

96  
L51

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ



# ВІСНИК

Дніпропетровського національного  
університету залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 12

Дніпропетровськ  
2006

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'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 12*

Дніпропетровськ  
2006

Редакційна колегія:

Головний редактор д-р техн. наук *Пишійко О. М.*  
Члени редколегії: д-ри техн. наук *Біляєв М. М., Блохін Є. П., Боднар Б. Є., Босов А. А., Браташ В. О., Гетьман Г. К., Даніленко Е. І., Доманський В. Т., Дубинець Л. В., Жуковицький І. В., Загарій Г. І., Казакевич М. І., Коротенко М. Л., Костін М. О., Петренко В. Д., Пунагін В. М., Рибкін В. В., Разгонов А. П., Савчук О. М., Хандецький В. С., Шафіт Є. М.*;  
д-ри фіз.-мат. наук *Гаврилюк В. І., Кравець В. В.*;  
д-ри хім. наук *Плахотнік В. М., Фєдін О. В.*;  
д-ри екон. наук *Бабіч В. П., Драгун Л. М., Зайцева Л. М., 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 25.12.2006, протокол № 6*

**Вісник** Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка  
В. Лазаряна. – Вип. 12. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна,  
2006. – 4: 2 с.

У статтях наведені 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, екологія 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, матеріалознавство.

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, экология 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, материаловедение.

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 «АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА ТРАНСПОРТІ»**

<b>В. И. ГАВРИЛЮК, В. Ю. ДУБ (ДИИТ)</b> ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ .....	7
<b>В. В. БЕЗРУКОВ, К. В. ГОНЧАРОВ, Д. Ф. ІВАХНЕНКО (ДІТ)</b> ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БАЗОВИХ МЕТОДІВ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ АНАЛОГОВОЇ СИСТЕМИ .....	12

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

<b>В. В. БЕЛЯЕВА (ДИИТ)</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕГАЗАЦИИ ПОМЕЩЕНИЯ ПОСЛЕ АВАРИИ .....	17
<b>Н. Н. БЕЛЯЕВ, И. В. КАЛАШНИКОВ (ДИИТ)</b> ПРИМЕНЕНИЕ ОТКАЧИВАЮЩИХ СКВАЖИН ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНОГО ПОТОКА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ .....	21
<b>Н. Н. БЕЛЯЕВ, В. М. ЛИСНЯК (ДИИТ)</b> ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ВОСХОДЯЩИХ СТРУЙ .....	25
<b>Н. Н. БЕЛЯЕВ, И. Е. МЕЛЬНИК (ДИИТ)</b> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ ВЕЩЕСТВ В КАМЕРЕ СМЕШЕНИЯ .....	30

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

<b>Л. В. ДУБІНЕЦЬ, О. О. КАРЗОВА, О. Л. МАРЕНИЧ, О. І. МОМОТ (ДІТ)</b> УНІФІКАЦІЯ РЕЛЕ – ЕФЕКТИВНИЙ ШЛЯХ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМИМ СКЛАДОМ У СУЧАСНИХ УМОВАХ .....	34
<b>В. Г. КУЗНЕЦОВ, Р. С. МЫЦКО, Д. А. БОСЫЙ (ДИИТ)</b> ОЦЕНКА ПОТРЕБЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТЯГОВОЙ СЕТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ .....	36

#### **РОЗДІЛ «ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ»**

<b>М. Б. КУРГАН, М. А. ЗАЯЦ (ДІТ)</b> ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ОВОЛОДІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПОЇЗДІВ НА ОДНІЙ З ПАРАЛЕЛЬНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЛІНІЙ .....	41
<b>М. Б. КУРГАН, Д. М. КУРГАН (ДІТ), В. І. ХАРЛАН (Придніпровська залізниця)</b> ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ З ПРИМУСОВИМ НАХИЛОМ КУЗОВІВ ВАГОНІВ В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ .....	47
<b>И. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДИИТ)</b> НОВЫЕ СПОСОБЫ СЪЕМКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КРИВЫХ .....	53

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

<b>Б. Е. БОДНАРЬ, А. А. БОСОВ, Д. В. БОБЫРЬ (ДИИТ)</b> О НЕСРАВНИМЫХ ВАРИАНТАХ В ЗАДАЧЕ ТЯГОВЫХ РАСЧЕТОВ .....	57
<b>А. А. БОСОВ, П. В. БЕХ (ДИИТ)</b> РАЦИОНАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ НА СЕТИ .....	60
<b>И. С. ДМИТРИЕВА, И. Н. КУКУШКИНА (ДИИТ)</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЕЗДОВ .....	66
<b>RADISAV VUKADINOVIĆ, ZORAN ĆEKEREVAC (Railway College, Serbia and Montenegro)</b> DEFINING AND ASSESSING THE LEVEL OF RAILWAY TRAFFIC SECURITY .....	70
<b>І. В. ЖУКОВИЦЬКИЙ, В. В. СКАЛОЗУБ, О. В. ВЕТРОВА (ДІТ), О. Л. ЗІНЕНКО (ДП Придніпровська залізниця)</b> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ І ЛОКОМОТИВНИХ БРИГАД .....	74
<b>Д. М. КОЗАЧЕНКО, М. І. БЕРЕЗОВИЙ, Р. Г. КОРОБІЙОВА (ДІТ)</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ВІДЧЕПІВ ТА УМОВ ЇХ СКОЧУВАННЯ НА ВЕЛИЧИНУ ІНТЕРВАЛІВ НА РОЗДІЛОВИХ СТІЛКАХ .....	79
<b>Д. А. ОСТАПЕЦ (ДИИТ)</b> СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ СКАТЫВАНИЯ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ .....	83
<b>О. Ю. ПАПАХОВ, А. М. ОКороков (ДІТ)</b> ЗМІНА ЕКВІВАЛЕНТІВ ПЕРЕРОБКИ ВАГОНІВ ТА ЕКОНОМІЇ ЛОКОМОТИВО- І БРИГАДО-ГОДИН В УМОВАХ РИНКУ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ .....	88
<b>О. Ю. ПАПАХОВ, О. М. ЛОГВИНОВ (ДІТ)</b> ЕЛЕМЕНТИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПЛАНУ ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ .....	91
<b>В. Э. ПАРУНАКЯН, В. Г. ДЖЕНЧАКО (ПДТУ)</b> РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАЗОГРЕВА ГРУЗОВ В КОНВЕКТИВНЫХ ГАРАЖАХ РАЗМОРАЖИВАНИЯ .....	93

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

<b>И. Е. ЛЕВИЦКИЙ (Одесская ж. д.)</b> ПРОБЛЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТА УКРАИНЫ .....	100
<b>А. С. САВЕНКО, С. И. МУЗЫКИНА (ДИИТ)</b> ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ И КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ГРУЗОНАПРЯЖЕННЫХ УЧАСТКАХ .....	104

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

<b>А. М. БАБАЕВ, Н. В. БОДНЯ, Н. Я. ГАРКАВИ (ДИИТ)</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ АВТОНОМНОГО РЕЛЬСОВОГО ЭКИПАЖА .....	107
<b>А. М. БАБАЕВ, М. А. ЯКОВЕНКО (ДИИТ)</b> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЗОВ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ УСТАНОВКИ КОЛОДОК .....	110
<b>Г. Г. БАСОВ, В. И. НЕСТЕРЕНКО, М. Л. БУРКА (ОАО «ХК Лугансктепловоз»)</b> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕМПФИРОВАНИЯ В РЕССОРНОМ ПОДВЕШИВАНИИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА .....	113
<b>Е. П. БЛОХИН, М. Л. КОРОТЕНКО, С. В. МЯМЛИН, Р. Б. ГРАНОВСКИЙ, В. Л. ГОРОБЕЦ, Н. Я. ГАРКАВИ, Е. Ф. ФЕДОРОВ, В. В. КЛЮЕВСКИЙ (ДИИТ), Ю. М. ЧЕРКАШИН (ВНИИЖТ, Россия), Л. А. МАНАШКИН (Mechanical Engineering Department, NJIT, США)</b> К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ .....	119

<b>Ю. Я. ВОДЯННИКОВ, С. А. СТОЛЕТОВ, С. В. КУКИН, А. В. ГРЕЧКО, (УкрНИИВ)</b> ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТОРМОЗНОМ ДИСКЕ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА ПРИ ЭКСТРЕННЫХ ТОРМОЖЕНИЯХ .....	128
<b>А. Н. КИРЕЕВ (ОАО «ХК Лугансктепловоз»)</b> ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ КАТАНЫХ КОЛЕСНЫХ ЦЕНТРОВ ЛОКОМОТИВОВ В РАДИАЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ .....	133
<b>В. А. ПОЛЯКОВ, Н. М. ХАЧАПУРИДЗЕ (ИТСТ НАН Украины)</b> ТЕРМИНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МАГИТОЛЕВЕТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНОГО СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ .....	138
<b>В. И. ПРИХОДЬКО (ОАО «Крюковский вагоностроительный завод»)</b> РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА .....	146
<b>А. И. ЯЛОВОЙ (ОАО «Завод точного литья»)</b> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ .....	153

## **РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»**

<b>О. М. ГАВРИШ (Адміністрація Державної спеціальної служби транспорту), С. О. ЯКОВЛЄВ, М. В. БОРЕНКО, В. Є. ГУМЕНЮК (ДІТ)</b> ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ БУДІВЕЛЬНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ .....	161
<b>О. В. ГРОМОВА (ДІТ)</b> ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ СТРУКТУРНОЇ СУМІСНОСТІ МАТЕРІАЛІВ СТАРОГО І НОВОГО БЕТОНІВ ПІД ЧАС РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД .....	165
<b>Л. А. ГУБАЧЕВА (Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля)</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЕРТКИ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ВО ВТУЛКУ .....	170
<b>А. М. ЗІНКЕВИЧ (ДІТ)</b> ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ СУХОЇ СУМІШІ ДЛЯ РЕМОНТУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ІН'ЄКТУВАННЯМ .....	175
<b>Б. Г. КЛОЧКО, М. А. ПРИЛЕПОВА (ІГАСА)</b> ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ТРЕБОВАНИЯ К УПРАВЛЕНИЮ СТОИМОСТЬЮ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА .....	177
<b>В. О. МОМОТ (ДІТ)</b> РОЗРОБКА ВИСОКОРУХЛИВИХ РОЗЧИНІВ ДЛЯ РЕМОНТУ БЕТОННИХ ТА КАМ'ЯНИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД СПОСОБОМ ПІДВОДНОГО ІН'ЄКТУВАННЯ .....	181
<b>М. І. МАЛЬКОВ, О. О. СТЕПАНЕНКО, (Адміністрація Держспецтрансслужби), А. В. РАДКЕВИЧ, В. Ф. ХУДЕНКО (ДІТ)</b> ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ БОЄЗДАТНОСТІ ОРГАНІВ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖСПЕЦТРАНССЛУЖБИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ЗА ПРИЗНАЧЕННЯМ .....	184
<b>Б. В. САВЧИНСКИЙ (ДИИТ)</b> ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ .....	188
<b>С. С. СЕМЕНЕЦ (УГХТУ), В. П. АФАНАСЬЕВ (ДИИТ)</b> МОДЕЛИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЕРВУАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....	191
<b>Н. Н. СЕНДЕЦКИЙ (Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники Вооруженных сил Украины)</b> ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ МОБИЛЬНОСТИ КОМПЛЕКСА ДЛЯ СБОРКИ И УКЛАДКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ .....	198
<b>Б. Д. СУХОРУКОВ (ДИИТ)</b> МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ МЕЖДУ БАЛКАМИ В ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЯХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ ПО ДАННЫМ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ .....	202
<b>А. Л. ТЮТЬКИН (ДИИТ)</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ТОННЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....	208

# ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК

## РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»

<b>Д. В. БЕЗУГЛЫЙ, Т. В. ТЮТЮННИК (ПГАСА)</b> КОНТРОЛЛІНГ В СИСТЕМЕ СОВРЕМЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ .....	215
<b>С. В. ГЕРАСИМОВА (Київський національний університет імені Тараса Шевченка)</b> ОЗНАКИ КОНС'ЮМЕРИЗМУ В ІНВЕСТИЦІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ АКЦІОНЕРНИХ ТОВАРИСТВ.....	219
<b>Н. В. ГНЕННЫЙ, О. Н. ГНЕННЫЙ (ДИИТ)</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОИМОСТНОГО ИЗНОСА ЗДАНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ .....	223
<b>О. М. ГНЕННИЙ, І. І. СИДОРЕНКО (ДІТ)</b> РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ РУХОМОГО СКЛАДУ ДЛЯ ПАСАЖИРСЬКОГО ПОЇЗДА.....	229
<b>ZORAN ČEKEREVAC, SLOBODAN RISTIĆ (Railway College, Serbia and Montenegro)</b> THE CONCEPT, TRAITS AND CHARACTERISTICS OF THE DIRECTOR-ORGANIZER-MANAGER PERSONALITY .....	233
<b>С. В. КАЛАМБЕТ, Л. В. ПРИВАЛОВА, М. М. СЕРГІЄНКО (ДІТ)</b> МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО АНАЛІЗУ ВИТРАТ ПІДПРИЄМСТВ ЛОКОМОТИВНОГО ГОСПОДАРСТВА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ .....	237
<b>С. А. КОРЕЦКАЯ (ДИИТ)</b> МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ ЗАПАСАМИ С ПОЗИЦИЙ ЛОГИСТИКИ.....	241
<b>І. В. МАЛИШКО, Л. І. МАЛИШКО, Л. В. ПИЛИПЕНКО (Укрзалізниця) В. І. РОМАНКО (ДІТ)</b> СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ.....	245
<b>В. В. СКАЛОЗУБ, Ю. С. БАРАШ, І. М. ВИШНЯКОВА (ДІТ)</b> УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУ ФОРМУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ З УРАХУВАННЯМ ОБСЯГІВ ІНВЕСТИЦІЙ .....	249
<b>П. А. ФИСУНЕНКО, Л. Е. КОСЕНКО, Н. А. БОЛСУНОВА (ПГАСА)</b> ПУТИ РАЗВИТИЯ УЧЕТА И АНАЛИЗА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИКОЙ ПРЕДПРИЯТИЯ (ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ).....	256
<b>І. М. ЦУРКАН (Національний гірничий університет)</b> СТИМУЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ЗАСОБАМИ ПОДАТКОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ.....	261
<b>А. А. ШУЛЬГА (ДІТ)</b> СИСТЕМА ОПОДАТКУВАННЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ФІНАНСОВО-ГОСПОДАРСЬКУ ДІЯЛЬНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВ .....	268
<b>А. В. ШУЛЬГА, Е. А. ТОПОРКОВА (ДИИТ)</b> СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ЗАТРАТАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	272
<b>Є. О. ЯКОВЕНКО (Державна податкова адміністрація у Дніпропетровській області)</b> МОДЕЛЬ ОПЦІОННОГО КОНТРАКТУ ЗІ ЗМІННИМ ТЕРМІНОМ ДІЇ.....	276

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Проведено аналіз існуючих методів побудови діагностичних тестів дискретних пристроїв, розроблено алгоритми та програма побудови перевіряючих та діагностичних тестів для релейно-контактної апаратури залізничної автоматики.

Проведен анализ существующих методов построения диагностических тестов дискретных устройств, разработаны алгоритмы и программа построения проверяющих и диагностических тестов для релейно-контактной аппаратуры железнодорожной автоматики.

The analysis of existing methods of construction of diagnostic tests of discrete devices is carried out, algorithms and the program of construction of checking and diagnostic tests for the relay-contact equipment of railway automatics are developed.

### Введение

Для обеспечения бесперебойной работы систем регулирования движением поездов нормативными документами предусмотрено проведение периодического контроля параметров аппаратуры в ремонтно-технологическом участке (РТУ) дистанции сигнализации и связи. Существующая технология контроля параметров реле и релейных блоков в РТУ довольно трудоемкая и имеет целый ряд недостатков, в том числе большое количество ручных операций, низкая точность измерений, высокая субъективность результатов контроля, значительные затраты времени. Ряд важных параметров вообще не измеряются, поскольку в РТУ отсутствуют необходимые технические средства. Повышение эффективности технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики в современных условиях возможно путем автоматизации контроля и диагностирования их параметров.

