – 35...40 % (хаос).

Бесприбыльная эквивалентно-финансовая модель экономики не отрицает постоянного увеличения материальных благ и повышения благосостояния людей. Она создаёт условия для хозяйствования, полностью исключая инфляцию, безработицу, финансовые аферы, получение неадекватных доходов и т.п. Эта модель экономики является гуманной и моральной.

В Природе прибыли нет. Есть постоянный обмен веществом, энергией и информацией.

Существует закон сохранения энергии, закон сохранения мощности, закон сохранения вещества. Ничто никуда не исчезает, и ниоткуда не появляется. А желание получить прибыль и построить систему, работающую по этому принципу, ненаучно, так как основано не на законах Природы, а на надуманных предпочтениях людей. Прибыльно-финансовая модель есть модель антиприродная. Поэтому она и не устраивает Природу, и создаёт тупиковую ситуацию.

Вроде того, как электроны в атоме при переходе с одной орбиты на другую отдают во внешнюю среду энергию, так и товар, при переходе с одной ценовой «орбиты» на другую отдаёт инфляцию во внешнюю среду.

В деньгах заключено много самых разных тайн. Проблемы эти для традиционных экономистов неисчерпаемо сложны. Решать эти проблемы должны не только экономисты, но и инженеры, и системотехники, и философы.

Деньги товаром быть не могут, и поэтому кредиты должны выдаваться беспроцентные. Но, т.к. банки должны на что-то существовать, то за «оформление бумаг» должны получать одноразовое небольшое вознаграждение (эквивалентно канцелярской деятельности).

Исходя из того, что природа человека несовершенна и люди хотят получить что-то незаслуженно (больше, чем сделали) и возникла прибыльно-финансовая модель экономики. Она устраивает и понятна большинству людей, но она не устраивает Природу. Экономика и финансы напрямую связаны с мышлением людей, но они также связаны и с законами Природы.

По отношению к товарам деньги являются эквивалентом товара, выраженного в стоимостном отношении. А по отношению к людям (зарплата людей) деньги являются эквивалентом выполненного труда (произведенных благ). У нас принято человека унижительно называть «трудовым ресурсом», ставя его на один уровень с материальными ресурсами или энергоресурсами. Количество и качество произведенных каждым конкретным человеком благ зависит от уровня его сознания. Чем выше уровень сознания человека, тем больше благ он может произвести.

Экономика не есть сама по себе, она охватывает многие стороны нашей жизни: идеологию, политику, мораль, финансы, духовность, культуру, экологию. Поэтому было бы разумно рассматривать все эти вопросы в комплексе.

Существует мнение, что если предприятия закрываются, становятся «неприбыльными», разоряются, то это нормальное явление. На

рынке всегда кто-то побеждает, а кто-то проигрывает. Но КПД такой системы низкий, много энергии уходит на преодоление «трения». Надо строить такую экономику, чтобы не было проигравших – чтобы выигрывали все.

С позиций существующих экономических теорий и предпосылок, положенных в их основу, не представляется возможным объяснить многие противоречия, возникающие в экономической среде. Это связано с тем, что причины этих противоречий кроются в иных плоскостях знания.

Адам Смит говорил, что Природа никакой стоимости не создаёт – стоимость создаёт только человеческий труд. Но если Природа стоимости не создаёт, то какую стоимость может создавать человек, если он сам является частью Природы. Здесь необходимо уточнить, что человек создаёт разные блага, а эти блага между собой оцениваются с помощью стоимости. Но каждый человек в силу своих моральных и прочих качеств, т.е. уровня сознания, оценивает свой труд (либо его труд оценивают работодатели в силу своих качеств). Поэтому стоимость – категория более нравственная, чем экономическая.

Понятие бесприбыльной экономики существенно даже с точки зрения морали. Она положительно будет влиять на такие человеческие качества, как жадность, стяжательство, сребролюбие и т.п. Люди должны чётко понять, что прибыли нет, а есть только эквивалент потраченного труда. Сколько приложил сил (энергии, времени, интеллекта), столько и получил. Прибыльно-финансовая модель является аморальной, потому что при ней обязательно нужно получить больше, чем вложил. А это противоречит законам Природы.

В прибыльно-финансовой модели экономики прибыль является «узким местом» или «лишней деталью», которую необходимо просто убрать.

В принципе можно создать любую модель экономики. У какой из этих моделей будет уровень системности выше, тем такая система будет работоспособнее. Как известно, самый высокий уровень системности у Природы [2]. Поэтому, чем финансово-экономическая модель будет ближе к законам Природы, тем она будет лучше. Поэтому, если у Природы прибыли нет, то и в экономике её быть не должно.

Когда человек занимается, например, посадкой картофеля в землю, он рассчитывает получить больше того, что посадит (посадил, например, одну картофелину, а хочет получить –

десять). Но ведь картофель из чего-то же состоит. То, что было в земле (в почве) теперь перешло в картофель. В земле его нет, а в картофеле оно есть. Таким образом, получая что-то в одном месте, мы теряем его в другом. Поэтому «прибыль» – понятие условное, внедрённое в обиход неправильными представлениями о кругообороте вещества в Природе.

Если считать, что прибыль – это разница между себестоимостью товара и его продажной стоимостью, то в отдельном частном случае такой факт получения денег и может произойти, но в общем случае (для всех) прибыли нет. Для прибыльно-финансовой экономики денег всегда будет не хватать.

В настоящее время произошла подмена целей средствами. Экономика должна в первую очередь опираться на реальный труд своих граждан, а не на виртуальные финансы.

Учёные разделили экономику на подразделы, но экономика едина. Наравне с микроэкономикой и макроэкономикой, должна существовать ещё и комплексная экономика, которая увязывала бы в единое целое законы производства, человеческого общества и Природы.

Назрело время глубоко переосмыслить происходящее и начать рассматривать вопросы экономики ещё шире – с точки зрения и во взаимосвязи с другими мировыми процессами и явлениями (и не только экономическими). Раздел знания, который комплексно изучал бы эти взаимосвязи, мог бы называться «мегаэкономикой». Мегаэкономика должна рассматривать вопросы хозяйствования с позиций системного подхода с учётом законов Природы, экологии, ноосферы, синергетики, морали и т.п. Таким образом, под мегаэкономикой можно понимать отрасль знания, которая изучает взаимосвязи и взаимозависимости между Природой, Человеком, обществом и производством. Её задача состоит в том, чтобы сгармонизировать между собой отдельные части единого целого.

Новое экономическое мировоззрение должно базироваться на объективных законах развития Природы и общества. Когда люди, наконец, поймут, что гибнут не за металл, а за цветную бумагу, то перейдут к бесприбыльной экономике. Подчеркнём ещё раз, что «бесприбыльная» – это не значит, что бесполезная, неэффективная («мартышкин труд»). Просто должно измениться само отношение людей к экономике, к труду, к деньгам.

Используемые в настоящее время деньги являются универсальными. С одной стороны

это удобно, но с другой стороны это не позволяет разрешить целый ряд задач. Согласно принципу разнообразия [12], всё разнообразие финансово-экономических операций должно также быть компенсировано функциональным разнообразием используемых видов денег. Так, например, должны быть «короткие» и «длинные» деньги. «Короткие» деньги должны быть потрачены в течение, например, одного месяца (пропитание, плата за жильё, бытовые покупки), иначе они будут терять в цене – «ржаветь». Эти деньги должны всё время раскручивать колесо экономики. А «длинные» деньги могут аккумулироваться под покупку дорогостоящих вещей. Каждый вид денег должен способствовать решению конкретного типа задач.

Необходимо отказаться от прибыльно-финансовой модели хозяйствования и перейти к бесприбыльной эквивалентно-финансовой модели. Задача осложняется тем, что до сих пор никто в мире не переходил с прибыльно-финансовой модели на – эквивалентно-финансовую, не существует исторических аналогов такого перехода.

Вполне очевидно, что каждое государство постарается найти приемлемую для себя модель финансово-хозяйственных отношений. Хотя, в основном эти модели могут быть и схожими, тем не менее каждой стране присущи свои местные условия.

Эквивалентно-финансовая модель экономики должна явиться промежуточным этапом на пути к эквивалентно-сознательной модели экономики, когда каждый человек будет трудиться в соответствии со своим уровнем сознания и получать за свой труд будет согласно уровню сознания общества.

Но, так как это процесс очень длительный и требует серьёзного переосмысления происходящего, на первых порах необходимо до минимума снизить вредные факторы существующей модели хозяйствования.

Говоря про реорганизацию экономики, нельзя не затронуть вопросы морали и обойти нашу командно-административную систему управления, без реорганизации которой все благие намерения останутся пустым звуком.

Вопросы экономики должны рассматриваться совместно с вопросами экологии, идеологии, налогообложения, морали, культуры, образования и воспитания.

Основные моменты, на которые нужно обратить внимание в период кризиса экономики:

1. Прибыльно-финансовая модель хозяйствования потерпела полный крах. Все попытки

её реанимировать бесполезны. Чем раньше мы это поймём, тем с меньшими потерями страна выйдет из кризиса.

2. Необходимо заставить деньги быстро вращаться. Люди должны не хранить их у себя, а быстрее тратить. Т.к. большинство людей собирает деньги для дорогостоящих покупок, например, квартиры, то государство должно взять на себя заботу о строительстве дешёвого социального жилья.

3. Необходимо восстановить государственную систему банков. Деньги должны перестать быть товаром. Кредиты должны быть беспроцентными. За возможность хранения денежных средств на депозитах граждане должны платить небольшой процент.

4. Запретить хождение иностранной валюты на территории страны.

5. Необходимо произвести разделение денег на наличные и безналичные (в платёжном поручении обязательно должна выделяться сумма денег, направляемая на выплату заработной платы), а также на «короткие» и «длинные».

6. Перейти от налогообложения предприятий (юридических лиц) к налогообложению граждан (физических лиц). Налоги должны платить конкретные лица, а не фиктивные структуры.

7. Соотношение рыночной и плановой экономики должно быть 1 : 2.

8. Широкое строительство автомобильных и железных дорог, метро, социального жилья, государственных предприятий.

9. Финансирование перспективных научно-технических разработок в области высоких технологий, энергетики, транспорта, сельского хозяйства.

10. Всеми возможными способами довести информацию до сознания людей.

Здесь даны общие рекомендации, указывающие только направление движения, которые в каждом конкретном случае должны быть детально проанализированы.