Одной из основных задач при разработке автоматизированных диагностических систем является построение тестов и алгоритмов диагностирования, которые позволили бы с высокой достоверностью провести контроль работоспособности релейно-контактных устройства железнодорожной автоматики, а при обнаружении неисправности локализовать ее с заданной точностью. Несмотря на довольно большое количество работ, в которых рассматриваются вопросы построения тестов для дискретных и гибридных устройств автоматики [1–5], ряд вопросов по построению проверяющих и диагностических тестов для релейно-контактных блоков железнодорожной автоматики не получил должного развития.

Релейно-контактные блоки железнодорожной автоматики при составлении тестов можно рассматривать как дискретные устройства [1–3]. Однако входные и выходные электрические параметры, а также временные задержки изменения состояния блока могут принимать непрерывный спектр значений. К тому же в ряде блоков и узлов производится селекция электрических сигналов по амплитуде, временным параметрам, количеству импульсов, несущей частоте (например, приемная аппаратура рельсовой цепи, дешифратор числового кода).

При тестировании блоков железнодорожной автоматики, как правило, доступно для использования ограниченное число выводов (входные и выходные выводы), тест должен выполняться в течение небольшого интервала времени и, по возможности, с минимальным участием оператора. Проверяющий тест должен соответствовать утвержденным отраслевым нормативным документам, а результаты проверки работоспособности должны быть достоверными.

Задача диагностирования реле и релейных блоков железнодорожной автоматики усложняется тем, что до настоящего времени не разработаны достоверные методы автоматизированного контроля механических параметров реле. Релейно-контактные блоки железнодорожной автоматики содержат также другие электротехнические компоненты (конденсаторы, резисторы, полупроводниковые диоды и т. д.), в которых могут возникать неисправности или недопустимые изменения их параметров,

С учетом рассмотренной специфики блоков, их структуры, требований к ним по надежности и безопасности, а также большого количества реле и релейных блоков железно-



дорожной автоматики разработка автоматизированных стендов для контроля и диагностики их параметров является актуальной задачей. Однако построение рациональных тестов для автоматизированного диагностирования блоков является довольно громоздкой и сложной задачей. В этой связи представляет практический интерес решение задачи упрощения процесса составления диагностических тестов с применением компьютерных технологий.

Целью работы является разработка методов компьютерного составления диагностических тестов для релейных блоков железнодорожной автоматики. Для этого в работе проведен анализ существующих методов построения тестов дискретных устройств и на этой основе разработаны алгоритмы и программа построения проверяющих и диагностических тестов для релейно-контактной аппаратуры железнодорожной автоматики.

### Анализ проблемы

Диагностирование, т. е. определение технического состояния устройства, проводится по диагностическим признакам (ДП). Эти признаки выбираются в результате анализа диагностической модели, под которой понимается формальное описание объекта диагностирования (ОД), учитывающее изменение его состояний. ОД представляют в виде устройства, имеющего входы и доступные наблюдению выходы.

Процесс диагностирования представляет собой последовательность операций, каждая из которых предусматривает подачу на входы объекта некоторого воздействия и определения на выходах реакции на его воздействие. Такую элементарную операцию называют проверкой  $\pi$ . В качестве выходов наблюдения могут служить основные или рабочие выходы системы, а также дополнительные (контрольные) выходы.

Совокупность проверок, позволяющих решать какую-либо из задач диагноза, называют тестом  $T = \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ . Под длиной теста понимают число входящих в него проверок. Проверяющий тест  $T_\pi$  – это совокупность проверок, позволяющая обнаружить в системе любую неоднородность из заданного списка. Проверяющий тест решает задачи проверки исправности системы и проверки работоспособности. Диагностический тест  $T_d$  – это совокупность проверок, позволяющая указать место неисправности с точностью до классов эквивалентных неисправностей. Таким образом, для построения тестов и алгоритмов диагностирования необходимо иметь

формальное описание объекта и его поведения в исправном и неисправном состояниях, т. е. математическую модель.

В качестве математической модели релейно-контактных блоков железнодорожной автоматики с относительно небольшим числом контактов можно использовать представление таблицей истинности для комбинационных объектов и таблицами переходов и выходов для последовательных объектов. При этом диагностирование сводится к анализу входных и выходных последовательностей. Представим ОД в виде дискретного автомата как показано на рис. 1.

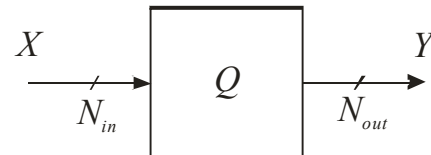


Рис. 1. Схематическое представление ОД

На рис. 1 приняты следующие обозначения  $X = \{x_k\}$  ( $k=1 \dots K$ ),  $Y = \{y_m\}$  ( $m=1 \dots M$ ) – множества входных и выходных сигналов,  $Q = \{q_n\}$ , ( $n=1 \dots N$ ) – множество внутренних состояний объекта диагностирования. Элементы множества могут быть многозначными двоичными числами в соответствии с размерностью входной  $N_{in}$  и выходной  $N_{out}$  шины. Очевидно, количество всех возможных комбинаций входных и выходных сигналов связано с размерностью входной и выходной шины следующим образом:

$$K = 2^{N_{in}}; \quad M = 2^{N_{out}}.$$

Максимально возможное количество комбинаций входных сигналов определяет максимальную длину тривиального неоптимизированного теста для комбинационных дискретных блоков, в котором каждый элемент множества  $X = \{x_k\}$  представляет собой элементарную проверку. Последовательность проведения элементарных проверок для построения теста (но не алгоритма) является безразличной. Количество всех возможных внутренних состояний дискретного устройства определяется количеством ключей (контактов)  $N_k$ , которые могут изменять свои состояния и определяются формулой  $N = 2^{N_k}$ .

Очевидно, для исправного объекта диагностирования разрешенными могут быть не все возможные сочетания состояний ключей в силу определенной логической взаимозависимости между ними.

Наиболее вероятными дефектами контактных схем, появляющихся в процессе эксплуатации являются обрыв контакта, короткое замыкание контакта, ложное несрабатывание или срабатывание реле, обрыв соединительного провода,дребезг контакта, отклонение временных параметров [1–5].

Для релейно-контактных схем наиболее простой моделью физической неисправности является модель логической константной неисправности (stuck fault model). На рис. 2 приведено схематическое изображение реле с  $k$ -ой контактной группой. Обозначим соединение общего контакта  $a_k$  с фронтовым или тыловым контактом соответственно через  $a_{k,\phi}$  и  $a_{k,\tau}$ . Для исправного реле при отсутствии рабочего напряжения на его обмотке ( $X=0$ )  $a_{k,\phi}=0$ ,  $a_{k,\tau}=1$ . При подаче напряжения на вход ( $X=1$ ) состояние контактов изменяются  $a_{k,\phi}=1$ ,  $a_{k,\tau}=0$ .

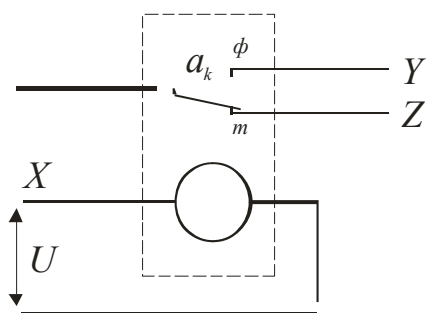


Рис. 2. Схематическое представление реле

Все возможные неисправности контактов реле можно условно разделить на два типа: обрыв, когда цепь, в которую включен данный контакт, остается разомкнутой независимо от состояния реле; короткое замыкание – цепь остается замкнутой независимо от состояния реле. Неисправный фронтовой контакт реализует «константа 0», а при коротком замыкании «константа 1», независимо от наличия или отсутствия управляющего напряжения на входе реле. Обозначим эти константные неисправности соответственно через  $a_{k,\phi}^0$  и  $a_{k,\tau}^1$ . Аналогичные константные неисправности для замыкающего (тылового) контакта обозначим в виде  $a_{k,\phi}^1$  и  $a_{k,\tau}^0$ . Все остальные неисправности реле при построении логической модели сводят к ложному включению и ложному выключению. Неисправность «ложное включение обмотки» эквивалентна кратной неисправности, в которую входят короткие замыкания всех фронто-

вых контактов и обрывы всех тыловых контактов. Неисправность «обрыв обмотки» соответственно эквивалентна кратной неисправности, включающей в себя короткие замыкания всех тыловых контактов и разрыв всех фронтовых контактов. Неисправности типа «ложное включение», «ложное выключение» или замыкание (сваривание) трех контактов описываются константными неисправностями кратности 2 в виде  $s$ ,  $\{a_{k,\phi}^0, a_{k,\tau}^1\}$ ,  $\{a_{k,\phi}^1, a_{k,\tau}^0\}$ . Большинство обрывов или замыканий монтажных проводов можно представить константными неисправностями.

### Учет временных задержек

Элементы релейно-контактной аппаратуры имеют определенные динамические параметры, определяемые временами перехода из одного внутреннего состояния в другое. Релейная аппаратура железнодорожной автоматики, в большинстве случаев, асинхронная и для обеспечения правильного функционирования последовательных многотактных схем (т. е. смены их внутренних состояний под действием входной последовательности сигналов) и устранения возможного «соревнования» при прохождении сигналов по разным ветвям схемы, вводят временные задержки на срабатывание и отпускание реле. Эти задержки реализуются конструктивно или схемно. В процессе эксплуатации параметры времязадающих элементов могут изменяться, в результате чего изменяются временные задержки сигналов в схеме и возможно изменение логических зависимостей, реализуемых схемой (delay fault).

Введем формальное рассмотрение задержек для  $k$ -го реле в схеме блока, схематически представленного на рис. 2.

Подачу на вход реле в момент времени  $t_1$  напряжения и выключение его в момент времени  $t_2$  можно описать несимметричными ступенчатыми функциями соответственно включения и выключения:

$$X(t)=1(t-t_1)=\begin{cases} 0 & \text{при } (t-t_1)<0; \\ 1 & \text{при } (t-t_1)\geq 0, \end{cases}$$

$$X(t)=0(t-t_2)=\begin{cases} 1 & \text{при } (t-t_2)<0; \\ 0 & \text{при } (t-t_2)\geq 0. \end{cases}$$

Соответственно выражение для входного импульса  $X_k(t)$  длительностью  $\tau$  можно представить в виде

$$X_k(t) = 1(t - t_1) \wedge 0(t - t_1 - \tau).$$

Выходные логические переменные  $Y_{k,i}$  и  $Z_{k,i}$  принимают значения 0 или 1 в зависимости от состояния фронтового и тылового контактов  $i$ -й контактной группы  $k$ -го реле.

После подачи на вход ступенчатого напряжения в момент времени  $t_1$  происходит замыкание фронтового контакта  $k$ -й контактной группы с запаздыванием на время  $\tau_{k,i}^\phi$  и размыкание тылового с запаздыванием на время  $\tau_{k,i}^T$ . Выходные сигналы реле можно записать в виде:

$$Y_{k,i}(t) = 1(t - t_1 - \tau_{k,i}^\phi) = 1(t - t_1 - \tau_k^\phi \pm \Delta\tau_{k,i}^\phi);$$

$$Z_{k,i}(t) = \bar{1}(t - t_1 - \tau_{k,i}^T) = \bar{1}(t - t_1 - \tau_k^T \pm \Delta\tau_{k,i}^T)3$$

где  $\tau_k^\phi$ ,  $\tau_k^T$  – средние значения времен задержек соответственно на замыкание фронтовых и размыкания тыловых контактов реле, а  $\Delta\tau_{k,i}^\phi$ ,  $\Delta\tau_{k,i}^T$  – параметры, характеризующие неодновременность замыкания фронтовых и размыкания тыловых контактов  $i$ -й контактной группы.

Для схемы, в которой через контакты первого реле подается напряжение на обмотку второго реле, выходная функция для фронтового контакта второго реле будет включать суммарную задержку на срабатывания обоих реле

$$Y_2(t) = 1\left[t - t_1 - (\tau_1^\phi + \tau_2^\phi)\right],$$

где  $\tau_1^\phi$ ,  $\tau_2^\phi$  – время запаздывания фронтовых контактов соответственно первого и второго реле.

Функции конъюнкции и дизъюнкции, реализуемые на фронтовых контактах первого и второго реле, имеющих задержку на срабатывания  $\tau_1^\phi$  и  $\tau_2^\phi$ , запишем в виде:

$$Y_1(t) \wedge Y_2(t) = 1(t - t_1 - \tau_{\max}),$$

$$Y_1(t) \vee Y_2(t) = 1(t - t_1 - \tau_{\min}),$$

где

$$\tau_{\max} = \max\{\tau_1^\phi, \tau_2^\phi\},$$

$$\tau_{\min} = \min\{\tau_1^\phi, \tau_2^\phi\}.$$

Приведенное формальное описание временных задержек можно применять для описания работы логических схем с временными задержками.

Задача диагностирования усложняется, если в схеме блока есть обратные связи (ОС), в результате чего реле, охваченные ОС, имеют возможность самоблокироваться, т. е. приобретают свойства элемента памяти. Релейные схемы, содержащие элементы памяти, являются многотактными. В многотактных схемах внутреннее состояние устройства  $Q(t)$  зависит от входного сигнала  $X(t)$  и внутреннего состояния схемы в предыдущий момент времени  $Q(t-1)$ .

### Алгоритм разработки тестов

На основе проведенного анализа литературных данных можно привести следующий порядок составления диагностических тестов релейных блоков железнодорожной автоматики. Вначале необходимо составить формальное описание объекта диагностирования.

Для несложных комбинационных релейно-контактных схем с небольшим количеством ключей такое описание может быть получено на основе принципиальной электрической схемы путем описания логических связей на основе логических выражений над булевыми переменными. Для более сложных комбинационных схем можно составить логические выражения только для путей в схеме [1–3], которые образуются для каждой комбинации входных сигналов. На основании анализа уравнений для путей определяют выходные сигналы для каждого входного набора сигналов.

Для многотактных последовательных схем логические выражения составляют для всех возможных состояний элементов памяти, входящих в эти схемы при всех возможных комбинациях входных сигналов. Полученное математическое описание используют для компьютерного построения диагностического теста. Алгоритм составления теста следующий.

В процессе моделирования объекта диагностирования на компьютере происходит перебор всех возможных комбинаций входных сигналов, и определяют взаимозависимости между входными и выходными сигналами для комбинационных схем или входные-выходные последовательности сигналов для многотактных схем с памятью. Полученные зависимости должны обязательно включать в себя проверки, определяемые нормативной документацией. В дальнейшем при оптимизации тестов эти проверки не могут быть опущены.

Для построения диагностических тестов релейно-контактной аппаратуры компьютерная программа поочередно задает все возможные константные неисправности и для каждой неисправности вычисляются входные-выходные комбинации или последовательности аналогично вышеописанной процедуре. На основе полученных данных строится таблица функций неисправностей (ТФН). Такая таблица является явной моделью объекта диагностирования в исправном и неисправном состояниях. Порядок составления ТФН подробно описан в литературе [1–5].

В работе эта процедура реализована в виде программы. В первой графе приведены возможные элементарные проверки, которые характеризуются набором входных сигналов. Во второй и последующих графах указываются результаты проверок соответственно для исправной и для всех рассмотренных неисправных состояний. В графе для исправного объекта проставляют единицы, а в последующих графах единицы, если  $i$ -я проверка для объекта с  $j$ -й неисправностью дает результат, совпадающий с результатом исправной системы.

В противном случае в ячейке ТФН проставляется 0. После этого компьютерная программа упрощает таблицу путем объединения столбцов, в которых все результаты проверок совпадают. Такие неисправности являются неразличимыми на этом наборе проверок. В случае если в двух строках, соответствующих двум разным проверкам, все результаты совпадают, одну из строк можно опустить при соблюдении некоторых дополнительных условий, в частности, если эти проверки не входят в число обязательных в соответствии с нормативной документацией.

По разработанной программе составлены диагностические тесты для ряда устройств железнодорожной автоматики, в частности, для дешифратора автоматической локомотивной сигнализации типа ДКСВ 1, дешифраторной ячейки типа ДА, некоторых релейных блоков электрической централизации.

### Выводы

На основе проведенного анализа существующих методов построения диагностических тестов дискретных устройств разработаны алгоритмы и программа построения проверяющих и диагностических тестов для релейно-контактной аппаратуры железнодорожной автоматики.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дмитренко И. Е. Техническая диагностика и автоконтроль систем железнодорожной автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 1986. – 144 с.
2. Дмитренко И. Е. Измерение и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / И. Е. Дмитренко, Д. В. Дьяков, В. В. Сапожников. – М.: Транспорт, 1992. – 263 с.
3. Сапожников В. В. Основы технической диагностики: Учебное пособие для студентов вузов ж.-д. тр-та. / В. В. Сапожников, В. В. Сапожников. – М.: Маршрут, 2004. — 318 с.
4. Карибский В. В. Основы технической диагностики / В. В. Карибский, П. П. Пархоменко, Е. С. Сагомян и др. – М.: Энергия, 1976. – 464 с.
5. Пархоменко П. П. Основы технической диагностики / П. П. Пархоменко, Е. С. Сагомян. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 320 с.

Поступила в редколлегию 16.01.07.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БАЗОВИХ МЕТОДІВ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ АНАЛОГОВОЇ СИСТЕМИ

Розглянуто основні методи цифрового моделювання аналогової системи: метод дискретизації диференціального рівняння, метод дискретизації імпульсної характеристики та білінійний метод. На прикладі коливальної ланки, як аналогового прототипу, розраховані похибки цифрового моделювання частотно-часових характеристик. Наведено висновки відносно точності цифрового моделювання різними методами.

Рассмотрены основные методы цифрового моделирования аналоговой системы: метод дискретизации дифференциального уравнения, метод дискретизации импульсной характеристики и билинейный. На примере колебательного звена, как аналогового прототипа, рассчитаны ошибки цифрового моделирования частотно-временных характеристик. Приведены выводы относительно точности цифрового моделирования разными методами.

Basic methods of digital design of the analog system – that of digitization of differential equation, of digitization of impulsive description and a bilinear one – have been considered. On the example of an oscillating link, as an analog prototype, errors of frequency-time of digital design descriptions have been calculated. Conclusions in relation to exactness of digital design by different methods have been drawn.

### Вступ

Розвиток автоматизованих систем управління є одним з напрямків підвищення ефективності залізничного транспорту України [1]. На теперішній час при побудові пристроїв автоматики широко застосовують цифрові засоби обробки сигналів. У порівнянні з аналоговими цифрові пристрої обробки сигналів мають ряд переваг: висока точність, стабільність параметрів, можливість одержувати найрізноманітніші характеристики пристроїв, гнучкість та ін.

Відомі декілька методів синтезу дискретної моделі лінійної аналогової системи, зокрема, метод дискретизації диференціального рівняння, метод дискретизації імпульсної характеристики і білінійний метод [2]. Дискретну модель аналогової системи в загальному випадку будемо називати цифровим фільтром (ЦФ). При синтезі цифрового фільтра характеристики синтезованого фільтра намагаються зробити подібними до відомих характеристик аналогового прототипу.

Метою даної роботи є дослідження різних методів синтезу цифрових фільтрів, визначення методу, який точніше моделює аналогову систему.

### Огляд основних методів синтезу цифрових фільтрів

Метод дискретизації імпульсної характеристики полягає в тому, що передатну функцію  $W(z)$  дискретної системи одержують стандартним  $z$ -перетворенням імпульсної характеристики  $p(t)$  аналогового прототипу за формулою

$$W(z) = Z\{p(t)\} = Z\{p(nT)\}. \quad (1)$$

Зворотнє  $z$ -перетворення від  $W(z)$ , тобто

$$Z^{-1}\{W(z)\} = Z^{-1}[Z\{p(nT)\}] = p(nT), \quad (2)$$

дає імпульсну характеристику  $p(nT)$  дискретного фільтра, яка в точках дискретизації  $nT$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) співпадає з характеристикою аналогового прототипу. У зв'язку з останнім методом дискретизації імпульсної характеристики називають також методом інваріантної імпульсної характеристики.

У методі дискретизації диференціального рівняння диференціальне рівняння неперервної системи замінюють його дискретним варіантом, який називається різницевою рівнянням. Для цього в диференціальному рівнянні неперервної системи замінюють неперервні похідні дискретними, зокрема, першу і другу похідні можна замінити згідно з такими правилами:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &\Rightarrow \frac{x(nT) - x(nT - T)}{T}, \\ \frac{d^2x}{dt^2} &\Rightarrow \frac{x(nT) - 2x(nT - T) + x(nT - 2T)}{T^2}, \end{aligned} \quad (3)$$

де  $T = 1/F$  – інтервал дискретизації і  $F = 1/T$  – частота дискретизації.

Для переходу від різницевого рівняння до дискретної передатвальної функції  $W(z)$  дискретні функції  $x(nT - kT)$ ,  $y(nT - kT)$  згідно з властивістю про запізнення оригіналу заміню-

ють їх зображеннями виду  $z^{-k}X(z)$ ,  $z^{-k}Y(z)$ , після чого дискретну передавальну функцію  $W(z)$  визначають як відношення зображення вихідного сигналу  $Y(z)$  до зображення вхідного сигналу  $X(z)$ .

Метод білінійного перетворення виник з намагання прямої заміни змінної  $s$  в передавальній функції  $W(s)$  на змінну  $z$  за правилом

$$s = (1/T) \ln z, \quad (4)$$

яке виходить з того, що  $z = \exp(sT)$ . Однак така заміна призводить до значних труднощів при аналізі дискретної системи, оскільки дробово-раціональний вираз для передавальної функції неперервної системи перетворюється в трансцендентний для дискретної системи. Вихід був знайдений в наближеній заміні  $s$  на  $z$  згідно з виразом

$$s = \frac{2}{T} \frac{z-1}{z+1}, \quad (5)$$

взятий з розкладання  $\frac{1}{T} \ln z$  в ряд Тейлора:

$$s = \frac{1}{T} \ln z = \frac{2}{T} \left[ \frac{z-1}{z+1} + \frac{1}{3} \left( \frac{z-1}{z+1} \right)^3 + \dots \right], |z| > 0. \quad (6)$$

Обмеження в (6) першим (лінійним) членом ряду і дає правило наближеної заміни (3), яке називають прямим білінійним перетворенням.

Для дослідження різних методів синтезу ЦФ виконаємо синтез цифрової коливальної системи, аналоговим прототипом якої є коливальна ланка.

### Синтез цифрової коливальної системи

Параметри коливальної ланки:  $k_1$  – коефіцієнт передачі;  $T_1$  – постійна часу;  $\xi$  – коефіцієнт демпфювання.

Випишемо аналітичні вирази для характеристик коливальної ланки [3]:

- передавальна функція

$$W(s) = \frac{k_1}{T_1^2 s^2 + 2\xi T_1 s + 1} \quad 0 < \xi < 1; \quad (7)$$

- диференціальне рівняння

$$T_1^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2\xi T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k_1 \cdot x(t); \quad (8)$$

- імпульсна характеристика

$$p(t) = \frac{k_1}{T_1 \sqrt{1-\xi^2}} e^{-\frac{\xi}{T_1} t} \sin \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T_1} t, \quad t \geq 0; \quad (9)$$

- перехідна характеристика

$$h(t) = k_1 \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\frac{\xi}{T_1} t} \times \sin \left( \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T_1} t + \varphi_1 \right) \right], \quad (10)$$

де

$$\varphi_1 = \arctg \sqrt{1-\xi^2} / \xi, \quad t \geq 0;$$

- амплітудно-частотна характеристика (АЧХ)

$$A(\omega) = k_1 / \sqrt{(1-T_1^2 \omega^2)^2 + 4\xi^2 T_1^2 \omega^2}; \quad (11)$$

- фазо-частотна характеристика (ФЧХ)

$$\varphi(\omega) = -\arctg \left[ 2\xi T_1 \omega / (1-T_1^2 \omega^2) \right]. \quad (12)$$

**Дискретизація диференціального рівняння** (8) заміною неперервних похідних дискретними за правилами (3) приводить до різницевого рівняння виду

$$y_n = a_0 x_n + b_1 y_{n-1} + b_2 y_{n-2}, \quad (13)$$

де

$$a_0 = \frac{k_1 T^2}{D}, \quad b_1 = \frac{2T_1 + 2\xi T_1 T}{D},$$

$$b_2 = \frac{-T_1}{D}, \quad D = T_1 + 2\xi T_1 T + T^2. \quad (14)$$

**Метод інваріантної імпульсної характеристики** зводиться до  $z$ -зображення імпульсної характеристики (9), яку перепишемо в такому вигляді:

$$p(t) = k_p e^{-\alpha t} \sin \omega_p t, \quad (15)$$

$$\text{де } \omega_p = \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T_1}, \quad K_p = \frac{k_1}{\omega_p T_1^2}, \quad \alpha = \frac{\xi}{T_1}.$$

Скориставшись таблицею  $z$ -перетворень, одержимо  $z$ -зображення імпульсної характеристики (15), яке являє собою передавальну функцію цифрової моделі, в такому вигляді:

$$P(z) = W(z) = \left[ k_p \left( z e^{-\alpha T} \sin \omega_p T \right) \right] / \left[ z^2 - 2z e^{-\alpha T} \cos \omega_p T + e^{-2\alpha T} \right]. \quad (16)$$



Прийнявши до уваги, що  $W(z) = Y(z)/X(z)$ , з (16) одержуємо різницеве рівняння системи в такому вигляді:

$$y_n = a_1 x_{n-1} + b_1 y_{n-1} + b_2 y_{n-2}, \quad (17)$$

де

$$a_1 = k_p e^{-\alpha T} \sin \omega_p T,$$

$$b_1 = 2e^{-\alpha T} \cos \omega_p T, \quad b_2 = -e^{-2\alpha T}.$$

**Метод інваріантних частотних характеристик** дозволяє з  $W(s)$  білінійним перетворенням, тобто підстановкою (6), зразу одержати  $W(z)$  у вигляді:

$$W(z) = \frac{k_1 T^2 z^2 + 2k_1 T^2 z + k_1 T^2}{B}, \quad (18)$$

де

$$B = (4T^2 + 4\xi T_1 T + T^2)z^2 + (2T^2 - 8T_1^2)z + (4T_1^2 - 4\xi T_1 T + T^2).$$

З (18) різницеве рівняння одержуємо в такому вигляді:

$$y_n = a_0 x_n + a_1 x_{n-1} + a_2 x_{n-2} + b_1 y_{n-1} + b_2 y_{n-2}, \quad (19)$$

де

$$a_0 = \frac{k_1 T^2}{D}, \quad a_1 = \frac{2k_1 T^2}{D}, \quad a_2 = \frac{k_1 T^2}{D},$$

$$b_1 = \frac{8T_1^2 - 2T^2}{D}, \quad b_2 = \frac{4T_1 T - 4T_1^2 - T^2}{D},$$

$$D = 4T_1^2 + 4\xi T_1 T + T^2.$$

Порівнюючи різницеві рівняння, одержані різними методами, помічаємо що вони відрізняються між собою. Тому постає питання, який метод синтезу цифрового фільтра точніше моделює аналогову систему.

Для отримання відповіді на це питання виконане дослідження точності моделювання різними методами за допомогою спеціально створеної програми «Методи синтезу цифрової моделі аналогового об'єкта».

### Опис програми

Програма реалізує алгоритм роботи одержаних цифрових фільтрів та дозволяє виміряти їх часові і частотні характеристики: імпульсну характеристику  $p(nT)$ , перехідну характеристику  $h(nT)$ , амплітудно-частотну  $A(kF_1)$  та фазочастотну характеристики  $\phi(kF_1)$ . Програма також розраховує відповідні характеристики неперервної системи та порівнює їх з характеристиками цифрової моделі. Розбіжність між характеристиками оцінюється похибками моделювання  $\varepsilon_p$ ,  $\varepsilon_h$ ,  $\varepsilon_A$  і  $\varepsilon_\phi$ . Крім похибки моделювання окремих характеристик розрахована загальна похибка моделювання  $\varepsilon$  кожним методом. Головне вікно програми зображено на рис. 1.

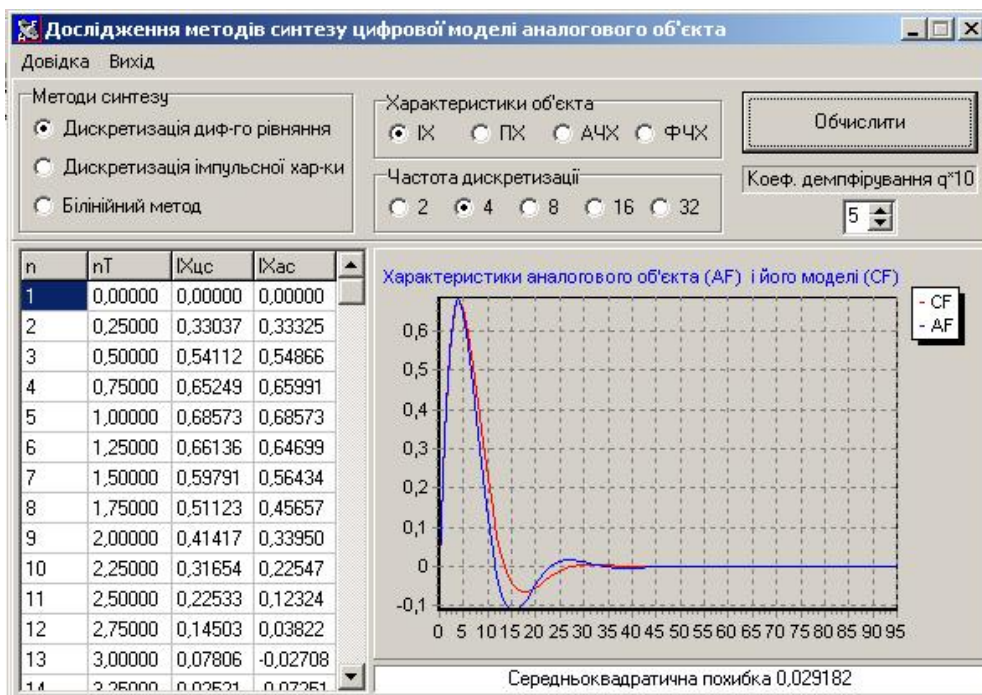


Рис. 1. Вікно програми «Методи синтезу цифрової моделі аналогового об'єкта»

Слід зазначити, що характеристики  $p(nT)$ ,  $h(nT)$ ,  $A(kF_1)$ ,  $\phi(kF_1)$  цифрових моделей програма одержує шляхом «безпосереднього вимірювання» на моделі за допомогою вимірювальних сигналів (дельта функції для одержання імпульсної характеристики, одиничної ступеневої функції для перехідної характеристики і синусоїдальних коливань різних частот  $kF_1$ ,  $k=1\dots 64$  для частотних характеристик). Результати моделювання виводяться на екран у вигляді графіків та таблиць.

Для кожної характеристики і кожного методу моделювання досліджувалась залежність похибки моделювання від коефіцієнта демпфірування коливальної ланки ( $q$ ), який уособлює фактор складності характеристик ланки, і від частоти дискретизації ( $f_d$ ). Нормовані параметри ланки ( $c$ )

$$k_1 = 1; \quad T_1 = 1/2\pi,$$

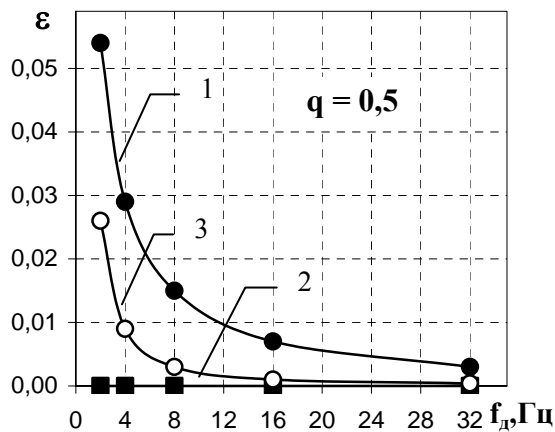
частота спряження (Гц)

$$f_1 = 1/2\pi \quad T_1 = 1.$$

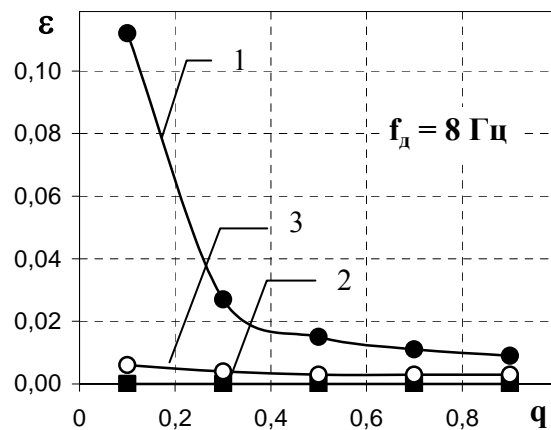
### Результати дослідження

На рис. 2–5 наведено отримані в результаті дослідження залежності середньоквадратичної похибки моделювання характеристик аналогового прототипу від частоти дискретизації і коефіцієнта демпфірування коливальної ланки для різних методів синтезу.