Тем не менее, все эти меры помогут Украине ослабить влияние краха мировой прибыльно-финансовой модели и переориентировать эту модель хозяйствования в сторону повышения системного уровня экономики.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мямлин, В. В. О деньгах, прибавочной стоимости и прибыли [Текст] / В. В. Мямлин // Здравая мысль. – 2007. – № 1. – С. 8-9.
2. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ [Текст] / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.
3. Смит, А. Исследование о природе и причинах богатства народов [Текст] / А. Смит. – М.: Соцэкгиз, 1962. – 684 с.
4. Кейнс, Д. М. Общая теория занятости, процента и денег [Текст] / Д. М. Кейнс. – М.: Прогресс, 1978. – 494 с.
5. Макконнелл, К. Р. Экономикс: Принципы, проблемы и политика. – В 2 т. – Т. 1 [Текст] / К. Р. Макконнелл, С. Л. Брю. – М.: Республика, 1992. – 399 с.
6. Макконнелл, К. Р. Экономикс: Принципы, проблемы и политика. – В 2 т. – Т. 2 [Текст] / К. Р. Макконнелл, С. Л. Брю. – М.: Республика, 1992. – 400 с.
7. Экономическая теория [Текст] / Н. И. Базылев и др.; под ред. Н. И. Базылева, С. П. Гурко. – Минск: БГЭУ, 1997. – 550 с.
8. Задоя, А. А. Основы экономической теории [Текст] / А. А. Задоя, Ю. Е. Петруня. – М.: Рыбари, 2000. – 479 с.
9. Леонтьев, В. В. Экономическое эссе: теория, исследование, факты и политика [Текст] / В. В. Леонтьев. – М.: Политиздат, 1990. – 414 с.
10. Дворжак, Й. Земля. Люди. Катастрофы [Текст] / Й. Дворжак. – К.: Вища шк., 1989. – 238 с.
11. Пригожин, И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой [Текст] / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: КомКнига, 2005. – 296 с.
12. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику [Текст] / У. Р. Эшби. – М.: Изд-во ин. лит., 1959. – 432 с.

Поступила в редколлегию 21.11.2008.

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКІВ ЗА МІЖНАРОДНІ ВАНТАЖНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ КРАЇН СНД І БАЛТІЇ)

Розглядається актуальність скорочення термінів розрахунків за міжнародні вантажні перевезення, розробка пропозицій, спрямованих на скорочення термінів проведення розрахунків за вантажні перевезення і послуги, пов'язані з ними у міжнародному сполученні.

Рассматривается актуальность сокращения сроков расчетов за международные грузовые перевозки, разработка предложений, направленных на сокращение сроков проведения расчетов за грузовые перевозки и услуги, связанные с ними в международном сообщении.

The urgency of reduction of payment terms for international freight transportations, the development of offers aimed at reduction of terms of conducting payments for freight transportations and services related to them in international communication are considered in this paper.

### Постановка проблеми

Для розвитку ринку міжнародних залізничних перевезень нагальною проблемою є необхідність скорочення термінів розрахунків за міжнародні вантажні перевезення, розробка пропозицій (технічних, технологічних та ін.), спрямованих на скорочення термінів проведення розрахунків за вантажні перевезення і послуги, пов'язані з ними у міжнародному сполученні, що забезпечує своєчасне визнання отриманих доходів і відображення витрат за фактично надані/отримані послуги [1].

У відповідності до діючої на сьогоднішній день нормативно-правової документації, що регламентує порядок здійснення розрахунків за вантажні перевезення та послуги, пов'язані з ними у міжнародному сполученні, суми доходів і витрат у бухгалтерському обліку відображаються в залізничних адміністраціях країн СНД і Балтії через два і більше місяців після виконання перевезення, як це передбачено Правилами комплексних розрахунків (ПКР) [5]. Такий порядок ведення обліку не забезпечує виконання вимог міжнародних стандартів бухгалтерського обліку, відповідно до яких доходи і витрати повинні враховуватися в тому періоді, коли на них виникає право або зобов'язання.

### Мета

Метою даної статті є розробка пропозицій щодо внесення доповнень і змін в ПКР [5] та іншу нормативну документацію, що регулює документообіг і порядок здійснення розрахунків за міжнародні вантажні перевезення з метою скорочення термінів проведення розрахунків і забезпечення своєчасного визнання отриманих доходів і відображення витрат за фактично надані/отримані послуги.

маніх доходів і відображення витрат за фактично надані/отримані послуги. Обґрунтування нових підходів щодо скорочення термінів розрахунків у даній сфері та зміни документообігу дасть можливість здійснювати облік доходів і витрат у відповідності з вимогами міжнародних стандартів бухгалтерського обліку і фінансової звітності, а також дасть можливість створити ефективну систему повноцінного функціонування країн-учасниць Співдружності Незалежних Держав і країн Балтії на міжнародному ринку транспортних послуг.

### Основний зміст роботи

Дослідивши нормативно-праву документацію, що регулює порядок проведення розрахунків за вантажні перевезення у міжнародному сполученні, нам вдалося описати діючу систему розрахунків та організаційну структуру документообігу щодо здійснення розрахунків за вантажні перевезення у міжнародному сполученні.

Алгоритм здійснення основного розрахунку за міжнародні вантажні перевезення між країнами СНД та Балтії полягає у наступному:

а) інформаційно-обчислювальний центр залізничної адміністрації (ІОЦ ЗА) вводить номерні списки передачі вагонів в/з «третьої» країни і складені пономерні списки коригувань інформації про передачу вагонів по міждержавних стикових пунктах і передає залізничним адміністраціям;

б) до 15 числа другого місяця, наступного за звітним:

- залізничній адміністрації-користувачу, окрім залізничних адміністрацій, що складають

розрахункові та зведені відомості самостійно, – основну розрахункову і зведену відомості за звітний місяць і платежі по вагонах, що мають завершений рейс в межах даної залізничної адміністрації;

- залізничній адміністрації-власниці – основну розрахункову і зведену відомості за звітний місяць, що містить кількість вагоно-діб і платежі по вагонах, що мають завершений рейс в межах кожної залізничної адміністрації-користувача.

До 15 числа кожного місяця:

- залізничній адміністрації-користувачу, окрім залізничних адміністрацій [1], що складають розрахункові і зведені відомості самостійно, – додаткову розрахункову і зведену відомості за звітний місяць, що містить кількість вагоно-діб і платежі, по вагонах, що мають завершений рейс в межах даної залізничної адміністрації з розподіленням за кожний звітний місяць, по яких залізничні адміністрації надали дані коригувань до цього терміну;

- залізничній адміністрації-власниці – додаткову розрахункову і зведену відомості за звітний місяць, що містить кількість вагоно-діб і платежі по вагонах, що мають завершений рейс в межах кожної залізничної адміністрації-користувача з розподіленням за кожний звітний місяць, за яким залізничні адміністрації надали узгоджені коригувальні номерні списки передачі вагонів до цього терміну;

- номерні списки вагонів, що мають рейс з порушенням послідовності передачі інформації і які підлягають перевірці.

Залізничні адміністрації, які самостійно складають розрахункові і зведені відомості за користування вагонами власності інших залізничних адміністрацій на своїй території, виключають час знаходження вагонів в «третіх» країнах, вводять узгоджені коригувальні номерні списки передачі вагонів по міждержавних стикових пунктах із суміжними залізничними адміністраціями і надають залізничним адміністраціям-власникам вагонів:

До 15 числа другого місяця, наступного за звітним – основну розрахункову і зведену відомості за звітний місяць, що містить кількість вагоно-діб і платежі по вагонах, що мають завершений рейс по своїй залізничній адміністрації;

До 15 числа кожного місяця:

- додаткову розрахункову і зведену відомості, що містить кількість вагоно-діб і платежі, з розподіленням за кожним звітним місяцем по вагонах, що мають завершений рейс по своїй

залізничній адміністрації, по яких надані до цього терміну узгоджені з суміжними залізничними адміністраціями коригувальні номерні списки про передачу вагонів за попередні звітні періоди.

На рис. 1 – 2 наведено схему формування розрахункових відомостей за користування вантажними вагонами і схему інформаційного обміну при формуванні розрахункових відомостей за користування вантажними вагонами.



Рис. 1. Схема формування розрахункових відомостей за користування вантажними вагонами

Щомісяця залізничними адміністраціями країн СНД та Балтії проводиться звірка інформації про передачу вагонів за звітний місяць. Відповідно до п. 4.9.1 [4] «Правил експлуатації, пономерного обліку і розрахунків за користування вантажними вагонами власності інших держав» до 11 числа місяця, наступного за звітним, інформаційно-обчислювальний центр залізничної адміністрації (ІОЦ ЗА) формує і передає кожній залізничній адміністрації файл «Загальні пономерні дані про вагони, які були прийняті і здані адміністрацією в звітному місяці».

Головний інформаційно-обчислювальний центр (ГІОЦ) залізничних адміністрацій порівнює отримані від ІОЦ ЗА дані з даними своїх інформаційних систем.

При повному збігу всіх даних по кожному вагону дані вважаються автоматично підтвердженими. При виникненні розбіжностей ГІОЦ залізничних адміністрацій готує файли коригувань для узгодження із сусідньою залізничною адміністрацією.

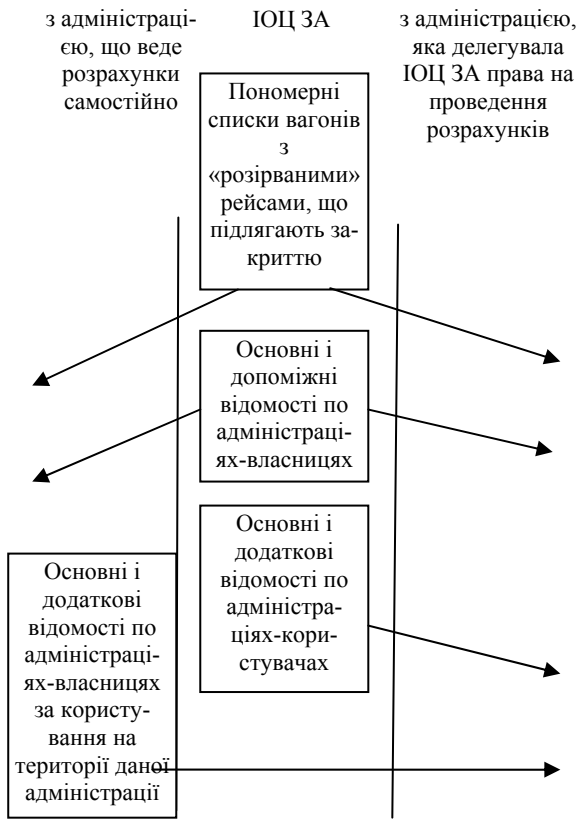


Рис.2. Схема інформаційного обміну при формуванні розрахункових відомостей за користування вантажними вагонами

Інформаційні центри сусідніх залізничних адміністрацій обмінюються файлами відкладених коригувань, які вимагають узгодження. Коригування розглядаються і узгоджуються або на рівні ГІОЦ (ІОЦ), або на рівні міждержавних стикових пунктів.

Відповідно до п.4.9.3 [4], ГІОЦ (ІОЦ) залізничних адміністрацій до 10 числа другого місяця, наступного за звітним, передає в ІОЦ ЗА файли відкладених коригувань разом з актами звірки з сусідніми залізничними адміністраціями.

Залізничні адміністрації, що складають розрахункові і зведені відомості за користування вагонами інших адміністрацій через ІОЦ ЗА, що мають кордони з «третьою» країною, до 10 числа другого місяця, наступного за звітним, формують і передають на адресу ІОЦ ЗА номерні списки передачі вагонів в/з «третьою» країною відповідно до Тимчасової технології підготовки

передачі даних від прикордонних залізничних адміністрацій в ІОЦ ЗА і до 10 числа другого місяця, наступного за звітним, номерні списки коригувань інформації про передачу вагонів в/з «третьою» країною.