Як показують отримані залежності, найбільша похибка моделювання всіх характеристик має місце для методу дискретизації диференціального рівняння. Причому для всіх трьох методів похибка моделювання зменшується зі збільшенням частоти дискретизації. Похибка також зменшується зі збільшенням коефіцієнта демпфірування коливальної ланки, тобто зі зменшенням складності аналогового прототипу.

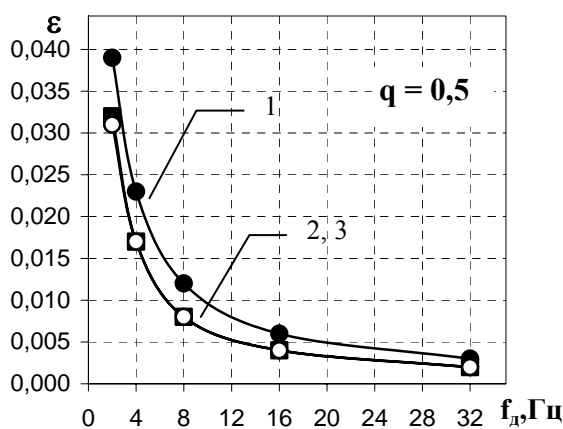


а)

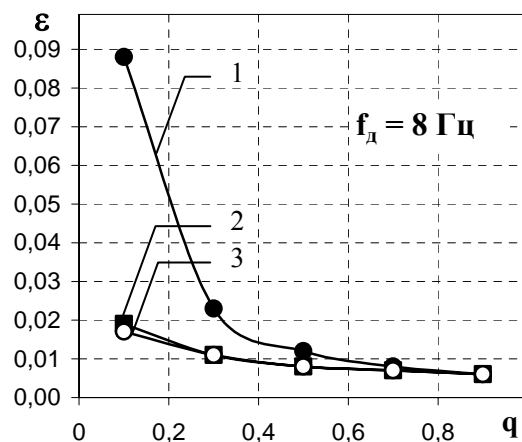


б)

Рис. 2. Результати дослідження похибки моделювання імпульсної характеристики:  
1 – дискретизація диференціального рівняння; 2 – дискретизація імпульсної характеристики; 3 – білінійний метод



а)



б)

Рис. 3. Результати дослідження похибки моделювання перехідної характеристики:  
1 – дискретизація диференціального рівняння; 2 – дискретизація імпульсної характеристики; 3 – білінійний метод



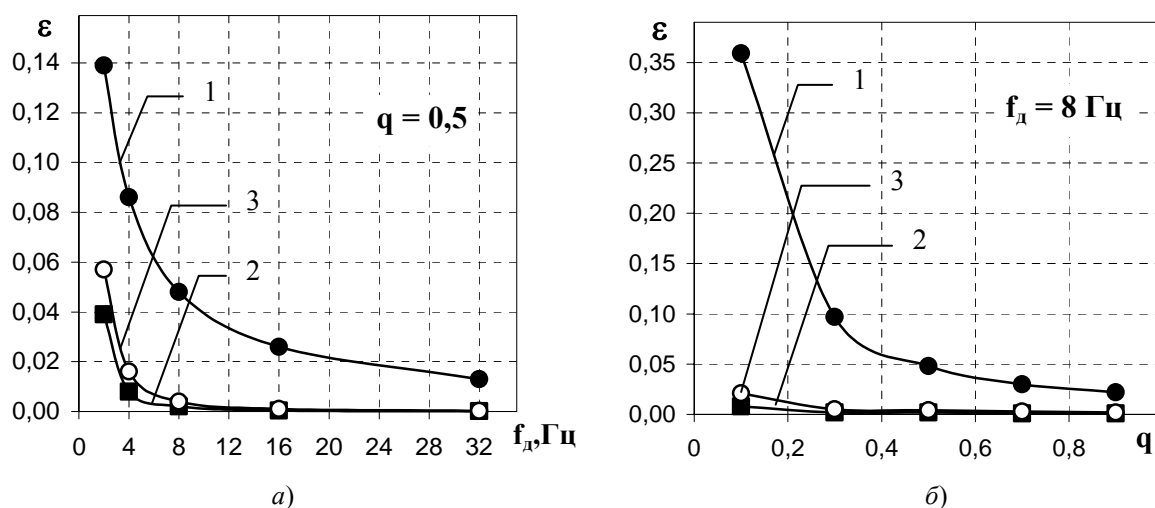


Рис. 4. Результати дослідження похибки моделювання АЧХ:

1 – дискретизація диференціального рівняння; 2 – дискретизація імпульсної характеристики; 3 – білінійний метод

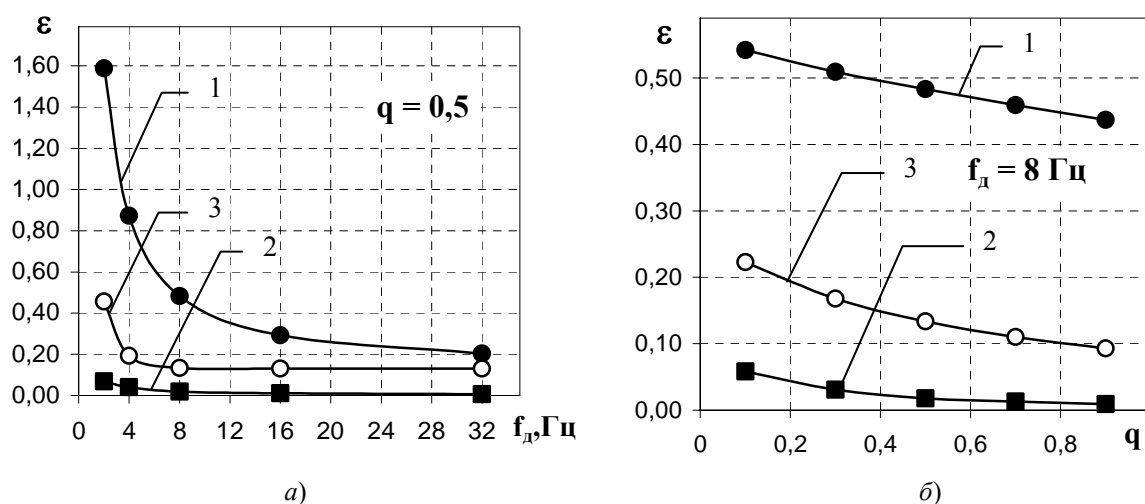


Рис. 5. Результати дослідження похибки моделювання ФЧХ:

1 – дискретизація диференціального рівняння; 2 – дискретизація імпульсної характеристики; 3 – білінійний метод

Як і слід було чекати, похибка моделювання імпульсної характеристики для методу дискретизації імпульсної характеристики дорівнює нулю (див. рис. 2). У разі моделювання перехідної і амплітудно-частотної характеристик для методу дискретизації імпульсної характеристики і білінійного методу виходять практично однакові похибки (див. рис. 3, 4). У той же час у разі моделювання фазочастотної характеристики метод дискретизації імпульсної характеристики дозволяє отримати найменшу похибку зі всіх трьох методів (див. рис. 5).

### Висновки

Виконане дослідження показує, що середньоквадратична похибка за сукупністю відтворення усіх характеристик (частотних і часових) найменша при рівних інших умовах для методу дис-

кретизації імпульсної характеристики і найбільша для методу дискретизації диференціального рівняння. При цьому точність відтворення амплітудно-частотної та часових характеристик білінійним методом наближена до точності методу дискретизації імпульсної характеристики. Слід також зазначити, що точність всіх методів підвищується у разі збільшення частоти дискретизації.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України. – К.: НАБЛА, 1998. – 145 с. – Офіційне видання.
2. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высш. шк., 1988. – 448 с.
3. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Сов. радио, 1971. – 671 с.

Надійшла до редколегії 06.02.2006.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕГАЗАЦИИ ПОМЕЩЕНИЯ ПОСЛЕ АВАРИИ

Запропонована чисельна модель та на її базі розроблено метод розрахунку процесу розповсюдження токсичного газу в приміщенні. Як математична модель 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 приміщенні після аварійного викиду токсичної речовини.

Разработана численная модель и на ее основе построен метод расчета процесса распространения токсичного газа в помещении. В качестве математической модели используются 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 помещении после выброса токсичного вещества.

A numerical model to simulate the process of pollutant transfer in rooms was developed. The numerical simulation is carried out using 3D models of pollutant transfer and potential flow. The implicit finite difference schemes are used. The results of numerical simulation of air pollution after blasts in industrial rooms are presented.

При аварийных выбросах ряда токсичных веществ в производственных помещениях во многих случаях существует угроза возникновения вторичной аварии, если концентрации загрязнения превысит нижний концентрационный предел и рядом будет источник воспламенения (нагретая поверхность, открытое пламя) [1; 2; 6]. Потому максимально быстрое снижения концентрации загрязняющего вещества в помещении после аварии – особо важная задача.

Снижение уровня загазованности помещения (дегазация) может быть выполнено как за счет работы аварийной вентиляции, так и за счет применения подачи нейтрализующего раствора в помещение через спринклер. В этом случае можно рекомендовать такую схему подачи: насос (рис. 1) забирает нейтрализующий раствор из емкости и подает по трубопроводу в помещение, где произошла авария. Через систему распределительных трубопроводов, вдоль которых размещены спринклеры, нейтрализующий раствор поступает в помещение и при воздействии с токсичным газом происходит процесс дегазации. При наличии газовых анализаторов в помещении и системы автоматики, в работу может «включаться» та ветвь распределительного трубопровода (и даже отдельно взятый спринклер), которая наиболее близко располагается к месту аварийного выброса.

Анализ литературных источников показал отсутствие публикаций, посвященных проблеме расчета процессов дегазации помещений при использовании подачи в них нейтрализующих растворов. Приведенные в научных

публикациях [6] методы расчета аварийной вентиляции основываются на балансовых соотношениях или на использовании аналитического решения одномерного уравнения переноса примеси. Эти методы не могут быть применены для теоретического исследования процессов дегазации с учетом пространственного размещения в помещении технологического оборудования, различного положения спринклеров, различного положения приточно-вытяжных отверстий. Поэтому целью данной работы явилось создание метода расчета процессов вентиляции и дегазации помещений после аварий с учетом основных физических факторов, влияющих на процесс миграции примеси в помещении. Разработанный метод расчета основывается на создании трехмерной численной модели изучаемого процесса.

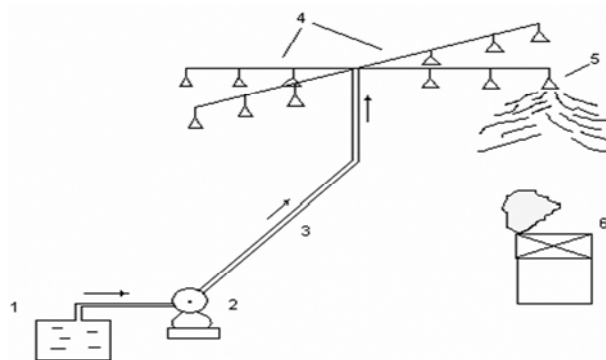


Рис. 1. Схема спринклерной установки:

- 1 – емкость с нейтрализующим раствором; 2 – насос;  
3 – трубопровод; 4 – распределительные трубопроводы;  
5 – спринклер; 6 – место аварийного выброса

**Математическая модель.** Для моделирования процесса переноса загрязняющего вещества (нейтрализатора) в помещении будем использовать трехмерное уравнение миграции примеси [3; 4]

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w-w_s)C}{\partial z} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \sum Q_i(t) \delta(r-r_i). \end{aligned} \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация загрязняющего вещества (нейтрализатора) в помещении;  $u, v, w$  – 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 (нейтрализатора) в помещении;  $\delta(r-r_i)$  – дельта-функция Дирака;  $r_i = (x_i, y_i, z_i)$  – координаты источника выброса.

Для расчета поля скорости воздушного потока в помещении, индуцированного работой вентиляции, делается допущение, что движение воздушной среды в помещении 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 работе [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 в помещение)

$$\frac{\partial P}{\partial n} = V_n,$$

где  $V_n$  – известное значение скорости;

- на выходной границе (условия Дирихле)

$$P = P^*(x = \text{const}, y) + \text{const}.$$

**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 метода Либмана.

**Практическая реализация.** Рассмотрим применение разработанной численной модели и построенного метода расчета вентиляции помещения после аварии на примере решения следующей задачи. В производственном помещении (рис. 2) в результате аварии произошел залповый выброс  $\text{NH}_3$ , в результате которого в помещении образовалось облако токсичного газа. Поэтому в качестве начального условия (при  $t = 0$ ) задается местоположение облака, его форма, размеры и концентрация загрязнителя.

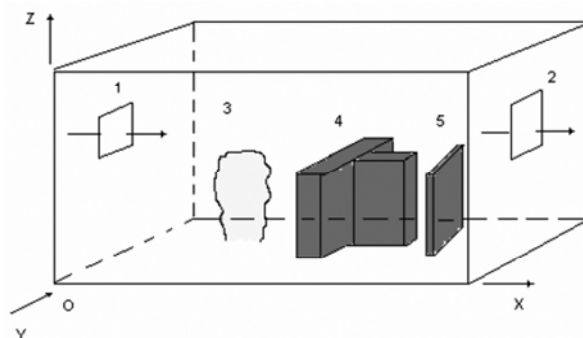


Рис. 2. Схема помещения:

1 – приточное отверстие; 2 – вытяжное отверстие;  
3 – облако токсичного газа; 4, 5 – оборудование

В помещении располагается технологическое оборудование: первый технологический агрегат имеет т-образную форму, а второй – форму параллелепипеда (рис. 3). Для вентиляции помещения после аварии используется подача воздуха, с известным расходом  $Q$ . Приточное и вытяжное отверстия располагаются на противоположных стенах помещения. Требуется исследовать динамику процесса вентиляции помещения после

аварии. Вычислительный эксперимент был проведен для таких параметров: облако  $\text{NH}_3$  имеет размеры:  $5 \times 3 \times 5$  м; воздухообмен –  $2,8 \text{ м}^3/\text{с}$ ; размеры помещения  $10 \times 10 \times 4$  м; коэффициент диффузии  $\mu = 0,06 \text{ м}^2/\text{с}$ ; начальная концентрация  $\text{NH}_3$  в облаке (при  $t = 0$ ) составляет:  $C_0 = 0,17 \text{ г/м}^3$ .

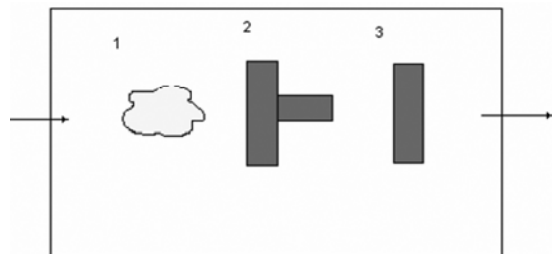
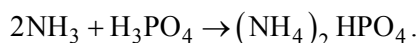
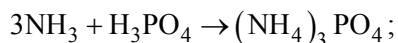


Рис. 3. План помещения

На первом этапе вычислительного эксперимента исследуется процесс проветривания помещения исключительно за счет работы аварийной вентиляции, а на втором этапе – за счет работы аварийной вентиляции и подачи в помещение нейтрализатора (ортофосфорной кислоты) для дегазации. Источник подачи нейтрализатора (спринклер) располагается в точке с координатами  $x = 6$  м;  $y = 5$  м;  $z = 3$  м.

Подача нейтрализатора составляет –  $100 \text{ г/с}$  и осуществляется на временном интервале  $10 \dots 25$  с. Процесс взаимодействия токсичного вещества и нейтрализатора описывается соотношениями:



Расчет химического взаимодействия «токсичное вещество + нейтрализатор» осуществляется в отдельном программном модуле, что позволяет быстро «переориентировать» разработанный пакет прикладных программ на решение задачи, связанной с выбросом другого токсичного вещества, для нейтрализации которого нужен иной нейтрализатор.

Рассмотрим результаты вычислительного эксперимента. В таблице представлены расчетные значения величины максимальной концентрации токсичного газа в помещении после аварии. Результаты представлены для двух рассматриваемых случаев, т. е. для случая простого вентилирования помещения и для случая «вентиляция + подача нейтрализатора». Из таблицы видно, что подача кислоты позволяет значительно быстрее уменьшить загазованность помещения и, следовательно, снизить риск второй аварии.

Таблица 1

Величина максимальной концентрации токсичного газа в помещении

$t, \text{с}$	$C_{\text{max}}, \text{г/м}^3$ (без подачи нейтрализатора)	$C_{\text{max}}, \text{г/м}^3$ (при подаче нейтрализатора)
4	0,144	0,144
8	0,105	0,105
10	0,091	0,091
16	0,064	0,056
20	0,054	0,041
28	0,042	0,011
30	0,040	0,008
32	0,038	$0,1 \cdot 10^{-6}$

На приведенных ниже рисунках показана динамика формирования зоны загрязнения в помещении для каждого этапа вычислительного эксперимента. Так, рис. 4, 5 иллюстрируют процесс формирования зоны загрязнения, когда работает только аварийная вентиляция, а на рис. 6–8 показана динамика изменения зоны загрязнения при работе вентиляции и подаче нейтрализатора. Отчетливо видно, как подача нейтрализатора существенно уменьшает размеры зоны загрязнения помещения токсичным газом.

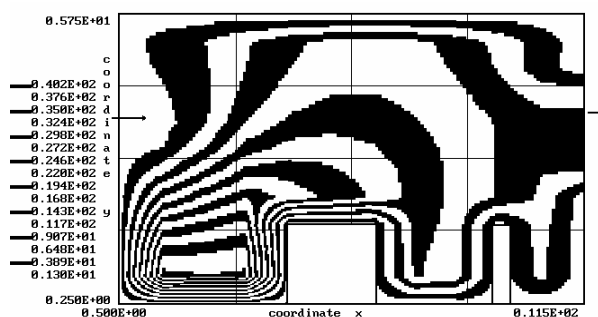


Рис. 4. Зона загрязнения помещения для момента времени  $t = 32$  с (нет подачи нейтрализатора)

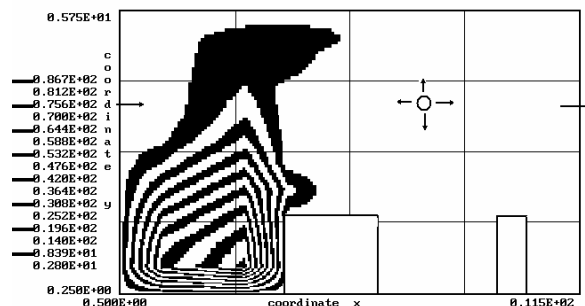


Рис. 5. Зона загрязнения помещения для момента времени  $t = 11,2$  с (идет подача нейтрализатора)

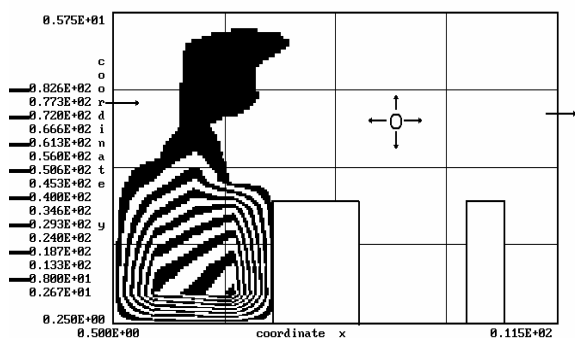


Рис. 6. Зона загрязнения помещения для момента времени  $t = 11$  с (идет подача нейтрализатора)

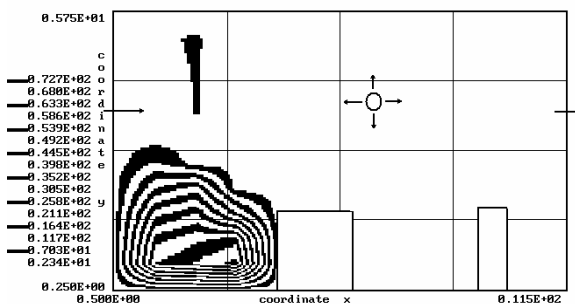


Рис. 7. Зона загрязнения помещения для момента времени  $t = 14$  с (идет подача нейтрализатора)

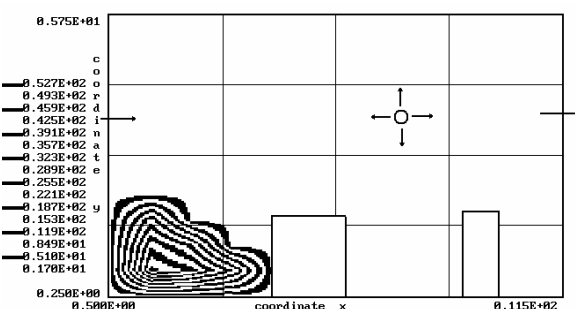


Рис. 8. Зона загрязнения помещения для момента времени  $t = 18$  с (идет подача нейтрализатора)

Таким образом, использование метода подачи нейтрализующих растворов для дегазации помещений может значительно повысить степень экологической безопасности опасных производств, где риск аварийных выбросов токсичных веществ в воздушную среду помещений очень велик.

## Выводы

В работе разработана трехмерная численная модель, на основе которой построен метод расчета динамики миграции загрязняющего вещества в помещении после аварийного выброса токсичного вещества. На основе разработанной модели создан метод расчета дегазации помещения путем подачи в него нейтрализующего раствора. Как показало проведенное исследование подача нейтрализующего раствора значительно ускоряет процесс дегазации помещения при достаточно малом воздухообмене.

Сокращение времени дегазации за счет нейтрализации токсичного газа позволяет значительно снизить вероятность вторичной аварии и токсичного поражения обслуживающего персонала. Дальнейшее совершенствование данного направления необходимо вести по созданию банка данных для компьютерных моделей относительно наиболее типичных загрязнителей и нейтрализующих их растворов для того или иного вида производства.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учебное пособие в 5-ти кн. / Под ред. Котляревского В. А. и Забегаева А. В. – М.: Из-во АСВ, 2001. – 200 с.
2. Демидов П. Г. Горение и свойства горючих веществ. М.: Изд-во министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1962. – 254 с.
3. Згуровский М. З. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
4. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука. – 1982. – 320 с.
5. Самарский А. А. Теория разностных схем. 2-е изд., испр. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
6. Эльтерман В. М. Вентиляция химических производств. 3-е изд., перераб. – М.: Химия, 1980. – 288 с.

Поступила в редколлегию 17.03.2006.

## ПРИМЕНЕНИЕ ОТКАЧИВАЮЩИХ СКВАЖИН ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНОГО ПОТОКА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Розроблена чисельна модель розрахунку захисту підземних вод від забруднення у разі використання відкачувальних свердловин. Модель базується на рішенні двувимірного рівняння фільтрації та геоміграції. Наводяться результати обчислювального експерименту.

Разработана численная модель расчета защиты подземных вод от загрязнения путем использования откачивающих скважин. 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 wells has been proposed. The model is based on the 2-D equations of filtration and admixture transfer. Results of numerical experiment are presented.

Безнапорные, первые от поверхности земли, водоносные горизонты наиболее активно подвержены загрязнению. Интенсивность этих горизонтов в силу техногенных факторов значительно увеличилась в последнее время, в результате чего в горизонтах часто возникают обширные зоны, содержащие примеси принесенные извне. Миграция этих зон с течением времени в подземном потоке приводит не только к дальнейшему увеличению области загрязнения потока, но и к попаданию примесей в колодцы, реки, куда разгружается подземный поток. В этой связи совершенствование методов защиты от загрязнения подземных вод приобретет особую актуальность [1; 3; 5; 6].

Для ликвидации зон загрязнения в подземных водах могут применяться различные средства и весьма часто – откачивающие скважины (ОС) [3]. Однако эффективное применение ОС будет зависеть от выбора их расположения относительно зоны загрязнения, дебита скважин. Поскольку визуально нельзя наблюдать (например в реке) как происходит процесс ликвидации зоны загрязнения в подземном потоке, то весьма важным является вопрос, когда следует приостановить откачку, чтобы, с одной стороны, не тратить бесполезно энергию на работу насосов, а, с другой стороны – обеспечить требуемое уменьшение размеров и интенсивности зоны загрязнения. Целью настоящей работы явилось создание эффективного метода расчета процесса защиты безнапорного водоносного горизонта от изучаемого загрязнения путем применения откачивающих скважин.

Метод расчета базируется на создании численной модели изучаемого процесса. При этом рассматривается решение двух основных задач геомиграции:

1. Плановая безнапорная фильтрация.
2. Миграция примеси в безнапорном подземном потоке.

Решение первой задачи позволяет определить нестационарное поле скорости фильтрации при работе откачивающих скважин, которое используется на втором этапе вычислительного процесса для моделирования переноса примеси в водоносном горизонте.

Разработанный метод расчета адаптирован для решения прикладных задач, поэтому при применении метода используется стандартная гидрогеологическая информация, кроме этого пользователь получает прогнозную информацию в виде, удобном для оперативного анализа и принятия инженерного решения. В частности, при проведении вычислительного эксперимента пользователь получает информацию об изменении размеров зоны загрязнения, концентрации примеси в ней при работе скважин, концентрацию загрязнения в воде, поступающей в каждую скважину и информацию об общей массе загрязнения, удаленного из подземного потока. Это позволяет, с одной стороны, определить эффективность принятой схемы расположения скважин, а с другой стороны – определить время, когда следует прекратить откачку. Информация о концентрации загрязнения в откачиваемой воде дает возможность более эффективно применять очистные средства для обработки воды, поднятой из скважин.

**Математическая модель.** Для моделирования течения в подземном горизонте при работе системы скважин (рис. 1) будем использовать уравнение, описывающее плановое фильтрационное течение безнапорного подземного потока [2]

$$m \frac{\partial h}{\partial t} = kh_{cp} \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) \pm \sum W \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (1)$$

где  $m$  – недостаток насыщения;  $h$  – глубина потока;  $k$  – коэффициент фильтрации;  $W$  – дебит скважины; знак «–» – соответствует откачивающей скважине, а знак «+» – поглощающей;  $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$  – дельта-функция Дирака;  $x_i, y_i$  – координаты расположения скважины.

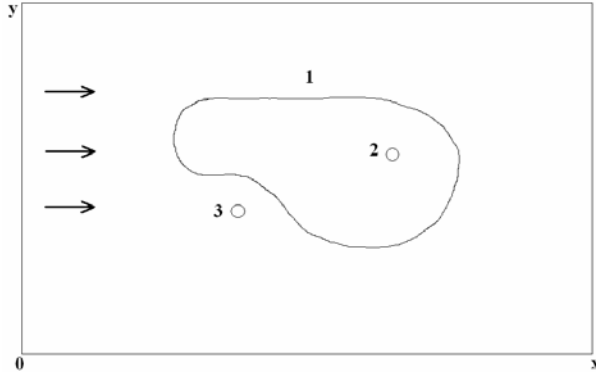


Рис. 1. Схема расположения откачивающих скважин:  
1 – зона загрязнения подземного потока;  
2, 3 – откачивающие скважины

Процесс миграции загрязняющего вещества в подземном потоке описывается уравнением [2; 4]

$$n \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \sum WC \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (2)$$

где  $C$  – концентрация загрязняющего вещества в подземном потоке;  $u, v$  – компоненты вектора скорости;  $\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коэффициент диффузии.

Постановка краевых условий для приведенных уравнений рассмотрена в работе [2].

**Метод решения.** Численное интегрирование уравнений (1) и (2) проводится с использованием попеременно-треугольных неявных разностных схем [2; 4]. Неизвестные значения напора или концентрации рассчитываются по явной формуле бегущего счета. Это позволяет создать эффективный алгоритм расчета в областях сложной геометрической формы. Расчет реализуется на прямоугольной разностной сетке.

Рассмотрим неявную разностную схему расщепления [2], которая положена в основу разработанного алгоритма.

Произведем следующую аппроксимацию производных, входящих в уравнение (2):

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t};$$

$$\frac{\partial uC}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x};$$

$$\frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y};$$

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^+ C_{ij}^{n+1} - u_{ij}^+ C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^- C_{i+1,j}^{n+1} - u_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^+ C_{ij}^{n+1} - v_{ij}^+ C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^- C_{i,j+1}^{n+1} - v_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1},$$

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:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \approx \tilde{\mu}_x \frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} -$$

$$-\tilde{\mu}_x \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \approx \tilde{\mu}_y \frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} -$$

$$-\tilde{\mu}_y \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1}.$$

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:

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} + \\ + L_y^+ C^{n+1} + L_y^- C^{n+1} + \sigma C_{ij}^{n+1} = \\ = (M_{xx}^+ C^{n+1} + M_{xx}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1} + M_{yy}^- C^{n+1}). \end{aligned}$$

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  $k = n + \frac{3}{4}$ ,  $c = n + \frac{1}{2}$ :

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \\ = \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^c + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c); \end{aligned}$$

- 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 диффузии  $\tilde{\mu}$  [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.

В разработанном алгоритме имеется возможность задавать различную геометрическую форму (в плане) области загрязнения зоны, различное количество скважин, их режим работы (время начала и время окончания работы), дебит.

**Практическая реализация.** Разработанная численная модель и созданный на ее основе пакет прикладных программ были применены для решения следующей задачи. Рассматривается безнапорный подземный водоносный горизонт, куда в результате аварии попала серная кислота. Параметры подземного водоносного горизонта следующие: средняя мощность – 28 м; коэффициент фильтрации – 25 м/сут.; поверхностная пористость – 0,3. Образовавшаяся в результате аварийного разлива зона загрязнения характеризуется такими параметрами: максимальная длина зоны – 48 м; максимальная ширина зоны – 48 м; средняя концентрация загрязнения в пятне – 0,09 кг/м<sup>3</sup>;  $\mu = 0,4$  м<sup>2</sup>/сут. Зона загрязнения имеет сложную геометрическую форму в плане (рис. 1, 2).

Для ликвидации зоны заражения принято решение произвести откачку воды с помощью двух скважин (одна скважина располагается внутри зоны, а другая – на ее границе) с дебитом:  $Q_2 = 300$  м<sup>3</sup>/сут.,  $Q_3 = 350$  м<sup>3</sup>/сут. (на рис. 1 положение скважин отмечено знаком «○»). Размеры расчетной области – 200×168 м. Скважины начинают процесс откачки в момент времени  $t = 0,1$  сут. Рассмотрим результаты вычислительного эксперимента.

На рис. 2–4 представлены изолинии концентрации серной кислоты в потоке для трех моментов времени:  $t_1 = 0,2$  сут.,  $t_2 = 2,8$  сут. и  $t_3 = 5,5$  сут. Эти рисунки позволяют судить о скорости изменения интенсивности зоны загрязнения после начала работы откачивающих скважин. Сравнивая эти рисунки видим, как «работа» скважин приводит к изменению внутри зоны загрязнения распределения концентрации загрязнения. Так, на рис. 2 ( $t = 0,2$  сут.) зона загрязнения практически однородна и лишь небольшое изменение в ее структуре видно на границах пятна, что обусловлено влиянием процессов «размыва» границы за счет диффузии и конвективного движения.

Структура зоны загрязнения для моментов времени  $t = 2,8$  сут. и  $t = 5,5$  сут. совершенно отлична: хорошо видно, что «работа» скважины, расположенной в центре зоны приводит к постепенному «разрежению» внутри зоны, что обусловлено притоком загрязненной воды к скважине; внешние контуры пятна – продолжают «размываться» и осуществляется подтягивание загрязненных вод ко второй скважине, расположенной на границе зоны.