Існуючий порядок здійснення розрахунків за міжнародні вантажні перевезення між країнами СНД та Балтії призводить до несвоєчасного визнання отриманих доходів і відображення витрат за фактично надані/отримані послуги, порушення вимог міжнародних стандартів бухгалтерського обліку, відповідно до яких доходи і витрати повинні враховуватися в тому періоді, коли на них виникає право або зобов'язання. Тому, для вирішення даної проблеми, слід розглянути альтернативні варіанти щодо скорочення термінів розрахунків за користування вантажними вагонами.

Для розробки варіанту щодо скорочення термінів розрахунків за користування вантажними вагонами на 2 місяці нами проведені розрахунки, результати яких надані на рис. 3 (варіант 1).

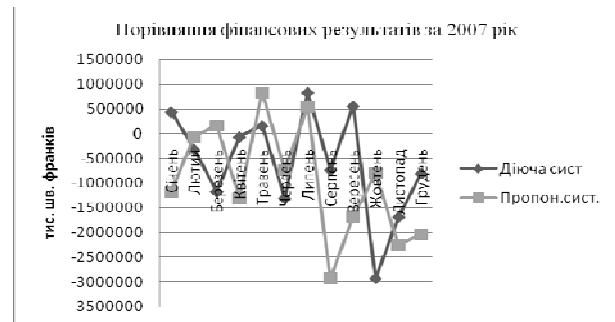


Рис. 3. Графічне зображення результатів порівняння фінансових результатів за діючою і пропонованою системами розрахунків за користування вантажними вагонами за 2007 календарний рік (1-й варіант)

Як бачимо, фінансові результати даної адміністрації при зміні (скороченні) термінів розрахунків на два місяці мають істотну відмінність.

Розглянемо другий варіант щодо скорочення термінів розрахунків за міжнародні вантажні перевезення.

Для розробки альтернативного варіанту щодо скорочення термінів розрахунків за користування вантажними вагонами на один місяць нами проведені розрахунки і на рис. 2 надані результати таких розрахунків.

Як бачимо на рис. 2, фінансові результати даної адміністрації при зміні (скороченні) термінів розрахунків на один місяць також мають істотну відмінність.

Отже, скорочення терміну розрахунків на два або один місяць істотно вплине на фінансові результати діяльності тієї або іншої адмініст-

рації у бік збільшення або у бік зменшення. Але наша мета – скорочення термінів розрахунків у відповідності з положеннями Міжнародних стандартів бухгалтерського обліку.

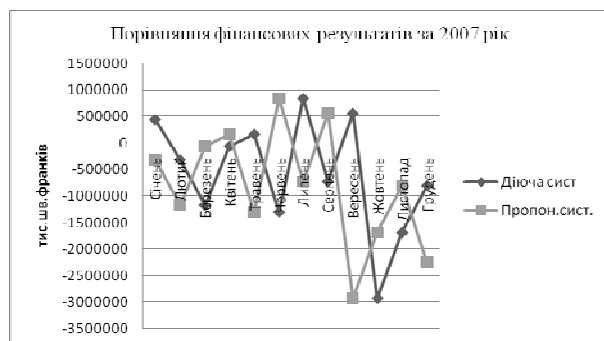


Рис. 4. Графічне зображення результатів порівняння фінансових результатів за діючою і пропонованою системами розрахунків за користування вантажними вагонами за 2007 календарний рік (2-й варіант)

Тому при ухваленні рішення про скорочення термінів розрахунків між країнами-учасницями Співдружності на один або два місяці визначальними чинниками повинні бути:

- приведення у відповідність з Міжнародними стандартами бухгалтерського обліку і звітності документообігу, що дозволяє здійснювати своєчасне визнання отриманих доходів і відображення витрат за фактично надані/отримані послуги; [3]

- зміни діючої нормативно-правової документації, що регламентує порядок проведення розрахунків за користування вантажними вагонами, а також послугами, пов'язаними з вантажними перевезеннями;

- зміна технології інформаційного обміну між країнами-учасницями Співдружності з приводу розрахунків за користування вантажними вагонами і послугами, пов'язаними зі скороченням терміну розрахунків за вантажні перевезення у міжнародному сполученні.

Отже, серед представлених варіантів більш ефективним є перший варіант, тобто скорочення строків розрахунків за міжнародні вантажні перевезення на два місяці.

Для впровадження в практику вищезазначеного варіанту слід внести до нормативно-правової документації наступні зміни:

В «Правила експлуатації, пономерного обліку і розрахунків за користування вантажними вагонами власності інших держав» [4], затверджені на нараді уповноважених представників залізничних адміністрацій 24 травня 1996 р. відповідно до рішення п'ятнадцятого засідання Ради залізничного транспорту від 5 квітня 1996 р. зі змінами і доповненнями – такі зміни:

- п. 3.24 викласти в такій редакції:

«залізничні адміністрації, залізничні переходи, що мають, з «третіми» країнами, щодня передають ІОЦ ЗА повідомлення 5311 або 2881. При передачі повідомлень дата і час узгодженого прийому (московський час) з вагонної відомості проставляється в полі дата і час узгодження ППВ, з урахуванням округлення проводиться відповідно до Договору ППВ або інших міжнародних договорів. Розрахунок платні за користування вантажними вагонами проводиться по даті й часу узгодженого прийому».

- п. 3.25 другий абзац викласти в такій редакції:

«ІОЦ ЗА щомісяця передає:

- для адміністрації-власниці узагальнені пономерні дані про передачу її вагонів з/в країн СНД, Латвії, Литви, Естонії і «третіх» країн:

- пономерні дані по вагонах з «розірваними рейсами» для розгляду і узгодження».

Термін надання ІОЦ ЗА номерних списків передачі вагонів по міждержавних стикових пунктах із сусідніми адміністраціями – в п. 4.9.1, п. 4.9.2 замінити слова «до 11 числа» на «до 4 числа»;

- п.4.9.3 викласти в редакції:

«ІОЦ ЗА на підставі даних, переданих залізничними адміністраціями протягом звітного місяця, складає і передає до 4 числа місяця, наступного за звітним:

- залізничній адміністрації-користувачу – основну розрахункову і зведену відомості за звітний місяць (додатки 1 – 3 до п. 4.9 [4]), що містить кількість вагоно-діб і платежі, по вагонах, що мають завершений рейс в межах даної залізничної адміністрації;

- залізничній адміністрації-власниці – основну розрахункову і зведену відомості за звітний місяць (додатки 1 – 3 до п. 4.9 [4]), що містить кількість вагоно-діб і платежі по вагонах, що мають завершений рейс в межах кожної залізничної адміністрації-користувача».

## Висновки

Проведене дослідження діючої системи розрахунків за міжнародні вантажні перевезення між країнами СНД та Балтії показало, що існуючий алгоритм здійснення розрахунків призводить до несвоєчасного визнання отриманих доходів і відображення витрат за фактично надані/отримані послуги, що не відповідає вимогам міжнародних стандартів бухгалтерського обліку, згідно яких доходи і витрати повинні враховуватися у тому періоді, коли на них виникає право або зобов'язання.

На основі проведеного аналізу можна стверджувати, що за умови приведення у відповідність з Міжнародними стандартами бухгалтерського обліку і звітності документообігу, зміни діючої нормативно-правової документації, зміни технології інформаційного обміну між країнами-учасницями Співдружності стосовно розрахунків за користування вантажними вагонами і послугами, пов'язаними з ними у міжнародному сполученні, дасть можливість створити ефективну систему для повноцінного функціонування країн-учасниць Співдружності Незалежних Держав і країн Балтії на міжнародному ринку транспортних послуг.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бухгалтерський облік та звітність в Україні. Закони, постанови, інструкції, стандарти бухгалтерського обліку. Документація та інвентаризація [Текст] : зб. норм.-правових актів. – 2-е вид., доп. і перероб. – К.: Атіка, 2005. – 800 с.
2. Бухгалтерський облік та фінансова звітність за Міжнародними стандартами [Текст] : практ. посібник. – К.: Мора, 2004. – 880 с.
3. Кодекс МСЗД 311. Оригінальна редакція. Фінансові відносини між підприємствами залізничного транспорту: основні положення і умови застосування [Текст]: 21-е видання, 01.01.07. – Пам'ятка діє з 1 січня 2007 р. для всіх членів Міжнародного союзу залізниць.
4. Правила експлуатації, пономерного обліку і розрахунків за користування вантажними вагонами власності інших держав [Текст] : затв. на нараді уповноважених представників залізничних адміністрацій 24.05.96 відповідно до рішення п'ятнадцятого засідання Ради із залізничного транспорту від 05.04.96. – К.: Мін-во трансп. та зв'язку України, 1996. – 215 с.
5. Правила комплексних розрахунків між залізничними адміністраціями держав-учасників Співдружності Незалежних Держав, Латвійської Республіки, Литовської Республіки, Естонської Республіки [Текст] : затв. на дванадцятому засіданні Ради із залізничного транспорту 10.12.94. – К.: Мін-во трансп. та зв'язку України, 1994. – 220 с.

Надійшла до редколегії 17.12.2008.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ФІНАНСОВОГО ЛІЗИНГУ ДЛЯ ОНОВЛЕННЯ ОСНОВНОГО КАПІТАЛУ ПІДПРИЄМСТВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ГАЛУЗІ

У статті проаналізовано динаміку розвитку та світову структуру ринку лізингу, сформульовано переваги використання фінансового лізингу для оновлення основного капіталу залізничної галузі.

В статье проанализированы динамика развития и мировая структура рынка лизинга, сформулированы преимущества использования финансового лизинга для обновления основного капитала железнодорожной отрасли.

In the article the dynamics of development and global structure of the leasing market are analyzed, the advantages of using the financial leasing for upgrading the fixed capital of railway industry are formulated.

### Постановка проблеми

Для оновлення основного капіталу підприємств в сучасних умовах використання фінансового лізингу є одним із ефективних напрямків вирішення цієї проблеми. Світовий досвід свідчить про розширення ринку лізингових послуг для оновлення основних фондів в усіх галузях економіки. Використання фінансового лізингу для оновлення фондів має цілий комплекс переваг у порівнянні з іншими джерелами інвестування.

Виходячи з критичного рівня зношеності основних фондів у залізничній галузі, відсутності коштів на оновлення фондів, використання фінансового лізингу як джерела оновлення основних фондів є доцільним.

### Аналіз останніх джерел

Використання фінансового лізингу для оновлення основного капіталу розглядалось у наукових працях В. М. Горемикіна [2], В. А. Бондаренко [5], І. Светікової [6] та інш. Однак проблема використання фінансового лізингу в залізничній галузі для оновлення основних фондів потребує подальшого вивчення і дослідження.

### Мета дослідження

Метою статті є вивчення світового досвіду використання фінансового лізингу для ефективного його застосування в Україні як ресурсу оновлення основних фондів підприємств залізничного транспорту.

### Основний матеріал дослідження

Транспортний комплекс є важливою скла-

довою в структурі економіки України. Серед усіх видів транспорту України залізничний транспорт займає одне із провідних місць. Його частка в загальному вантажообігу становить майже 90 % (без урахування трубопровідного), а в пасажирообігу – 50 %.

Ефективна робота залізничного транспорту залежить від його технічних можливостей, обслуговування, рівня зношеності та вчасного проведення ремонту й модернізації.