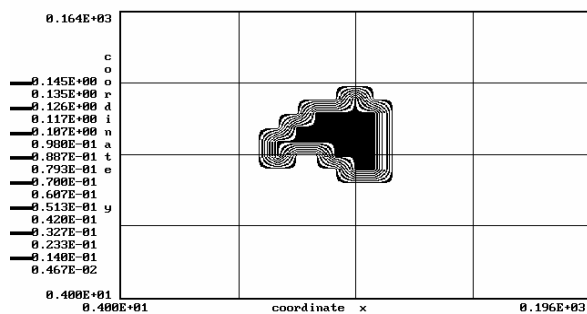


Рис. 2. Зона загрязнения подземного потока для момента времени  $t = 0,2$  сут.

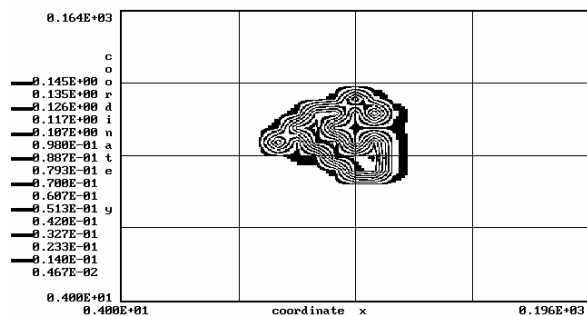


Рис. 3. Зона загрязнения подземного потока для момента времени  $t = 2,8$  сут.

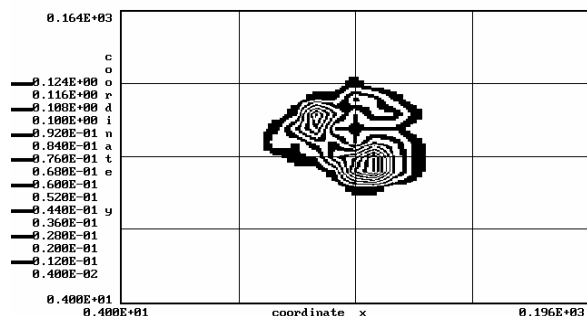


Рис. 4. Зона загрязнения подземного потока для момента времени  $t = 5,5$  сут.

В таблице приведены результаты расчета концентрации кислоты в откачиваемой воде, поступающей в каждую скважину. Здесь также представлена общая масса кислоты, удаленная из зоны загрязнения.

Таблица

**Концентрация серной кислоты  
в откачиваемой воде, общая масса кислоты,  
удаленной из подземного потока**

$t$ , сут.	Концентрация в скважине № 2, кг/м <sup>3</sup>	Концентрация в скважине № 3, кг/м <sup>3</sup>	Общая масса удаленной кислоты, кг
0,5	0,12	$0,5 \cdot 10^{-1}$	16
1,5	0,028	0,011	50,3
2,5	0,016	0,008	58,5

Анализируя данные таблицы можно сделать вывод, что откачка загрязненной воды является достаточно медленным процессом.

## Выводы

Разработана численная модель на основе которой создан метод расчета процесса ликвидации зоны загрязнения, образовавшейся в безнапорном подземном потоке за счет применения откачивающих скважин. Для реализации предложенного метода используется стандартная гидрогеологическая информация. Метод хорошо приспособлен для практических расчетов, требует около 5 с машинного времени на решение одного варианта задачи. Построенный метод может служить инструментом решения широкого класса прогнозных задач, связанных с защитой подземных вод от загрязнения. Дальнейшее совершенствование метода следует осуществлять в направлении его адаптации к процессам фильтрации в неоднородных грунтах.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учебное пособие в 5-ти книгах / Под ред. Котляревского В. А. и Забегаяева А. В. – М.: Из-во АСВ, 2001.
2. Беляев Н. Н. Компьютерное моделирование динамики движения и загрязнения подземных вод / Н. Н. Беляев, Е. Д. Коренюк, В. К. Хрущ. – Д.: Наука и образование, 2001. – 156 с.
3. Бочеввер Ф. М. Основы гидрогеологических расчетов / Ф. М. Бочеввер, И. В. Гармонов, А. В. Лебедев, В. М. Шестаков. – М.: Недра, 1965. – 305 с.
4. Згуровский М. З. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
5. Полубаринова-Кочина П. Я. Математические методы в вопросах орошения / П. Я. Полубаринова-Кочина, В. Г. Пряжинская, В. Н. Эмих. – М.: Наука, 1969. – 414 с.
6. Ярышкина Л. А. Экологические последствия загрязнения окружающей среды в результате аварий при перевозках неорганических кислот и технологические аспекты их ликвидации / Л. А. Ярышкина, В. Н. Плахотник, А. Н. Бойченко, И. А. Ревина // Ресурсосберегающие технологии в транспорте и гидротехническом строительстве: Межвуз. сб. научных трудов. Новые строительные технологии. – Д.: Арт-Пресс, 1997. – Вып. 3. – С. 103–107.

Поступила в редколлегию 23.02.2006.

## ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ВОСХОДЯЩИХ СТРУЙ

Розроблено тривимірну математичну модель захисту атмосфери від забруднення під час міграції хмари токсичної речовини за рахунок створення вертикальної повітряної струї. Модель заснована на чисельному інтегруванні рівняння переносу домішки та моделі течії невязкої рідини. Наведено результати обчислювального експерименту.

Разработана трехмерная математическая модель защиты атмосферы от загрязнения при миграции облака токсичного вещества за счет создания вертикальной воздушной струи. Модель основана на численном интегрировании уравнения переноса примеси и модели течения невязкой жидкости. Приведены результаты вычислительного эксперимента.

A 3-D computer model has been developed to simulate the atmosphere protection from pollution with the use of vertical air jet in case of movement of a toxic cloud. The model is based on the gradient transport model and potential flow model numerical integration. Results of numerical experiments are presented.

Одним из методов защиты атмосферы от загрязнения при переносе в ней токсичных веществ является организация восходящих воздушных струй на пути миграции токсиканта (рис. 1).

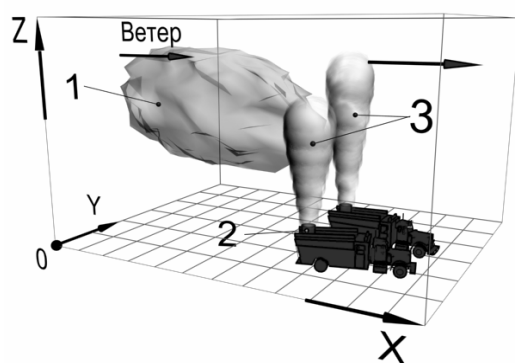


Рис. 1. Схема создания восходящей струи воздуха от вентилятора:

1 – облако токсичного газа; 2 – вентиляторная установка; 3 – восходящая струя воздуха

Струи создают «препятствие» на пути мигрирующего токсиканта и тем самым позволяют снизить уровень загрязнения воздушной среды возле защищаемого экологически важного объекта. На практике для создания восходящих струй может использоваться также очаг горения [8].

Задача о взаимодействии струи со встречным потоком рассматривалась во многих научных публикациях. Для решения этой задачи применялись экспериментальные, аналитические и методы численного моделирования, с применением моделей турбулентности различного уровня [1; 3–6]. Однако анализ литературных источников показал, что применительно к проблеме защиты атмосферы от загрязнения

при миграции токсичного облака, отсутствует решение данной задачи, которое можно было бы положить в основу расчета и поддержки принятия обоснованных технических решений.

Целью данной работы является создание численной модели и экспресс метода, позволяющего оценить эффективность применения данного метода защиты атмосферы, с учетом основных факторов, влияющих на данный процесс.

**Математическая модель.** В качестве исходной, базовой модели для описания миграции облака токсичного вещества в атмосфере используется уравнение конвективно-диффузионного переноса примеси [9]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (\omega - \omega_s)C}{\partial z} + \sigma C =$$

$$= \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right), \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация загрязняющего вещества;  $u, v, \omega$  – компоненты вектора скорости воздушной среды в декартовой системе координат;  $\sigma$  – коэффициент, учитывающий процессы химического разложения загрязнения;  $\mu_x, \mu_y, \mu_z$  – коэффициенты турбулентной диффузии;  $t$  – время;  $\omega_s$  – скорость гравитационного осаждения загрязняющего вещества.

Если рассматривается задача о загрязнении атмосферы при испарении или ином характере аварийного выброса токсичного вещества в атмосферу, то в правую часть уравнения (1) добавляется слагаемое вида

$$\sum q_i(t) \delta(r - r_i),$$

где  $q_i$  – интенсивность выброса загрязняющего вещества;  $r_i = (x_i, y_i, z_i)$  – координаты источника выброса;  $\delta(r - r_i)$  – дельта-функция Дирака.

Постановка краевых условий для уравнения (1) рассмотрена в работах [7; 9].

Вертикальную воздушную струю будем моделировать «вдувом» (рис. 2). Зона вдува располагается на плоскости  $Z = 0$ .

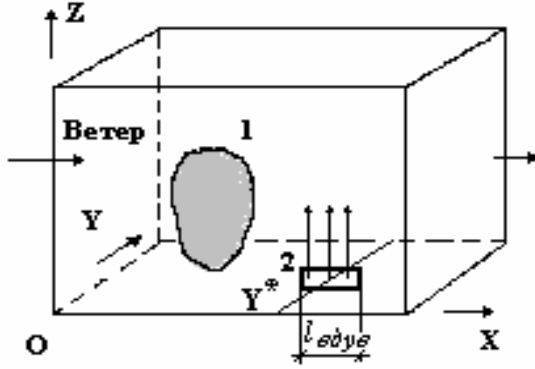


Рис. 2. Схематизация расчетной области:  
1 – облако токсичного газа; 2 – зона вдува

Будем считать, что компоненты скорости воздушной среды определяются соотношениями:

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}, \quad \omega = \frac{\partial P}{\partial z},$$

где  $P$  – потенциал скорости.

Тогда в силу уравнения неразрывности, уравнение для определения потенциала имеет вид:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0, \quad (2)$$

Для численного интегрирования уравнений модели применяется прямоугольная разностная сетка. Значения потенциала определяется в центре разностных ячеек, а значение компонента вектора скорости – на гранях разностных ячеек.

Для уравнения (2) ставятся следующие граничные условия:

- на выходящей границе (см. рис. 2) задается значение потенциала; боковые, верхняя и нижняя границы считаются твердыми непроницаемыми стенками и на них ставится условие

$$\frac{\partial P}{\partial n} = 0,$$

где  $n$  – единичный вектор внешней нормали к границе;

- на границах, где в расчетную область входит воздушный поток, ставится условие Неймана

$$\frac{\partial P}{\partial n} = V,$$

где  $V$  – скорость втекания.

**Метод решения.** Численное интегрирование уравнения (1) осуществляется на прямоугольной разностной сетке. Рассмотрим неявную разностную схему расщепления [7], которая положена в основу разработанного алгоритма расчета.

Произведем следующую аппроксимацию производных, входящих в уравнение (1):

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t};$$

$$\frac{\partial u C}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x};$$

$$\frac{\partial v C}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y};$$

$$\frac{\partial w C}{\partial z} = \frac{\partial w^+ C}{\partial z} + \frac{\partial w^- C}{\partial z};$$

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{ijk}^{n+1} - u_{ijk}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - u_{ijk}^- C_{ijk}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1},$$

где

$$u^+ = \frac{u + |u|}{2}; \quad u^- = \frac{u - |u|}{2};$$

$$v^+ = \frac{v + |v|}{2}; \quad v^- = \frac{v - |v|}{2}$$

и т. д.

Компоненты скорости потока будем задавать на гранях разностной ячейки. Вторые производные аппроксимируем так:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) &\approx \tilde{\mu}_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{ijk}^{n+1}}{\Delta x^2} - \\ &- \tilde{\mu}_x \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1}. \end{aligned}$$

В используемых выражениях  $L_x^+$ ,  $L_x^-$ ,  $M_{xx}^+$ ,  $M_{xx}^-$  – обозначения разностных операторов. С учетом этих обозначений разностный аналог уравнения (1) будет иметь вид:

$$\begin{aligned} & \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} + L_y^+ C^{n+1} + \\ & + L_y^- C^{n+1} + L_z^+ C^{n+1} + L_z^- C^{n+1} + \sigma C_{ij}^{n+1} = \\ & = \left( M_{xx}^+ C^{n+1} + M_{xx}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1} + \right. \\ & \left. + M_{yy}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1} + M_{zz}^- C^{n+1} \right). \end{aligned}$$

Решение данного разностного уравнения при интегрировании на временном интервале  $dt$  выглядит так:

- на первом шаге  $k = \frac{1}{4}$ :

$$\begin{aligned} & \frac{C_{ijk}^{n+k} - C_{ijk}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left( L_x^+ C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k \right) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \\ & = \frac{1}{4} \left( M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^k + M_{yy}^+ C^k + \right. \\ & \left. + M_{yy}^- C^k + M_{zz}^+ C^k + M_{zz}^- C^k \right); \quad (3) \end{aligned}$$

- на втором шаге  $k = n + \frac{1}{2}$ ;  $c = n + \frac{1}{4}$ :

$$\begin{aligned} & \frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left( L_x^- C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k \right) + \\ & + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \frac{1}{4} \left( M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + \right. \\ & \left. + M_{yy}^+ C^c + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^c \right); \quad (4) \end{aligned}$$

- на третьем шаге  $k = n + \frac{3}{4}$ ;  $c = n + \frac{1}{2}$

используется формула (4);

- на четвертом шаге  $k = 4 + 1$ ;  $c = n + \frac{3}{4}$

используется формула (3).

Отметим, что 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.

Численное интегрирование уравнения для потенциала скорости осуществляется с использованием метода Либмана.

На основе рассмотренных разностных уравнений разработан специализированный пакет прикладных программ.

**Алгоритм решения.** Алгоритм решения задачи заключается в следующем:

1. Вводится информация о размерах расчетной области, скорости, профиле ветра, параметрах диффузии, форме, размерах облака, мигрирующего в атмосфере, и концентрации токсиканта в нем (или задается место выброса, интенсивность выброса загрязнителя при аварии, например, в случае испарения токсичного вещества от зоны разлива).

2. Задается местоположение технических средств, осуществляющих подачу воздушных струй.

3. Выполняется расчет уравнения для потенциала и определяется значение поля потенциала в расчетной области.

4. Рассчитывается результирующее поле скорости воздушного потока.

5. Рассчитывается уравнение миграции токсиканта в атмосфере.

**Практическая реализация.** Рассмотрим применение разработанной трехмерной численной модели и созданного на ее основе метода расчета, для решения ряда прикладных задач по защите атмосферы от загрязнения, путем создания вертикальной восходящей струи на пути миграции токсичного вещества.

**Задача 1.** Рассмотрим процесс защиты атмосферы от загрязнения при миграции облака токсичного вещества. На пути облака создается фронт (этот фронт может быть организован, например, горением) вертикальных воздушных струй. При этом рассматриваются такие варианты защиты:

**1 вариант.** Организуется подача вертикальных восходящих потоков воздуха поперек направления движения ветрового потока (см. рис. 1), причем ширина зоны «вдува» (вдоль направления ветра) –  $l_{\text{вдув}} = 10$  м (см. рис. 2); длина зоны «вдува» (поперек направления ветра) –  $l = 70$  м; скорость «вдува» – 5 м/с; скорость ветра – 2 м/с;

**2 вариант.** Ширина зоны «вдува» –  $l_{\text{вдув}} = 20$  м, длина зоны «вдув» –  $l = 70$  м; скорость «вдува» – 5 м/с; скорость ветра – 2 м/с.

Остальные параметры расчета таковы: ветер направлен вдоль оси  $OX$ ; коэффициент турбулентной диффузии – 0,1 м<sup>2</sup>/с; концентрация токсичного вещества в облаке примеси равна  $C = 1$  (в безразмерном виде); размеры облака: 30×30×40 м; размеры расчетной области 120×120×120 м. В начальный момент времени  $t = 1$  с. облако расположено на расстоянии  $\Delta x = 10$  м от места «вдува», симметрично сечению  $y = 60$  м.

Результаты решения данной задачи представлены ниже. В табл. 1 показана интенсивность загрязнения атмосферы по высоте (момент времени  $t = 25$  с) в сечении  $y = 60$  м для каждого варианта задачи на расстоянии  $x = 30$  м от места «вдува».