Протягом 15 років простежувалась негативна тенденція, за якої темпи вибуття застарілих фондів перевищували темпи їхнього оновлення як у кількісному, так і в якісному відношенні. В результаті інвентарний парк залізничного рухомого складу внаслідок виведення його частин з експлуатації скоротився на 124,6 тис. од., зокрема [3]:

- тягового рухомого складу – на 2,082 тис. од. (26 %);

- пасажирських вагонів – на 2,5 тис. од. (25 %);

- вантажних вагонів – на 120 тис. од. (45 %).

Значна частина рухомого складу відпрацювала свій ресурс, у тому числі:

- локомотивів – 48,7 %;

- електросекцій – 40,4 %;

- дизель-потягів – 57,5 %;

- пасажирських вагонів – 33,7 %;

- вантажних вагонів – 32,7 %.

Якщо не оновлювати наявний парк, то майже весь рухомий склад опиниться за межею безпеки (50 % зносу).

Враховуючи, що держава майже не виділяє коштів з бюджету на оновлення основних засобів, важливу роль на підприємствах залізничного транспорту відіграють основні кошти за ра-

хунок амортизаційних відрахувань. Тому потрібно здійснити ряд заходів із вдосконалення активної амортизаційної політики: уточнити норми амортизації на основні фонди; забезпечити антиінфляційну стійкість амортизаційних накопичень шляхом регулярних переоцінок основних фондів відповідно до індексів зростання цін.

Внаслідок високого фізичного зносу і морального старіння устаткування, терміни амортизації якого давно закінчилися, залізниці відчувають брак амортизаційних відрахувань. Методом прискореної амортизації неможливо вирішити проблему оновлення основних фондів Укрзалізниці. По-перше, прискорена амортизація розповсюджується лише на порівняно нове устаткування, частка якого на підприємствах залізничного транспорту є незначною. По-друге, терміни прискореної амортизації не відображають фактичного використання машин і устаткування. По-третє, суми амортизаційних відрахувань не дозволяють відновлювати виробничі фонди внаслідок відсутності адекватного перенесення їх вартості на готовий продукт. Отже, амортизаційні відрахування, як джерело інвестиційних засобів підприємства, необхідно раціонально формувати і ефективно використовувати.

Одним із суттєвих засобів оновлення основних фондів для залізниць України може стати фінансовий лізинг.

Фінансовий лізинг в його сучасному визначенні бере свій початок у США. Засновником американського фінансового лізингу вважається Генрі Шонфельд, що організував в 1952 р. лізингову компанію для однієї конкретної операції в області залізничного транспорту. Переконавшись в економічній доцільності і перспективності лізингових операцій, він вирішив і далі займатися цим бізнесом, заснувавши найвідомішу американську лізингову компанію «United States Leasing Corp.» (в даний час «United States Leasing International Inc.»). В Європі фінансовий лізинг почав розвиватися в кінці 50-х – на початку 60-х років.

Передумовами для швидкого зростання фінансового лізингу в Північній Америці і Західній Європі послужили декілька чинників. Науково-технічна революція 50-х років відкрила перед підприємствами необхідність оновлення основних засобів. А механізм фінансового лізингу дозволяв це зробити на більш вигідних умовах, ніж при покупці устаткування через банківську позику. Одночасно активно розвивався ринок фінансових послуг, пропонуючи

нові форми кредитування, низькі процентні ставки, що в поєднанні зі сприятливим податковим режимом, супутнім лізинговим операціям, зробило лізинг привабливим для лізингових компаній [2].

В 70-ті роки фінансовий лізинг починає розвиватися на ринках Південної Америки, Азії і Африки. На сьогоднішній день лізингові компанії існують більш ніж у 90 країнах світу.

Регіональна структура сучасного ринку лізингових послуг наведена в табл. 1 [9].

Таблиця 1

Регіональна структура ринку лізингу

| Region                        | Річний обсяг лізингових операцій (млрд дол. США) | Частка у світовому ринку лізингу (%) |
|-------------------------------|--|--------------------------------------|
| Північна Америка              | 262,8  | 43,8                                 |
| Європа (у тому числі Україна) | 223,2 (0,33)                                     | 37,2 (0,055)                         |
| Азія                          | 93,0   | 15,5                                 |
| Австралія й Океанія           | 9,0  | 1,5                                  |
| Африка                        | 7,2  | 1,2                                  |
| Південна Америка              | 4,8  | 0,8                                  |
| Всього                        | 600  | 100                                  |

Для уявленості дані таблиці наведемо у структурній діаграмі:

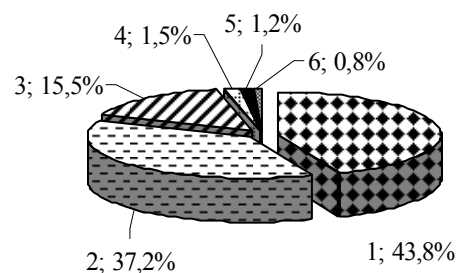


Рис. 1. Структура ринку лізингових послуг:

1 – Північна Америка; 2 – Європа; 3 – Азія;  
4 – Австралія й Океанія; 5 – Африка;  
6 – Південна Америка

З діаграми бачимо, що ринок лізингових послуг Північної Америки перевершує інші регіони, як за масштабом, так і за рівнем розвитку. Світовим лідером лізингу є США. Широке використання лізингу в США, та і в розвинутих країнах Західної Європи, пояснюється більш

сприятливими економічними умовами, оскільки в цих країнах (починаючи з 50-х рр. – у США і з 60-х рр. – у Західній Європі) здійснюється значна підтримка підприємницького бізнесу, який в основному і розвивається за рахунок інвестицій через лізинговий механізм. Для використання лізингу обов'язковим є надання особливих податкових пільг, цілком достатньо тих переваг, які продиктовані самим механізмом. Так, можливість віднесення на собівартість продукції лізингових платежів має перевагу перед іншими формами виробничих інвестицій.

Всього в Західній Європі через лізинг в даний час здійснюється більше 20 % інвестицій у виробничі фонди. При цьому до 80 % лізингового бізнесу Західної Європи припадає на Великобританію, Німеччину, Італію і Францію. Перехід на ринковий розвиток Угорщини, Чехії, Словаччини й інших країн Східної Європи, а також країн СНД відкрили нові можливості для лізингового бізнесу.

Лізинг отримав широке розповсюдження у світовій практиці завдяки перевагам, які надаються суб'єктам угоди. З точки зору лізингоодержувача ці переваги такі:

— можливе використання нової, дорогої техніки, високих технологій без значних одноразових витрат, оскільки при лізингу виробниче обладнання передається в користування без попереднього викупу, тобто є можливість налагодити виробництво при обмежених витратах фінансових (а при міжнародному лізингу – валютних) засобів;

— лізинг припускає 100 % кредитування і, як правило, не потребує негайного початку платежів; при використанні звичайного кредиту підприємство повинно було б частину вартості покупки оплатити за рахунок власних коштів;

— лізинг також дозволяє спочатку випробувати машини, а потім закупити їх, а обладнання в сезонних галузях орендувати лише на час його фактичної експлуатації;

— лізинг дозволяє підприємству запобігти витратам, пов'язаним із моральним старінням машин і устаткування, і сприяє використанню найновіших об'єктів лізингу, що підвищує конкурентоспроможність лізингоодержувача;

— лізингові платежі в повному обсязі відносяться на собівартість продукції (робіт, послуг), виробленої лізингоодержувачем, і відповідно знижують оподатковуваний прибуток;

— майно за лізинговою угодою не зараховується на баланс лізингоодержувача, що не збільшує його активів і звільняє від сплати подат-

ку на майно; його вартість не включається до залишку кредитної заборгованості. Це поліпшує фінансові показники підприємства-орендаря і відповідно дозволяє йому залучити додаткові кредитні ресурси (у зв'язку з цим сучасний лізинг часто класифікують як «позабалансове фінансування»);

— у багатьох країнах законодавче встановлені податкові пільги для лізингових операцій (так, прискорена амортизація дозволяє суттєво знизити оподатковуваний прибуток і термін лізингової угоди);

— порядок здійснення лізингових платежів гнучкіший, ніж за кредитними угодами (лізингоодержувач може розрахувати надходження своїх доходів і разом із лізингодавцем розробити зручну схему платежів; платежі можуть бути щомісячними, щоквартальними і т.п.; сума платежів може бути постійною або ковзкою; при її визначенні може бути врахована сезонність використання предмета лізингу; платежі можуть здійснюватися із виручки від реалізації продукції, що вироблена на отриманому в лізинг обладнанні); при використанні компенсаційного лізингу лізингоодержувач здійснює платежі в товарній формі, використовуючи продукцію, що вироблена на лізингованому обладнанні;

— лізинг на відміну від кредиту дає змогу створити надійніші умови господарювання;

— підвищується ліквідність підприємств-лізингоодержувачів, тобто покращується такий важливий для ринкової економіки показник, як здатність своєчасно сплатити майбутні борги;

— перевагою лізингу є також можливість придбання лізингоодержувачем устаткування за залишковою вартістю після завершення лізингової угоди;

— при укладанні лізингової угоди орендар може розраховувати на отримання від лізингодавця додаткових інформаційних, консультативних і юридичних послуг;

— Міжнародний валютний фонд не враховує суму лізингових угод у підрахунку національної заборгованості, тобто є можливість перевищити фактичні ліміти кредитної заборгованості, встановлені Фондом для окремих країн (при застосуванні імпортного лізингу).

Як бачимо, лізингові операції мають великі переваги. Традиційне уявлення про лізинг як примітивну довгострокову оренду майна безнадійно застаріло.

Що стосується перспектив використання лізингу у галузі залізничних перевезень, то вони достатньо широкі: лізинг здатний повністю покривати всі потреби операторів-перевізників в

рухомому складі від пасажирських до вантажних перевезень.

Для залізничного транспорту України лізинг також є привабливою формою оновлення основного капіталу. З одного боку, «Укрзалізниці» не доведеться невідомо звідки вишукувати багатомільйонні суми на покупку нових вагонів. Укладаючи договір з лізинговою компанією, вона, по суті, одержує розстрочку. З другого боку, їй не доведеться влізати в такі ж багатомільйонні борги, займаючи необхідні суми в банку. Адже лізинг – це не кредит, і укладення договору лізингу не спричиняє за собою появу боргових зобов'язань.

Останній чинник для «Укрзалізниці» надзвичайно важливий. Тільки за перше півріччя 2006 р. кредиторська заборгованість «Укрзалізниці» зростає майже на 100 млн грн і перевищила двохмільярдну відмітку. Тепер же погашення цих кредитів і відсотків по них відбирає значну частину оборотних коштів. Зрозуміло, що в таких умовах брати нові кредити для «Укрзалізниці» є неприйнятним.

У схемі лізингу є ще декілька переваг, важливих для «Укрзалізниці». По-перше, при купівлі вагонів і устаткування за допомогою лізингу не потрібна застава. Адже закладати дороге майно, без якого робота залізниці може бути паралізована, дуже небезпечно. Крім того, при видачі кредитів банки іноді вимагають заставу в подвійному або потрійному розмірі. Ще одна перевага лізингу – відносно швидка і проста процедура отримання. Адже при банківському кредитуванні збір і подача документів, розгляд заявки фінансовою установою і підписання остаточних договорів можуть займати не один місяць. І чим більше сума кредиту, тим більший термін необхідний для його отримання. У випадку ж придбання товару через лізинг цей час економиться.