Таблица 1

**Распределение концентрации  
токсичного вещества (в безразмерном виде)  
по высоте (момент времени  $t = 25$  с)**

Высота $Z$ , м	5	15	25
Вариант 1	0,051	0,184	0,341
Вариант 2	0,000	0,066	0,198

Из табл. 1 хорошо видно, что увеличение ширины зоны «вдува» позволило существенно уменьшить уровень загрязнения атмосферы в расчетном сечении. На рис. 3 показана зона загрязнения атмосферы для первого варианта задачи. Отчетливо видна «степень отжатия» загрязненной части воздуха от поверхности земли для моделируемого сценария, т. е. образование за вертикальной струей зоны с пониженным значением концентрации примеси.

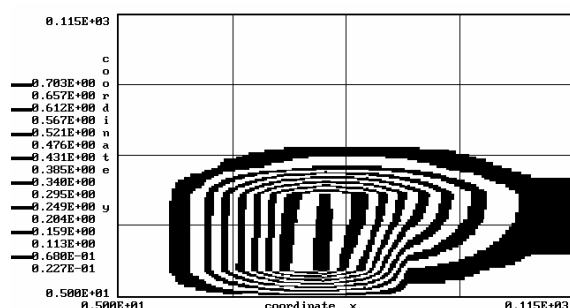


Рис. 3. Зона загрязнения атмосферы,  $t = 25$  с  
(сечение  $y = 60$  м)

**Задача 2.** В данной задаче, в отличие от предыдущей, рассматривается миграция не облака в атмосфере, а миграция шлейфа токсичного вещества, образующегося от испарения над зоной аварийного разлива (рис. 4). На пути миграции шлейфа устанавливается вентилятор-

ная установка, создающая вертикальную восходящую струю воздуха.

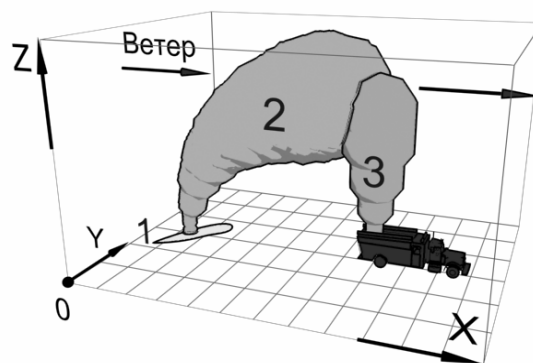


Рис. 4. Расчетная схема

Параметры задачи: зона разлива имеет форму квадрата со стороной 5 м (сечение  $y = 60$  м); интенсивность испарения токсичного вещества (аммиака) от зоны составляет 220 г/с; скорость ветра 7 м/с, ветер направлен вдоль оси  $OX$ ; зона «вдува»  $a$  располагается на расстоянии 30 м от места аварийного разлива (сечение  $y = 60$  м); коэффициент турбулентной диффузии  $\mu = 0,1$  м<sup>2</sup>/с; размеры расчетной области  $60 \times 60 \times 60$  м; зона «вдува» имеет форму квадрата со стороной 5 м рассматриваются два варианта задачи – скорость «вдува» 25 и 45 м/с.

Результаты вычислительного эксперимента представлены ниже. В табл. 2 показана интенсивность загрязнения атмосферы по высоте ( $x = 30$  м) для каждого варианта задачи, а в табл. 3 – уровень загрязнения атмосферы на высоте 5 м от поверхности земли в сечении  $x = 70$  м, поперек направления ветра. Здесь отметим, что значению  $y^* = 0$  соответствует местоположение вентиляторной установки.

Таблица 2

**Распределение концентрации токсичного вещества по высоте ( $t = 22$  с, сечение  $y = 60$  м)**

Высота $Z$ , м	5	15	25
Вариант 1. Скорость «вдува» 25 м/с, г/м <sup>3</sup>	0,087	0,175	0,074
Вариант 2. Скорость «вдува» 45 м/с, г/м <sup>3</sup>	0,000	0,0187	0,078

Таблица 3

**Распределение концентрации токсичного вещества поперек направления ветра  
( $t = 25$  с, сечение  $x = 70$ ,  $Z = 5$  м)**

Координата $y^*$ , м	–15	–10	–5	0	5	10	15
Вариант 1. Скорость «вдува» 25 м/с, г/м <sup>3</sup>	0,012	0,062	0,161	0,086	0,161	0,062	0,012
Вариант 2. Скорость «вдува» 45 м/с, г/м <sup>3</sup>	0,025	0,075	0,087	0	0,087	0,075	0,025

Таким образом, «отрицательное» значение  $y^*$  означает положение расчетной точки «влево» от вентиляторной установки, а положительное значение  $y^*$  соответственно «вправо» от нее. Максимальное значение концентрации токсичного вещества для этого момента времени составляет  $-1,25 \text{ г/м}^3$ .

Анализ данных из табл. 2 и 3 позволяет отметить, что увеличение скорости «вдува» 25...45 м/с позволяет существенно снизить уровень загрязнения атмосферы лишь локально, вблизи места расположения установки. Видно, что при скорости «вдува»  $v = 25 \text{ м/с}$  воздух остается загрязненным непосредственно вблизи установки.

Форма и интенсивность зоны загрязнения атмосферы вблизи расположения вентиляционной установки показана на рис. 5, 6.

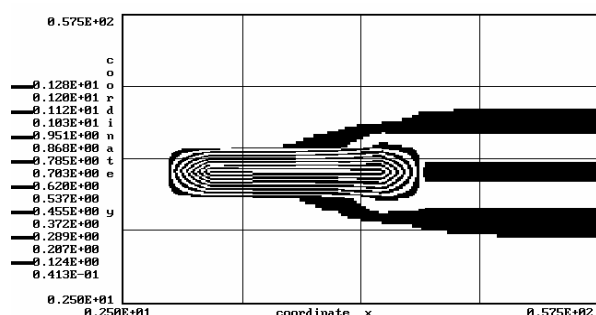


Рис. 5. Зона загрязнения атмосферы,  $t = 25 \text{ с}$  (сечение  $Z = 5 \text{ м}$ , скорость «вдува» – 25 м/с)

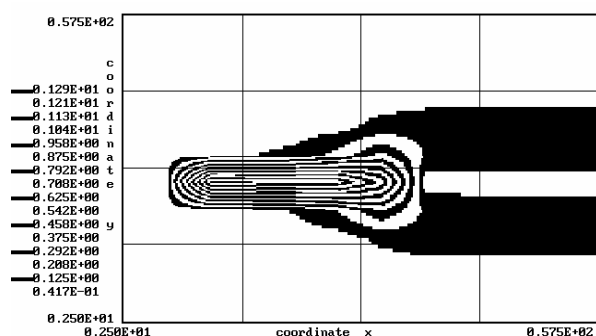


Рис. 6. Зона загрязнения атмосферы,  $t = 25 \text{ с}$  (сечение  $Z = 5 \text{ м}$ , скорость «вдува» – 45 м/с)

На основе проведенного вычислительного эксперимента можно утверждать, что необходимо обязательное использование средств защиты органов дыхания персоналом, обслуживающим вентиляционную установку. Например, если учитывать, что для аммиака  $ПДК = 20 \text{ мг/м}^3$ , то, очевидно, что для рассмотренного случая концентрация токсичного вещества даже вблизи установки будет значительно превосходить эту величину.

## Выводы

Разработана трехмерная численная модель процесса защиты атмосферы от загрязнения при миграции облака токсичного вещества за счет создания вертикальной воздушной струи на пути облака.

На базе построенной численной модели разработан метод расчета данного процесса. Расчет одного варианта задачи требует около 10 с машинного времени, что позволяет оперативно выполнить прогноз эффективности выбранной схемы расположения технических средств, создающих вертикальную воздушную струю, по отношению к мигрирующему облаку, а также метеоусловий. Дальнейшее развитие данного подхода следует осуществлять в направлении создания математической модели учитывающей вязкостные эффекты и наличие препятствий на пути миграции облака.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамович Г. Н., Теория турбулентных струй / Г. Н. Абрамович, Т. А. Гиршович, С. Ю. Крашенинников и др.; Под ред. Г. Н. Абрамовича. – М.: Наука, 1984. – 715 с.
2. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учебное пособие. В 5-ти кн. / Под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаяева. – М.: Изд-во АСВ, 2001. – 200 с.
3. Адлер Д. Расчет трехмерного течения круглой струи в поперечном потоке т. 17 / Д. Адлер, А. Барон // Расчет техники и космонавтики. – 1979. – № 2. – С. 53–60.
4. Богомолов Е. Н. Искривление плоской струи в ограниченном сносящем потоке при наличии застойной зоны // Изв. вузов. авиац. техника – 1978. – № 1.
5. Бруацкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов. – К.: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
6. Гиршович Т. А. Турбулентные струи в поперечном потоке. – М.: Машиностроение, 1993. – 256 с.
7. Згуровский М. З. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наук. думка – 1997. – 368 с.
8. Купаев В. И. Методы локализации очага аварий и ликвидации ее последствий на химически опасных объектах железнодорожного транспорта / В. И. Купаев, С. В. Рассказов // Транспорт. наука, техника, управление. – 2003. – № 4. – С. 28–34.
9. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука. – 1982. – 320 с.
10. Салтанов Н. В. Вихревые структуры в жидкости: аналитические и численные решения / Н. В. Салтанов, В. А. Горбань. – К.: Наук. думка, 1993. – 244 с.

Поступила в редколлегию 17.02.2006.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ ВЕЩЕСТВ В КАМЕРЕ СМЕШЕНИЯ

Розроблено двовимірну математичну модель розчинення речовини у камері змішування. Модель заснована на чисельному інтегруванні рівняння переносу домішки та моделі течії невязкої рідини. Наведено результати обчислювального експерименту.

Разработана двухмерная математическая модель растворения вещества в камере смешения. Модель основана на численном интегрировании уравнения миграции примеси и модели течения невязкой несжимаемой жидкости. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

A 2-D computer model has been developed to simulate a dissolution process in a mixing chamber. The model is based on the gradient transport model and potential flow model numerical integration. Results of numerical experiments are presented.

Во многих областях техники существуют устройства, в состав которых входят камеры смешения, в которых происходит растворение тех или иных веществ. В водоснабжении примером таких камер является устройства, в которых происходит растворение различных реагентов. При проектировании, реконструкции этих устройств всегда возникает задача прогнозирования качества процесса растворения в камере смешения. В самой общей постановке теоретическое решение такой задачи является очень сложным. Поэтому на практике для расчета камер смешения обычно используют два подхода [2; 3].

Первый подход базируется на использовании простых балансовых соотношений, при этом вводится понятие «аппарат идеального вытеснения», аппарат не идеального вытеснения» [2]. Во втором направлении для расчета камеры смешения используется аналитическое решение одномерного уравнения конвективно-диффузионного переноса примесей [2].

Оба эти подхода обладают рядом существенных недостатков, и в первую очередь следует отметить что они не дают возможности учесть при расчете влияние гидродинамики потока на процесс растворения и смешения, т. е. форма камеры, где реализуется процесс не учитывается. Принимая во внимание, то что конструкция камер смешения может иметь сложную геометрическую форму, которая оказывает влияние на формирование поля скорости внутри камеры, становится очевидным, что возможности перечисленных выше подходов существенно ограничены. Возрастающие требования к качеству расчетной информации, способствуют созданию новых эффективных методов расчета камер смешения.

Целью настоящей работы является разработка численной модели гидродинамики течения и переноса примесей в областях сложной геометрической формы и создания на основе этой модели метода расчета процесса растворения веществ в камере смешения.

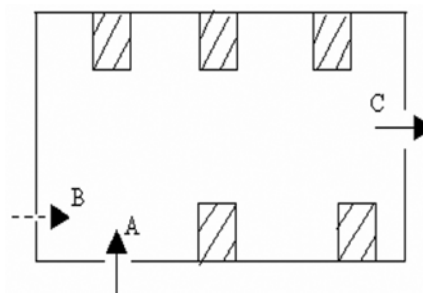


Рис. 1. Схема камеры смешения:  
A, B – участок втекания жидкости;  
C – участок вытекания потока из камеры

В качестве исходной базовой модели для описания миграции вещества в камере смешения используется уравнение конвективно-диффузионного переноса примеси, осредненное по ширине камеры смешения [1]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \sigma C = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right), \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация вещества в жидкой среде (т. е. нерастворенного);  $u, v$  – компоненты вектора скорости жидкой среды в декартовой системе координат  $X, Y$ ;  $\sigma$  – коэффициент, учитывающий скорость процесса растворения;  $\mu_x, \mu_y$  – коэффициенты диффузии;  $t$  – время.

Будем считать что известно время растворения вещества –  $t_p$ ,  $\sigma = f(t_p)$ .

Постановка краевых условий для уравнения (1) рассмотрена в работе [1]. Будем считать, что движение водной среды является потенциальным, тогда компоненты скорости определяются соотношениями

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y},$$

где  $P$  – потенциал скорости.

Уравнение для определения потенциала имеет вид

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0. \quad (2)$$

Для численного интегрирования уравнений модели применяется прямоугольная разностная сетка. Для уравнения (2) ставятся следующие граничные условия: на выходящей границе (см. рис. 1) задается значение потенциала; верхняя и нижняя границы считаются твердыми непроницаемыми стенками и на них ставится условие

$$\frac{\partial P}{\partial n} = 0,$$

где  $n$  – единичный вектор внешней нормали к границе; на границах, где в расчетную область входит поток ставится условие Неймана

$$\frac{\partial P}{\partial n} = V,$$

где  $V$  – скорость втекания.

Метод решения. Для численного интегрирования уравнения (1) применяется на прямоугольная разностная сетка. Рассмотрим неявную разностную схему расщепления [1], которая положена в основу разработанного алгоритма расчета.

Произведем следующую аппроксимацию производных, входящих в уравнение (1):

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} &\approx \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t}; \\ \frac{\partial u C}{\partial x} &= \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x}; \\ \frac{\partial v C}{\partial y} &= \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y}; \\ \frac{\partial u^+ C}{\partial x} &\approx \frac{u_{i+1,j}^+ C_{ij}^{n+1} - u_{ij}^+ C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1}; \end{aligned}$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^- C_{i+1,j}^{n+1} - u_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^+ C_{ij}^{n+1} - v_{ij}^+ C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^- C_{i,j+1}^{n+1} - v_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1},$$

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 [1], компоненты скорости потока  $u$  будем задавать на вертикальных гранях разностной ячейки, а компоненты скорости  $v$  – на горизонтальных гранях. Вторые производные аппроксимируем так:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \approx \tilde{\mu}_x \frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta x^2} -$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \approx \tilde{\mu}_y \frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta y^2} -$$

$$-\tilde{\mu}_y \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1}.$$

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 (1) будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} + \\ L_y^+ C^{n+1} + L_y^- C^{n+1} + \sigma C_{ij}^{n+1} = \\ = (M_{xx}^+ C^{n+1} + M_{xx}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1} + M_{yy}^- C^{n+1}). \end{aligned}$$

Решение данного разностного уравнения расщепляется на 4 шага при интегрировании на временном интервале  $dt$ :

- на первом шаге  $k = \frac{1}{4}$ :

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^{n+k} - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \\ = \frac{1}{4} (M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^k + M_{yy}^+ C^k + M_{yy}^- C^k); \end{aligned}$$



- 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 диффузии  $\tilde{\mu}$ . Численное интегрирование уравнения для потенциала скорости осуществляется с использованием метода Либмана.

Алгоритм решения задачи о расчете процесса растворения вещества в камере смешения заключается в следующем:

- 1) вводится информация о размерах расчетной области, форме камеры смешения;
- 2) задается место втекания и вытекания потока, скорость потока на входе в камеру;
- 3) вводится информация о концентрации вещества на входе в камеру смешения;
- 4) выполняется расчет уравнения для потенциала и определяется значение поля потенциала в расчетной области;
- 5) рассчитывается результирующее поле скорости потока жидкости внутри камеры;
- 6) рассчитывается уравнение миграции вещества в камере смешения и процесс растворения этого вещества.

Алгоритм решения задачи реализован в виде пакета прикладных программ. Рассмотрим применение разработанной численной модели для решения следующей прикладной задачи.