Крім того, будь-який банк при укладенні договору кредитування завжди залишає за собою право коректувати процентну ставку. При цьому випадки її корекції у бік зменшення зустрічаються українською рідко. При лізингу ж платежі стабільні протягом всього терміну дії договору. Ще один довід на користь лізингу – його ціна. Вважається, що придбання товарів за допомогою лізингу дещо дорожче за кредитування. Проте «Укрзалізниці» вже вдалося добитися значного зниження ставок.

Очевидні й переваги лізингу в сегменті рухомого складу. Враховуючи високу вартість майна, в першу чергу лізинг надає розстрочку оплати майна, що було придбане на достатньо

тривалий термін. Помірне авансування операції з боку лізингоотримувача дозволяє одержувати в користування основні кошти – рухомий склад – без помітного відволікання оборотних коштів.

За рахунок прискореної амортизації предмету лізингу здійснюється економія по сплаті податку на майно. Якщо при прямій купівлі термін амортизації рухомого складу складає до 25 років, то лізинг дозволяє скорочувати цей термін до 7...8 років. Крім того, важливим чинником є перерозподіл у часі й часткове зниження платежів по податку на прибуток. Лізингова операція дозволяє лізингоотримувачу відносити всі витрати за договором лізингу на собівартість. За допомогою лізингу можлива не тільки вигідна експлуатація, але і поповнення, а також заміна рухомого складу (як матеріально-технічної бази) на більш нові вагони зі збільшенням вантажопідйомності платформи, що приведе тільки до підвищення доходів з однієї одиниці експлуатованої техніки.

Про ефективність використання фінансового лізингу на залізничному транспорті України свідчить щорічне збільшення вартості лізингових угод (рис. 2), а також той факт, що в 2008 р. найбільшу питому вагу (52 %) у структурі лізингового портфелю займає саме залізничний транспорт (рис. 3) [8].

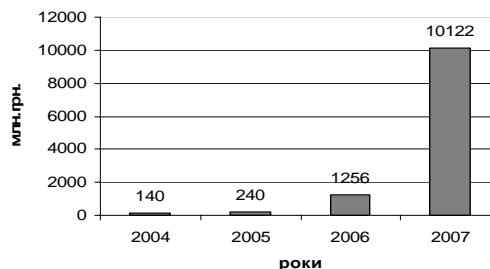


Рис. 2. Динаміка зміни вартості лізингових угод на залізничному транспорті в Україні

Ще одним джерелом оновлення основного капіталу залізниць може стати чемпіонат «Євро-2012». З метою забезпечення підготовки пасажирських перевезень у період проведення чемпіонату «Євро-2012» розроблено Комплексні заходи підготовки залізничного транспорту України до надання послуг з перевезень пасажирів у період проведення чемпіонату.

Загальна орієнтовна вартість стратегічного плану розвитку залізничної галузі на період 2007 – 2012 рр. становить 6,64 млрд дол. США, в тому числі вартість інфраструктурних проєктів становить 1,6, оновлення тягового рухомого складу – 0,5, парку пасажирських вагонів, елек-

тропоїздів, дизель-поїздів, рейкових автобусів та швидкісних поїздів із примусовим нахилом – 3,3, реалізації державної програми впровадження швидкісного руху на залізницях України – 1,24 млрд дол. [7].

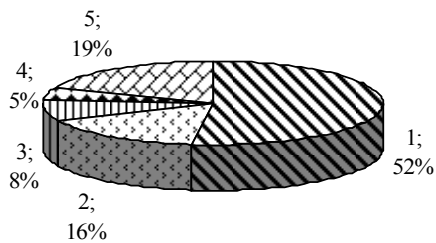


Рис. 3. Вартісний розподіл лізингового портфелю за видами предметів лізингу:

1 – Залізничний транспорт; 2 – Легкові автомобілі; 3 – Транспорт для вантажоперевезень; 4 – Виробниче обладнання (за винятком харчової промисловості); 5 – Інше

За умов реформування Укрзалізниці з утворенням ДАК «Українські залізниці» фінансування інвестиційної потреби залізничного транспорту в розмірі 94465 млн грн передбачається забезпечувати за рахунок:

- власних коштів Компанії – амортизаційних відрахувань у сумі 68247 млн грн та частини прибутку, що залишається в розпорядженні Компанії після сплати всіх обов'язкових платежів;
- інвестицій приватних компаній на закупку власного рухомого складу в сумі 15415 млн грн;
- коштів, отриманих у результаті оптимізації структури Компанії та створення конкурентного середовища – в сумі 7975 млн грн;
- інших джерел, не заборонених законодавством (залучені кошти, кошти державного та місцевих бюджетів та ін.) [4].

### Висновок

Комплексне використання вищезазначених джерел і засобів оновлення основних фондів залізничного транспорту дозволить високими темпами реформувати галузь, впровадити нову техніку і технології, підвищити швидкість руху і тим самим відкріє шлях до інтеграції у міжнародну транспортну систему, забезпечити ефективність та безпеку залізничних перевезень, підвищити виробничий потенціал галузі.

На сьогоднішній час, враховуючи відсутність у підприємств власних коштів та їх тяжке

фінансове становище, розвиток лізингу є практично єдиною можливістю придбання необхідного обладнання машин та інших основних засобів.

Лізинг дозволяє підприємству, не відволікаючи власні ресурси, провести модернізацію основних фондів і отримати нове, сучасне високотехнологічне устаткування. Це є способом фінансування, за якого отримання засобів на розвиток поєднується з оптимізацією оподаткування підприємства.

Застосування лізингових технологій в умовах браку власних коштів для оновлення основного капіталу підприємств «Укрзалізниці» також дасть змогу надавати високоякісні послуги своїм споживачам, бути конкурентоспроможними у ринковому середовищі та сприяти гармонійному розвитку економіки України в цілому.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ходаківська, В. П. Ринок фінансових послуг [Текст] : навч. посібник / В. П. Ходаківська, О. Д. Данілов. – Ірпінь: Академія ДПС України, 2001. – 501 с.
2. Горемыкин, В. А. Лізинг. Практическое учебно-справочное пособие [Текст] / В. А. Горемыкин. – М.: ИНФРА-М, 1997. – 384 с.
3. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу [Текст]. – К., 2005.
4. Особливості структурної реформи залізничного транспорту України [Текст] / В. В. Корнієнко та ін. // Заліз. трансп. України. – 2007. – № 5. – С. 3-9.
5. Бондаренко, В. А. Лізинг у системі стратегічного інвестування [Текст] / В. А. Бондаренко // ЗТ. – 2007. – № 4.
6. Светикова, И. Лізинг как средство обновления железной дороги [Текст] / И. Светикова // Киевский телеграф. – 10-16 серпня 2007.
7. Юрченко, Г. А. Організація забезпечення пасажирських перевезень чемпіонату Європи з футболу 2012 року [Текст] / Г. А. Юрченко, П. С. Хомінський, А. І. Стрілець // Матеріали наук. конф. – Частина 2. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – С. 50-52.
8. Експрес результати дослідження ринку лізингу України. 2008 рік [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://franchising.com.ua>
9. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://www.raexpert.ru/thematic/leasing>

Надійшла до редколегії 24.12.2009.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКЕ ТЯГОВИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Наведено аналіз енергетичних потоків у схемах взаємного навантаження тягових електричних машин постійного та пульсуючого струму.

Приведен анализ энергетических потоков в схемах взаимной нагрузки тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока.

The analysis of power streams in the schemes of mutual loading of hauling electric machines of direct and pulsating current is presented.

Очевидная необходимость модернизации существующих станций для испытания тяговых электрических машин ставит одним из важнейших – вопрос о том, какой из вариантов схем взаимной нагрузки будет наиболее рациональным для данного типа испытуемых машин. Даже поверхностный анализ параметров существующего типового ряда тяговых электромашин и известного количества вариантов схем взаимной нагрузки [1, 2] показывает, что данная проблема весьма актуальна и требует более глубокого исследования.

Одной из задач в решении проблемы выбора рациональных вариантов схем взаимной нагрузки является анализ энергетических потоков, обеспечивающих нормальное функционирование испытательного стенда. Проведение такого анализа принципиально возможно для любой испытательной системы, даже той, структура которой точно не определена, благодаря известной определенности самого принципа взаимной нагрузки электромашин.

С энергетической точки зрения этот принцип заключается в том, что электрическая энергия машины, работающей в режиме генератора, используется для питания машины, работающей в режиме двигателя и являющейся приводной для генератора, а все потери, возникающие при преобразовании мощности, компенсируются внешним источником энергии – сетью.

Здесь необходимо отметить, что этот принцип является общим для всех схем взаимной нагрузки только с энергетической точки зрения и никак не определяет конкретную структуру испытательного стенда, которая зависит от принятых способов обеспечения протекания тока в обмотках испытуемых электромашин и условий создания вращения их роторов. Это –

вопрос, требующий отдельного подробного анализа.

На рис. 1 приведена схема энергетических потоков, общая для всех вариантов схем взаимной нагрузки. Согласно данной схеме испытательный стенд включает в себя якорь электромашины-двигателя ЯД, якорь электромашины-генератора ЯГ, преобразователь механической мощности ПМ, преобразователь электрической мощности ПЭ, регулятор (источник) электрической мощности РЭ, регулятор (источник) механической мощности РМ, обмотка возбуждения двигателя ОВД, обмотка возбуждения генератора ОВГ, регулятор возбуждения двигателя РВД, РВГ, соответственно. Все регуляторы подключены к внешней сети С.

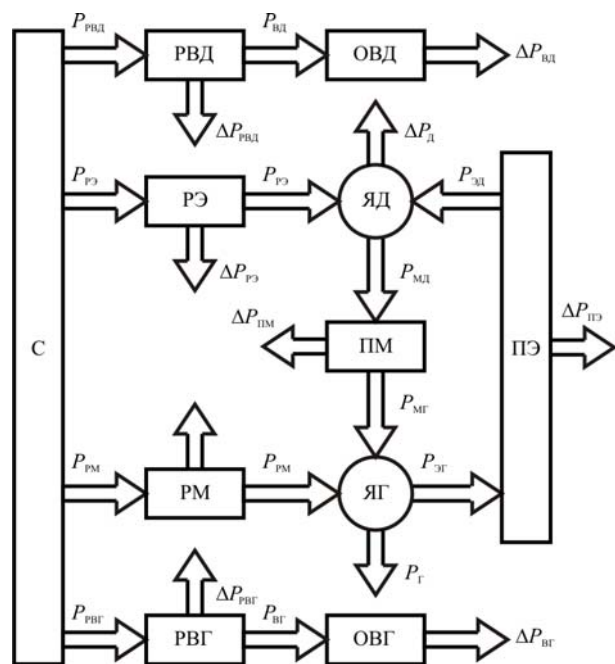


Рис. 1. Схема энергетических потоков в схеме взаимной нагрузки

Отметим, что приведенная схема энергетических потоков является общей для всех вариантов электромеханической схемы взаимной нагрузки. В этой энергетической схеме рассмотрены все возможные варианты создания условий работы испытательного стенда. В любом конкретном стенде могут отсутствовать многие из показанных преобразователей и регуляторов.

Что касается самого принципа взаимной нагрузки электрических машин, согласно схеме, приведенной на рис. 1, механическая мощность  $P_{\text{МД}}$  двигателя ЯД преобразуется с помощью преобразователя ПМ в механическую мощность  $P_{\text{МГ}}$  на валу генератора ЯГ. В генераторе механическая мощность  $P_{\text{МГ}}$  преобразуется в электрическую  $P_{\text{ЭГ}}$  и через преобразователь ПЭ в виде электрической мощности  $P_{\text{ЭД}}$  возвращается двигателю ЯД. В двигателе электрическая мощность  $P_{\text{ЭД}}$  преобразуется в механическую  $P_{\text{МД}}$ .

В данном замкнутом цикле преобразования энергии неизбежны потери мощности: в якорной цепи двигателя –  $\Delta P_{\text{Д}}$ , в якорной цепи генератора –  $\Delta P_{\text{Г}}$ , в преобразователях механической и электрической мощностей –  $\Delta P_{\text{ПМ}}$ ,  $\Delta P_{\text{ПЭ}}$  соответственно. Основным условием работы такой системы является полная компенсация всех потерь мощности в замкнутом цикле преобразования внешним источником энергии – сетью. Такая компенсация возможна путём передачи мощности из сети в замкнутую систему, описанную выше, двумя способами.

К первому способу относится передача мощности от сети к двигателю ЯД через регулятор электрической мощности РЭ. При этом к двигателю ЯД подводится дополнительная электрическая мощность  $P_{\text{РЭ}}$ .

Ко второму способу относится передача мощности от сети к генератору ЯГ через регулятор механической мощности РМ. При этом к генератору подводится дополнительная механическая мощность  $P_{\text{ДМ}}$ .

В принципе, возможно как отдельное использование каждого из описанных способов компенсации потерь (электрического, механического), так и одновременное их использование. Наибольшее распространение, как известно, получил метод компенсации потерь в стенде с использованием двух преобразователей электрической мощности – вольтодобавочной

машины и линейного генератора. Достаточно распространено также и одновременное использование преобразователей механической и электрической мощностей – приводного дополнительного двигателя и вольтодобавочной машины.

Передача мощностей двигателю и генератору от сети через регуляторы РЭ и РМ связана с неизбежными потерями в них  $\Delta P_{\text{РЭ}}$  и  $\Delta P_{\text{РМ}}$  соответственно, которые также компенсируются сетью.

Нормальный процесс последовательного преобразования мощности в схеме невозможен без возбуждения двигателя и генератора. Согласно схеме на рис. 1, для возбуждения машин необходимы мощности  $P_{\text{ВД}}$  и  $P_{\text{ВГ}}$ , которые передаются от сети через регуляторы возбуждения РВД и РВГ. В данных регуляторах также неизбежны потери мощности  $\Delta P_{\text{РВД}}$  и  $\Delta P_{\text{РВГ}}$ , которые компенсируются сетью.

Мощности  $P_{\text{ВД}}$  и  $P_{\text{ВГ}}$  в системах возбуждения двигателя и генератора полностью преобразуются в потери  $\Delta P_{\text{ВД}}$  и  $\Delta P_{\text{ВГ}}$ .

Процессы преобразования энергии (мощности) в замкнутом контуре, включающем испытуемые машины, преобразователи и регуляторы, могут быть описаны математически в виде следующих уравнений баланса:

$$P_{\text{МД}} = P_{\text{ЭД}} + P_{\text{ДЭ}} - \Delta P_{\text{Д}}; \quad (1)$$

$$P_{\text{ЭГ}} = P_{\text{МГ}} + P_{\text{РМ}} - \Delta P_{\text{Г}}; \quad (2)$$

$$P_{\text{МГ}} = P_{\text{МД}} - \Delta P_{\text{ПМ}}; \quad (3)$$

$$P_{\text{ЭД}} = P_{\text{ЭГ}} - \Delta P_{\text{ПЭ}}. \quad (4)$$

Необходимым условием установившегося режима работы схемы взаимной нагрузки с энергетической точки зрения является система уравнений:

$$\begin{cases} \sum P_{\text{Р}} > 0; \\ \sum P_{\text{Р}} = \sum \Delta P_{\text{ДГ}} + \sum \Delta P_{\text{П}}; \\ P_{\text{ВД}} > 0; \\ P_{\text{ВГ}} > 0. \end{cases} \quad (5)$$

где  $\sum P_{\text{Р}}$  – суммарная мощность на выходах регуляторов РЭ и РМ;  $\sum \Delta P_{\text{ДГ}}$  – суммарная мощность потерь в якорных цепях испытуемых двигателя и генератора;  $\sum \Delta P_{\text{П}}$  – суммарная мощность потерь в преобразователях ПЭ и ПМ.

$$\sum P_p = P_{pЭ} + P_{pМ}; \quad (6)$$

$$\sum \Delta P_{дг} = \Delta P_{д} + \Delta P_{г}; \quad (7)$$

$$\sum \Delta P_{п} = \Delta P_{пМ} + \Delta P_{пЭ}. \quad (8)$$

К неустановившимся (переходным) режимам работы схемы взаимной нагрузки относятся режимы, отвечающие условиям:

$$\sum P_p > \sum \Delta P_{дг} + \sum \Delta P_{п}; \quad (9)$$

$$\sum P_p < \sum \Delta P_{дг} + \sum \Delta P_{п}. \quad (10)$$

Небалансная мощность при этом равна

$$P_{нб} = \sum P_p - \sum \Delta P_{дг} - \sum \Delta P_{п}. \quad (11)$$

И уравнивается эта небалансная мощность изменением общей собственной энергии  $W_c$  всех устройств, входящих в основной контур схемы

$$P_{нб} = \frac{dW_c}{dt}. \quad (12)$$

Под общей собственной энергией станда будем понимать сумму кинетической  $W_k$  и электромагнитной  $W_{эм}$  энергий испытуемых электромашин и преобразователей ПМ и ПЭ

$$W_c = W_k + W_{эм}; \quad (13)$$

$$W_k = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{J_i \omega_i^2}{2}, \quad (14)$$

где  $J_i$  – эквивалентный момент инерции  $i$ -го вращающегося элемента основного контура;  $\omega_i$  – угловая скорость  $i$ -го вращающегося элемента основного контура;

$$W_{эм} = \sum_{j=1}^{j=m} \frac{L_j i_j^2}{2}, \quad (15)$$

$L_j$  – индуктивность  $j$ -го элемента электрической цепи основного контура;  $i_j$  – сила тока  $j$ -го элемента электрической цепи основного контура.

Объединив (12) – (15), получим уравнение динамического равновесия мощностей в виде

$$P_{нб} = \sum_{i=1}^{i=n} J_i \cdot \omega_i \frac{d\omega_i}{dt} + \sum_{j=1}^{j=m} L_j \cdot i_j \frac{di_j}{dt}. \quad (16)$$

Несмотря на то, что кинетическая энергия вращающихся на стенде испытуемых электри-

ческих машин на несколько порядков больше электромагнитной энергии, накопленной в индуктивных элементах схемы, мгновенные значения мощностей, соответствующие изменениям этих энергий во времени, могут быть соизмеримы. Соотношение этих мощностей будет определяться, в том числе, и характером взаимосвязи между угловой скоростью вращения якорей испытуемых электромашин и сил токов в их обмотках. Необходимо отметить, что здесь имеются в виду не сами электромеханические характеристики испытуемых машин, а причинно-следственные связи упомянутых параметров. Эти связи между угловой скоростью и токами обмоток электромашин будут определяться выбранным вариантом схемы взаимной нагрузки. Анализ характера этих связей для различных вариантов схемы взаимной нагрузки очень важен для определения пределов устойчивости всей системы и выбора метода автоматического регулирования ею, а потому является предметом отдельного подробного исследования.

Возвращаясь к анализу энергетических соотношений в схеме взаимной нагрузки, заметим, что регуляторы электрической и механической мощностей РЭ и РМ должны быть рассчитаны с учётом составляющих небалансной мощности  $P_{нб}$ , входящих в неё в соответствии с уравнением (16). В противном случае, они будут перегружены в течение времени переходных процессов в механической и электрической частях станда.

Окончание же указанных переходных процессов будет характеризоваться уравнениями (5) нового статического равновесия или

$$P_{нб} = 0.$$

Это равновесие может наступить только в том случае, если увеличение подведенной к схеме взаимной нагрузки мощности  $\sum P_p$  приводит к росту потерь  $\sum \Delta P_{дг}$  и  $\sum \Delta P_{п}$ , которые она компенсирует, и наоборот. Это является энергетическим критерием устойчивости работы любого варианта схемы взаимной нагрузки. Причем, если в схеме разные виды потерь компенсируются различными регуляторами (источниками) мощности, то это условие должно соблюдаться для каждого отдельного вида потерь и регулятора (источника), который этот вид потерь компенсирует.

Этот принцип в первую очередь должен учитываться при выборе приоритетов в алгоритмах автоматического управления схемами

взаимной нагрузки, которые имеют узкий диапазон электромеханической устойчивости или вообще не устойчивы.

Здесь важно отметить, что внедрение систем автоматического управления работой схемы взаимной нагрузки позволяет при оптимизации её структуры рассматривать даже те варианты, которые при ручном управлении абсолютно неустойчивы.

Рассмотрим схему, приведенную на рис. 1, с точки зрения обеспечения возможности испытания по методу взаимной нагрузки электрических машин различных типов.

При испытании разнотипных машин даже одинаковой мощности, но отличающихся по номинальным значениям частоты вращения и напряжения (тока), наличие преобразователей ПМ и ПЭ является необходимым условием работы схемы.

В случае испытания по методу взаимной нагрузки двух машин, различающихся по номинальной мощности, в схеме необходимы дополнительные устройства отбора избыточной мощности. Исключением являются испытания, при которых электрическая машина большей номинальной мощности нагружается до номинальной мощности менее мощной машины.

С энергетической точки зрения возможно проведение испытаний более двух электрических машин в случае соблюдения условия

$$\sum P_{\text{нд}} \approx \sum P_{\text{нг}}, \quad (17)$$

где  $\sum P_{\text{нд}}$  – суммарная номинальная мощность электромашин, работающих в режиме двигателя;  $\sum P_{\text{нг}}$  – суммарная номинальная мощность электромашин, работающих в режиме генератора.

При проведении таких испытаний номинальные значения частот вращения, напряжений и токов электрических машин должны быть обеспечены соответствующей работой преобразователей механической и электрической мощности.

Энергоёмкость испытаний электромашин может быть оценена длительностью испытаний и суммарной мощностью, потребляемой из сети

$$P_{\text{с}} = \sum \Delta P_{\text{дг}} + \sum \Delta P_{\text{п}} + \sum \Delta P_{\text{р}} + \sum \Delta P_{\text{в}},$$

где  $\sum \Delta P_{\text{р}}$  – суммарная мощность потерь в регуляторах;  $\sum \Delta P_{\text{в}}$  – суммарная мощность потерь в системах возбуждения испытуемых машин.

$$\sum \Delta P_{\text{р}} = \Delta P_{\text{рЭ}} + \Delta P_{\text{рМ}} + \Delta P_{\text{рВД}} + \Delta P_{\text{рВГ}};$$

$$\Delta P_{\text{в}} = \Delta P_{\text{вД}} + \Delta P_{\text{вТ}}.$$

Необходимо отметить, что сумма  $(\sum \Delta P_{\text{дг}} + \sum \Delta P_{\text{в}})$  является полезной мощностью, затрачиваемой на проведение испытаний. Это те потери, которые не зависят, или, по крайней мере, не должны зависеть ни от структуры испытательного стенда, ни от характеристик источников, регуляторов, преобразователей и других устройств, входящих в стенд.

Более того, условия проведения испытаний должны обеспечивать полное соответствие характера потерь мощности в электромашинах при испытаниях условиям реальной их эксплуатации.

Суммарные потери мощности в преобразователях и регуляторах  $(\sum \Delta P_{\text{п}} + \sum \Delta P_{\text{р}})$  являются потерями, связанными с обеспечением испытаний, и должны быть минимизированы путем оптимизации структуры схемы взаимной нагрузки и выбора рациональных вариантов устройства преобразователей и регуляторов мощности.

Таким образом, коэффициент полезного действия, как процесса, целью которого является определение необходимых характеристик и параметров испытуемых электрических машин, может быть определен в виде

$$\eta = \frac{\sum P_{\text{дг}} + \sum P_{\text{в}}}{P_{\text{с}}}. \quad (18)$$

Оставив открытым вопрос о точном определении критериев оптимизации структуры схемы для испытания тяговых электрических машин, отметим, что минимизация себестоимости испытательного стенда и потерь  $\sum \Delta P_{\text{п}}$ ,  $\sum \Delta P_{\text{р}}$ , связанных с обеспечением испытаний, является основным направлением в решении общей задачи оптимизации.

Судя из схемы на рис. 1, такая минимизация может быть достигнута за счёт уменьшения числа последовательных преобразований энергии во вспомогательных устройствах или отказа от таких преобразований.

Наиболее рациональным, по-видимому, будет решение о компенсации всех потерь одним источником энергии. Это может быть как источник электрической мощности, подведенной к двигателю, так и источник механической мощности, подведенной к генератору.

Очевидным является рациональность включения обмоток возбуждения испытуемых электрических машин последовательного возбуждения, какими являются тяговые электромашинны, последовательно с их якорными цепями. При этом регуляторы возбуждения, если в них возникает необходимость, не должны представлять собой источники энергии. Т.е., необходимо отказаться от подпитки обмоток возбуждения, а использовать только их шунтирование, которое не вызывает дополнительных потерь мощности.

По возможности необходимо отказаться от преобразователей ПЭ и ПМ, в которых потери энергии, учитывая то, что они должны быть рассчитаны на максимальную мощность одной электрической машины, наибольшие. При ис-

пытании однотипных электрических машин это, как правило, легко достижимо.

Выполнение этих общих требований при выборе варианта схемы взаимной нагрузки является необходимым условием достижения высокой экономической эффективности от модернизации существующих станций для испытания тяговых электрических машин.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин [Текст] / Г. К. Жерве. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
2. Коварский, Е. М. Испытание электрических машин [Текст] / Е. М. Коварский, Ю. И. Янко. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.

Поступила в редколлегию 24.12.2008.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВЗОВ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ

Наведено основні результати визначення раціональних параметрів номінального режиму пасажирських електровозів з асинхронним тяговим приводом для залізниць України.

Приведены основные результаты определения рациональных параметров номинального режима пассажирских электровозов с асинхронным тяговым приводом для железных дорог Украины.

The basic results of determination of rational parameters of the nominal regime of passenger electric locomotives with an asynchronous hauling drive for railways of Ukraine are presented.

В связи с необходимостью обновления электровозного парка железных дорог Украины возникает необходимость определения рационального мощностного ряда электровозов. В настоящей статье приведены результаты решения этой задачи применительно к пассажирским электровозам с асинхронным тяговым приводом.

Наиболее важными внешними параметрами электровозов являются: мощность  $N_n$ , сила тяги  $F_k$  и скорость  $v_n$  номинального режима. Задача определения именно этих параметров возникает в первую очередь при составлении технических требований на новый электроподвижной состав.

Как показано в [1], в качестве показателей рациональности выбора внешних параметров электровоза целесообразно принять минимум затрат энергоресурсов на тягу поездов  $A$ , избыточной мощности потребного локомотивного парка  $y_N$  и кратности тяги  $y_k$ , поскольку снижение численных значений этих показателей ведет к уменьшению капитальных вложений на обновление локомотивного парка и снижению эксплуатационных затрат, а следовательно обуславливает повышение конкурентоспособности железнодорожных перевозок. В этом случае задача определения рационального мощностного ряда может быть сформулирована следующим образом.

Для заданных значений:

- реализуемой технической скорости движения  $v_t$ ;
  - составности поездов  $n$ ;
  - маршрута движения поездов
- найти такой ряд сочетаний параметров номинального режима пассажирских электровозов

$\{N_{n1}, v_{n1}, F_{kn1}\}; \{N_{n2}, v_{n2}, F_{kn2}\}; \dots; \{N_{nn}, v_{nn}, F_{knn}\}$ , которые будут удовлетворять условиям:

$$\left. \begin{array}{l} A \\ y_N \\ y_k \end{array} \right\} \rightarrow \min \quad (1)$$

при выполнении условий:

$$\text{ускорение при } v_n \left. \frac{dv}{dt} \right|_{\substack{0 \leq v \leq v_n \\ i = 0\%}} \geq a_{пз};$$

$$\text{ускорение при } v_k \left. \frac{dv}{dt} \right|_{\substack{v = v_k \\ i = 0\%}} \geq a_{оз}; \quad (2)$$

$$\text{пусковая сила тяги } F_{кп} \leq F_{сц},$$

где  $F_{сц}$  – расчетная сила сцепления электровоза;  $a_{пз}$ , и  $a_{оз}$  – заданные значения ускорения поезда.

Как показано в [2], при выборе массы электровоза из условия полного использования возможности реализации силы тяги по сцеплению оптимальное по минимуму затрат электроэнергии на тягу поезда управление поездом и соответствующий ему расход электроэнергии на 1 т·км работы, а также приходящаяся на 1 т массы поезда мощность номинального режима не зависит от массы поезда и определяется только типом привода (коллекторный, асинхронный) и заданным временем хода по участку или величиной технической скорости. Поэтому задача (1) распадается на две самостоятельные задачи выбора:

- соответствующей удельной мощности тяги  $N_y$ , скорости номинального режима  $v_n$  из условия

$$A \rightarrow \min \quad (3)$$

при выполнении условия (2);

– мощности номинального режима из условия

$$\left. \begin{matrix} y_N \\ y_k \end{matrix} \right\} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Для решения задачи  $A \rightarrow \min$  (3) использована методика, подробно изложенная в [3].

В результате, для принятого в качестве расчетного участка Днепропетровск – Киев получены зависимости оптимальных по минимуму расхода электроэнергии значений скорости номинального режима  $v_{н(опт)}$  и удельной мощности тяги  $N_y$  от требуемой технической скорости движения (рис. 1 и 2). Кривые 1 соответствуют действующим ограничениям скорости, а кривые 2 – случаю, когда для всех перегонов участка установлена допустимая скорость движения 140 км/ч. Расчет выполнен для ускорений  $a_{п} = 0,3 \text{ м/с}^2$  и  $a_0 = 0,05 \text{ м/с}^2$ . Показанная пунктиром часть зависимостей  $v_{н(опт)}(v_t)$  и  $N_{y(опт)}(v_t)$  не может приниматься к рассмотрению, т.к. для нее ускорение  $a_0 < 0,05 \text{ м/с}^2$ .

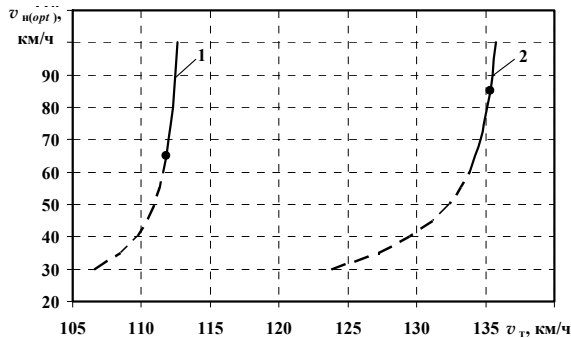


Рис. 1. Зависимость скорости номинального режима от технической скорости движения

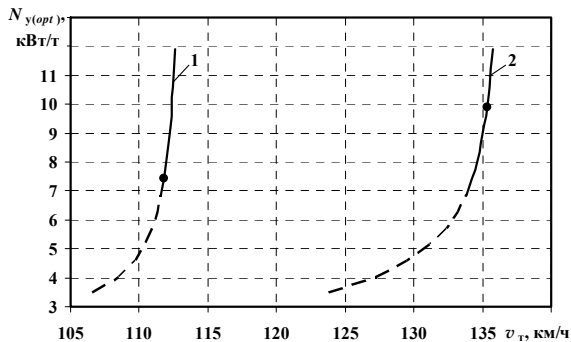


Рис. 2. Зависимость удельной мощности номинального режима от технической скорости движения

Приведенные данные расчетов позволяют сделать вывод о том, что уровень достижимой скорости движения определяется двумя основными факторами: удельной мощностью номи-

нального режима и уровнем допустимой скорости движения на участке.

Так, при существующих ограничениях максимальной скорости может быть реализована техническая скорость движения порядка 110 км/ч. Для этого удельная мощность тяги должна составлять 7,5 кВт/т, что соответствует скорости номинального режима 65...70 км/ч.

Однако, Укрзалізниця планирует повышение скоростей движения пассажирских поездов, как следует из табл. 1, до 135 км/ч.

Таблица 1

**Расчетное время нахождения поездов в движении и необходимые на перспективу уровни технической скорости движения поездов  $v_t$  на основных направлениях пассажирских перевозок Укрзалізниця**

| Направление сообщения               | Расстояние, км | Время пребывания поезда в движении, час:мин. | $v_t$ , км/ч | Род тока   |
|-------------------------------------|----------------|--|--------------|------------|
| Киев–Полтава                        | 336            | 2:30   | 134.4        | переменный |
| Полтава–Харьков                     | 155            | 1:10   | 132.9        | тепловоз   |
| Киев–Харьков                        | 491            | 3:40   | 133.9        | -          |
| Киев–Днепропетровск (через Полтаву) | 531            | 4:00   | 132.8        | перем/пост |
| Киев–Луганск (через Полтаву)        | 804            | 7:05   | 113.5        | перем/пост |
| Днепропетровск–Симферополь          | 485            | 3:40   | 132.3        | постоянный |
| Киев–Одесса                         | 652            | 5:00   | 130.4        | переменный |

Как следует из графиков рис. 1 и 2, планируемое повышение технической скорости движения может быть достигнуто за счет повышения допустимых скоростей движения до уровня 140...160 км/ч и ввода в эксплуатацию электропоездов, обеспечивающих при скорости номинального режима 80...85 км/ч реализацию удельной мощности тяги 10 кВт/т.

Потребная мощность номинального режима пассажирских электропоездов при заданной скорости  $v_n$  определяется массой поезда. Это следует из приведенной в [4] формулы, которую для асинхронного привода можно представить в виде

$$N_n = 2,725 [1 + k_p] [w_{он} + 102 a_n (1 + \gamma)] v_n Q, \quad (5)$$

где  $N_n$  – мощность продолжительного режима электропоезда, Вт;

$v_n$  – скорость номинального режима электровоза, км/ч;

$k_p$  – коэффициент, который представляет собой долю массы локомотива от массы состава [5];

$a_n$  – значение пускового ускорения, м/с<sup>2</sup>;

$(1+\gamma)$  – коэффициент инерции вращающихся масс;

$w_{он}$  – основное удельное сопротивление движению поезда в режиме тяги при скорости  $v_n$ .

Масса пассажирских поездов определяется их составностью. Поскольку последняя для поездов различных назначений колеблется в широких пределах, как следует из данных рис. 3, то распределение потребной мощности электровозов должно быть определено с учетом доли всех поездо-участков в формировании численности пассажирского парка Укрзализныци.

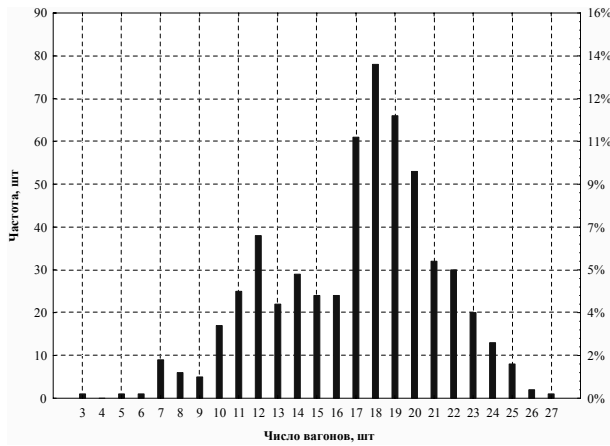


Рис. 3. Распределение составности пассажирских поездов по железным дорогам Украины

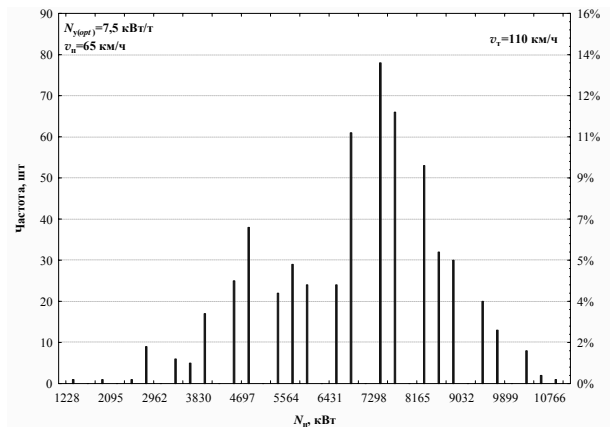


Рис. 4. Распределение потребной мощности номинального режима пассажирских электровозов для железных дорог Укрзализныци при  $v_T = 110$  км/ч

В качестве первого приближения можно принять, что участки, обслуживаемые электровозами всех дорог, характеризуются одинаковыми

распределениями составности пассажирских поездов. Тогда распределение потребной мощности может быть получено с помощью формулы (5) непосредственно на основании распределения составности поездов. Для двух рассматриваемых случаев ( $v_T = 110$  км/ч и  $v_T = 135$  км/ч) они показаны на рис. 4 и 5.

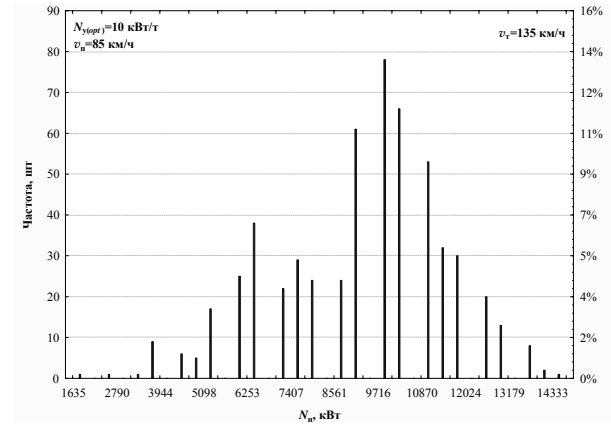


Рис. 5. Распределение потребной мощности номинального режима пассажирских электровозов для железных дорог Укрзализныци при  $v_T = 135$  км/ч

На основании полученного распределения потребной мощности номинального режима решена задача (4). В результате использования предложенной в [6] методики получены несравнимые по Парето сочетания показателей оптимизации мощностного ряда (избыточная мощность  $y_N$  и средняя кратность тяги  $y_k$ ) на интервале изменения потребной мощности номинального режима. При решении задачи предполагалось, что необходимые для реализации требуемой мощности тяговые сцепы формировались из однотипных тяговых модулей. Результаты расчетов приведены на рис. 6 и 7.

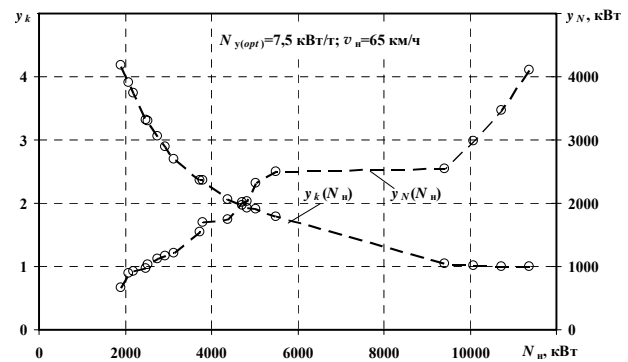


Рис. 6. Зависимость избыточной мощности  $y_N$  и кратности тяги  $y_k$  от мощности тягового модуля  $X$  (для реализации технической скорости движения 110 км/ч)

Анализ данных рис. 6 и 7 указывает на наличие мощности тягового модуля, выгодной с точки зрения снижения недоиспользованной

мощности. Так, при  $v_t = 110$  км/ч можно реализовать мощность  $N_n = 4800$  кВт/т, которая при кратности тяги  $y_k = 1,93$ , близкой к сложившейся в настоящее время в практике применения двухсекционных локомотивов, обеспечивает снижение избыточной мощности с 56 % до 28 % (вдвое). Как нетрудно установить, сопоставляя рис. 3 и 4, для вождения поездов составностью до 12 вагонов требуется один тяговый модуль, а выше 12 вагонов – два модуля.

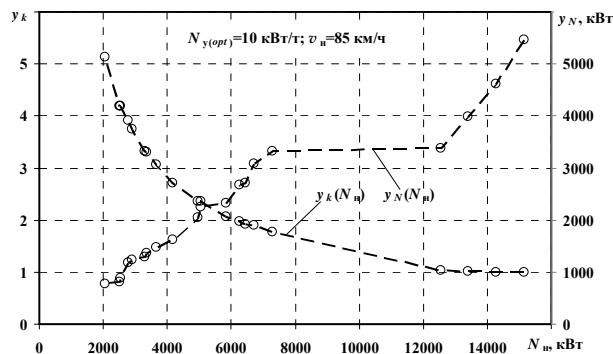


Рис. 7. Зависимость избыточной мощности  $y_N$  и кратности тяги  $y_k$  от мощности тягового модуля  $X$  (для реализации технической скорости движения 135 км/ч)

Отметим, что указанные параметры номинального режима тягового модуля полностью соответствуют параметрам электровоза ДСЗ, эксплуатация которого требует при составности выше 12 вагонов применения двойной тяги.

На перспективу необходима реализация технической скорости 135 км/ч. Для этого требуется, как следует из данных рис. 5 и 7, увеличение мощности номинального режима до 6400 кВт. Причем, парк должен включать 84 % двухсекционных и 16 % односекционных электровозов.

Такие электровозы реализуемы технически в четырехосном и восьмиосном вариантах. Их тяговые характеристики будут соответствовать приведенным на рис. 8.

В заключение следует отметить, что ввод в эксплуатацию одно- и двухсекционных электровозов обеспечивает снижение количества потребных для вождения поездов секций на 8 % при соответствующем снижении расходов на содержание подвижного состава.

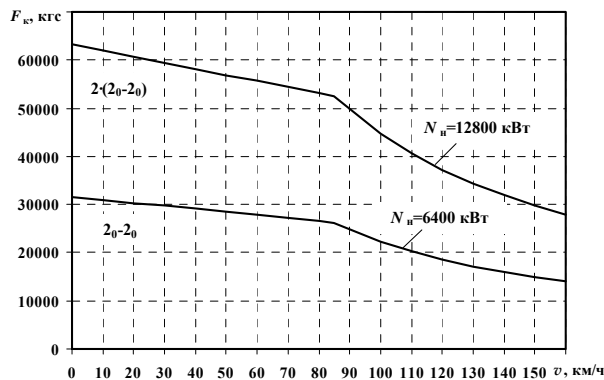


Рис. 8. Тяговые характеристики перспективных пассажирских электровозов с асинхронным тяговым приводом

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гетьман, Г. К. Определение оптимальной по минимуму расхода энергии на движение поезда мощности локомотива [Текст] / Г. К. Гетьман // Транспорт. Математичне моделювання в інженерних та економічних задачах транспорту : зб. наук. пр. / за ред. А. А. Босова та ін. – Д.: Січ, 1999. – С. 177-182.
2. Гетьман, Г. К. Выбор параметров номинального режима электровозов для грузовых перевозок [Текст] / Г. К. Гетьман // Вісник Східноукр. держ. ун-ту ім. В. Даля. – Вип. 8 (114). – Ч. 2. – Луганськ: СУДУ, 2007. – С. 31-36.
3. Гетьман, Г. К. Выбор оптимальных параметров перспективных электровозов для грузового движения [Текст] / Г. К. Гетьман // Залізн. трансп. України. – 2000. – № 3. – С. 47-51.
4. Гетьман, Г. К. Определение рациональных параметров номинального режима тяговых средств рельсового транспорта [Текст] / Г. К. Гетьман, Ю. В. Михайленко, С. В. Арпуль // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 22. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 13-17.
5. Арпуль, С. В. Моделирование области допустимых управлений уравнения движения пассажирского поезда [Текст] / С. В. Арпуль // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2003. – Вип. 4. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2003. – С. 17-23.
6. Гетьман, Г. К. Определение оптимальной градации мощности локомотивов для осуществления грузовых перевозок на заданной железнодорожной линии [Текст] / Г. К. Гетьман // Вісник Харк. держ. політехн. ун-ту : зб. наук. пр. – Вип. 49. – Х.: ХДПУ, 1999. – С. 30-35.

Поступила в редколлегію 24.12.2008.

Наукове видання

# В І С Н И К

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

Випуск 25

Українською, російською та англійською мовами

Відповідальний за випуск *І. П. Корженевич*  
Комп'ютерна верстка *В. В. Кузьменко*

*Статті в збірнику друкуються в авторській редакції*

Здано до набору 29.12.2008. Підписано до друку 29.12.2008. Формат 60×84 1/8.  
Папір офсетний. Друк офсетний. Умов. друк. арк. 31,04.  
Обл.-вид. арк. 31,93. Тираж 100 прим. Зам. № 191. Вид. № 28.

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного  
транспорту імені академіка В. Лазаряна. ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:  
49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, [www.diitrvv.dp.ua](http://www.diitrvv.dp.ua)