Рассмотрим камеру смешения, имеющую длину 4 м, высоту 1 м и ширину 1 м. Внутри камеры расположено пять перегородок, оказывающих влияние на деформацию скорости течения (см. рис. 1).

Подача в камеру смешения воды, содержащей частицы вещества, которое будет растворяться внутри камеры, осуществляется снизу (см. рис. 1, зона А) и сбоку (см. рис. 1, зона С). Таким образом исследуется влияние места подачи воды на процесс растворения. Концентрации частиц растворяемого вещества на входе в камеру растворения  $C=1$ . Кроме этого, при проведении вычислительного эксперимента, рассматривается два варианта скорости растворения вещества – время растворения  $t_p = 10$  с и  $t_p = 10$  с. Рассмотрим результаты вычислительного эксперимента.

На рис. 2, 3 показано распределение концентрации растворяемого вещества внутри камеры смешения ( $t_p = 70$  с) для двух вариантов места подачи воды.

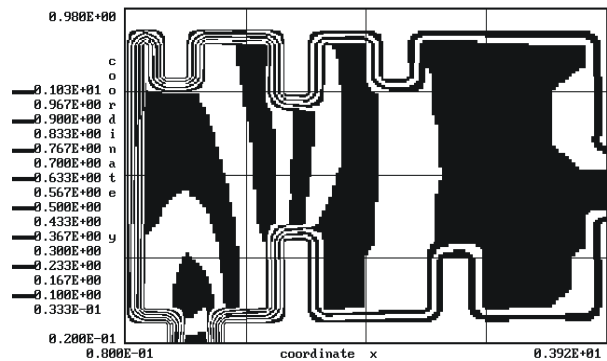


Рис. 2. Распределение концентрации растворяемого вещества в камере смешения (подача воды снизу, время растворения 30 с, момент времени  $t = 75$  с)

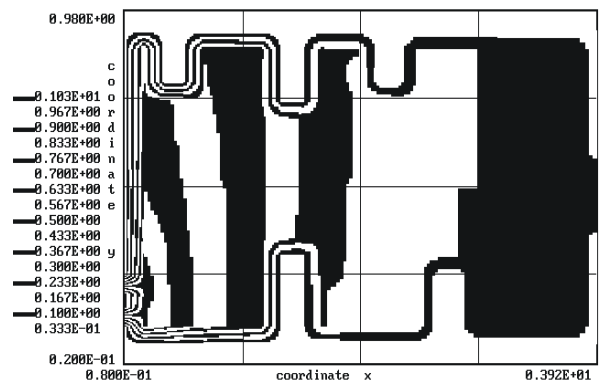


Рис. 3. Распределение концентрации растворяемого вещества в камере смешения (подача воды сбоку, время растворения 30 с, момент времени  $t = 75$  с)

В таблице представлены расчетные значения концентрации растворяемого вещества вдоль оси камеры смешения на уровне  $y = 0,5$  м. Варианту 1 соответствует время растворения вещества –

10 с (подача воды снизу); варианту 2 – время растворения вещества – 30 с (подача воды снизу); варианту 3 – время растворения вещества – 30 с (подача воды сбоку).

Таблица

**Распределение концентрации  
растворимого вещества (%)  
вдоль оси камеры смещения ( $t = 75$  с)**

$X$ , м	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
0,15	54	73	49
0,60	56	72	39
1,05	39	59	30
1,50	18	38	19
1,95	10	28	14
2,85	4	18	8
3,95	3	16	8

Данные таблицы позволяют оценить эффективность протекания процесса растворения для каждого рассматриваемого варианта. Хорошо видно, что наибольшее растворение достигается при времени растворения равном 10 с, однако если сравнить процесс растворения, характеризующийся временем растворения равном 30 с. то видно, что лучшее «качество» растворения имеет место при подаче воды сбоку. Так, например, в точке  $x = 2,85$  м концентрация

вещества не растворившегося при подаче снизу, составляет 18 %, а при подаче сбоку – 8 %.

### Выводы

Разработана численная модель процесса растворения вещества в камере смешения с учетом процесса гидродинамики. Для расчета поля скорости в областях сложной геометрической формы используется двухмерная модель движения безотрывных потоков невязкой несжимаемой жидкости. Процесс движения и растворения вещества в камере смешения описывается моделью градиентного типа.

Расчет одного варианта задачи требует около 2 с машинного времени, что позволяет оперативно выполнить расчет проектируемой камеры смешения. Дальнейшее развитие данного подхода следует осуществлять в направлении создания математической модели, учитывающей вязкостные эффекты.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Згуровский М. З. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наук. думка, – 1997. – 368 с.
2. Кичин В. И. Моделирование процессов очистки воды. – М: Изд-во АСВ, – 2003. – 230 с.
3. Кульский Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. – К.: Наук. думка, 1983. – 528 с.

Поступила в редколлегию 14.12.2005.

## УНІФІКАЦІЯ РЕЛЕ – ЕФЕКТИВНИЙ ШЛЯХ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМИМ СКЛАДОМ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

Показаний рівень уніфікації реле у схемах керування діючим рухомих складом, можливість суттєвого його підвищення, що важливо як з точки зору зменшення витрат в експлуатації на утримання систем керування, так і з точки зору покращення ремонтпридатності релейних пристроїв.

Показан уровень унификации реле в схемах управления действующим подвижным составом, возможность существенного его повышения, что важно как с точки зрения уменьшения расходов в эксплуатации на содержание систем управления, так и с точки зрения улучшения ремонтпригодности релейных устройств.

In this article the following problems have been dwelled upon: the level of standardization of relays in the rolling stock operation schemes and the possibility of its significant increase, the latter task being important for two reasons: the control systems operational costs reduction and improvement of repairability of the relay devices.

Аналіз показує, що рівень уніфікації реле у схемах рухомого складу (РС) залізниць дуже низький, що суттєво знижує надійність систем керування. Основною метою проведених в даній роботі досліджень було визначення можливості покращення показників уніфікації релейних пристроїв РС.

Термін «уніфікація реле» розуміємо як раціональне скорочення кількості релейних елементів однакового функціонального призначення. Для схем керування РС під функціональним призначенням реле розуміємо здійснення ним операції «ввімкнути-вимкнути» навантаження у якійсь ділянці системи керування залежно від певних умов.

Під терміном «масив реле» (далі-масив) розуміємо сукупність реле, які мають однакові входні параметри і функціональне призначення. Задачу уніфікації ставимо тільки по відношенню до електричних реле. Інші види реле (пневматичні, гідравлічні і т. д.) застосовують у відносно невеликих кількостях, і задача їх уніфікації поки що не ставиться. Розрізняємо масиви проміжних реле, реле струму, часу, диференціальних та напруги. Ці реле складають у схемах РС основну масу електричних релейних елементів.

Під час проектування рухомого складу, який у теперішній час працює на залізницях України, були відсутні будь-які вимоги по уніфікації реле. Тому показники їх уніфікації дуже низькі, що негативно впливає на економічність виробництва, а також на таку складову надійності системи керування, як ремонтоздатність (пристосованість до виявлення й усунення відмов шляхом проведення технічного огляду і виконання ремонту).

У теперішній час у схемах РС для виконання функцій реле одного й того ж масиву використовуються реле багатьох типів. Це викликає суттєві витрати на придбання реле з метою заміни зношених, на їх утримання в експлуатації та ремонт. У теперішній час існує можливість покращити показники уніфікації реле за рахунок застосування сучасної елементної бази (мікроконтролери та ін.).

Для оцінки рівня уніфікації реле в схемах РС пропонуються такі коефіцієнти, що застосовуються і в інших галузях техніки.

Частість застосування реле даного типу

$$K_N = \frac{N_j}{N}, \quad (1)$$

де  $N_j$  – кількість реле даного типу у розглядуваному масиві;  $N$  – загальна кількість реле у цьому масиві.

Коефіцієнт повторюваності

$$K_{\Pi} = \frac{N}{M}, \quad (2)$$

де  $M$  – кількість типів реле у розглядуваному масиві.

Частість застосування реле даного типу з урахуванням кількості типів реле

$$K_M = \frac{1}{M}. \quad (3)$$

Проведений аналіз типів реле у схемах електросекцій ЕР2, ЕР9М, ЕР2Р, електровозів ЧС2, ЧС2, ЧС2Т, ВЛ8, ВЛ10, ВЛ10У, ВЛ60К, ВЛ80К, ЧС4, ВЛ11, тепловозів ЧМЕ3, 2Т116, дизель-поїздів ДР1, пасажирських вагонів типу 47Д та 61-425(ЦМВО-66), дав чисельні значення вищевказаних коефіцієнтів, вказані в таблиці [1].

Середні показники уніфікації реле різних масивів по мережі залізниць України

Види реле	Середні значення показників уніфікації			
	$N_{\text{сер}}$	$K_{N\text{сер}}$	$K_{П\text{сер}}$	$K_{M\text{сер}}$
Проміжне реле М=35	66 060	0,0286	1887,4	0,0286
Реле струму М=17	15 920	0,0590	936,4	0,0590
Реле часу М=19	9 930	0,0530	522,6	0,0530
Диференційне реле М=10	3 370	0,1000	337,0	0,1000
Реле напруги М=17	7 870	0,0590	4 642,0	0,0590

В ідеальному випадку, якщо досягти для кожного масиву  $M = 1$ , значення коефіцієнтів уніфікації будуть максимальні і дорівнюватимуть.

Відношення середніх значень коефіцієнтів уніфікації до їх можливих максимальних складає у процентах для проміжних реле:

$$\frac{K_{N\text{сер}}}{K_{N\text{max}}} = \frac{0,0286}{1} \cdot 100 \% = 2,86 \% ; \quad (4)$$

$$\frac{K_{П\text{сер}}}{K_{П\text{max}}} = \frac{1887,4}{66060} \cdot 100 \% = 2,86 \% ; \quad (5)$$

$$\frac{K_{M\text{сер}}}{K_{M\text{max}}} = \frac{0,0286}{1} \cdot 100 \% = 2,86 \% . \quad (6)$$

Відповідно до реле струму, часу, диференціальних, напруги вказані коефіцієнти дорівнюють: 5,9; 5,3; 10,0; 5,9 %. Тобто уніфікація реле в схемах РС має низький рівень. У теперішній час існує елементна база, яка дозволяє значно підвищити рівень уніфікації релейних пристроїв.

На кафедрі автоматизованого електроприводу університету розроблено релейний пристрій часу на базі мікроконтролера PIC16F628, який є уніфікованим для всіх видів РС [2]. Тобто при його застосуванні на усьому РС, що знаходиться в експлуатації, значення коефіцієнтів уніфікації для масиву реле часу будуть дорівнювати:

$$K_N = 1 ; \quad K_{П} = 9\,930 ; \quad K_M = 1 .$$

Дослідні зразки, виготовлені на кафедрі і в промислових умовах на підприємстві «Хартрон-Експрес», працюють безвідмовно на РС Придніпровської залізниці більше двох років. Існує реальна можливість суттєвого підвищення коефіцієнтів уніфікації та інших видів реле.

### Висновки

Розробка та експлуатація дослідних зразків релейних пристроїв на основі сучасної елементної бази підтверджує можливість суттєвого підвищення значень коефіцієнтів уніфікації реле у схемах діючого та перспективного РС, що важливо, як з точки зору зменшення витрат на ремонт локомотивів та вагонів, так і з точки зору покращення ремонтпридатності систем керування.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Момот А. И. Унификация релейных элементов в схемах подвижного состава железных дорог Украины. Дис... канд. техн. наук. – Д. 1999 – 205 с.
2. Звіт про науково-дослідну роботу «Підвищення надійності систем керування локомотивами у сучасних умовах (заклучний, за договором № ПРНТО(Т)-01-11/НЮ-1527 25/02 СНЦ)». – Д., 2006 р., № держреєстрації 0100U004125.

Надійшла до редколегії 23.05.06.

## ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТЯГОВОЙ СЕТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Розглянуто непрямий метод визначення втрат електроенергії в тяговій мережі. Наведено приклад розв'язання такої задачі за допомогою спеціалізованої імітаційної моделі та результати статистичного аналізу отриманих результатів. Показане можливе застосування досягнутих результатів.

Рассмотрен косвенный метод определения потерь электроэнергии в тяговой сети. Приведен пример решения такой задачи с помощью специализированной имитационной модели и результаты статистического анализа полученных результатов. Показано возможное применение достигнутых результатов.

An indirect method of electric power losses determination in catenary has been examined. An example of solving such task with the help of specialized imitation model has been given and results of statistic analysis have been presented. Possible ways of using the obtained results have been exemplified.

Применение прямых методов оценки потерь в тяговой сети не дает удовлетворительных результатов в силу ряда причин [1–3]. Ниже рассмотрены вопросы их оценки косвенными методами. В отличие от активного сопротивления трансформаторов, сопротивление в тяговой сети, участвующей в передаче электрической энергии, меняется не только от температуры, но и от числа электроподвижных нагрузок в зоне. Пусть имеется межподстанционная зона (МПЗ) с односторонним питанием и некоторой обобщенной нагрузкой  $I$ . Расположение и величина отдельных нагрузок на первом этапе не будет учитываться, тогда справедлива схема 1, приведенная на рис. 1.

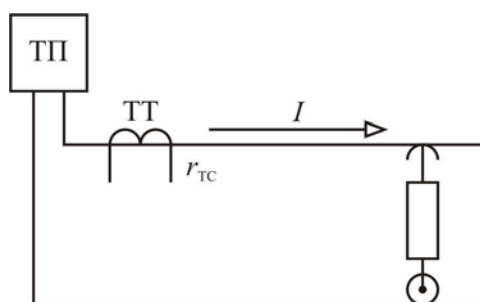


Рис. 1. Расчетная схема к определению эквивалентного сопротивления тяговой сети при одной нагрузке в межподстанционной зоне

Для схемы 1 потери электроэнергии за расчетный период  $T$  могут быть вычислены по формуле

$$\Delta W_{TC} = I^2 r_{TC} T, \quad (1)$$

где  $I$  – ток нагрузки, который может фиксироваться посредством шунта Ш с подключенным к нему амперметром на дороге с системой тяги постоянного тока или трансформатора тока и

амперметра на дороге с системой тяги переменного тока;  $r_{TC}$  – удельное сопротивление тяговой сети, Ом/км;  $T$  – расчетный период времени, месяцы.

Однако поездная ситуация может быть самой разнообразной. Пусть, например, она соответствует схеме 2, приведенной на рис. 2.

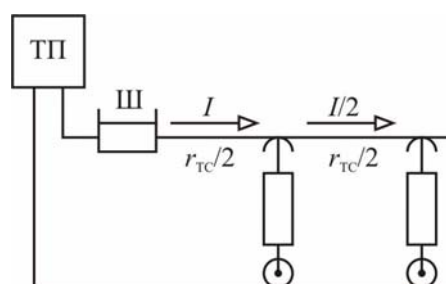


Рис. 2. Расчетная схема к определению эквивалентного сопротивления тяговой сети при двух нагрузках в межподстанционной зоне

Несмотря на то, что суммарный ток нагрузки не изменился, потери электроэнергии за тот же период времени  $T$  описывается иным выражением

$$\Delta W_{TC} = \frac{I^2 r_{TC}}{2} + \frac{I^2}{4} \cdot \frac{r_{TC}}{2} = \frac{5}{8} I^2 r_{TC}.$$

Предположим, что мы пытаемся организовать контроль потерь непосредственно по току тяговой подстанции и на основании информации о некоторой обобщенной нагрузке в МПЗ. Тогда схема замещения для схемы 1, схемы 2 и других возможных схем будет одинакова, и будет совпадать, в данном случае, со схемой 1.

Поскольку для действительной и эквивалентной схем должны совпадать рассматриваемые параметры, то справедливы следующие выражения:

- для схемы 1:

$$I^2 r_{TC} = I^2 r_{\text{эKB1}},$$

$$r_{\text{эKB1}} = \frac{I^2 r_{TC}}{I^2} = r_{TC},$$

т. е. эквивалентное  $r_{\text{эKB1}}$  и действительное  $r_{TC}$  сопротивления совпадают;

- для схемы 2:

$$I^2 r_{TC} = I^2 r_{\text{эKB2}},$$

$$r_{\text{эKB2}} = \frac{5}{8} r_{TC}.$$

Рассматривая подстанцию как источник электроэнергии для нагрузок ЭПС, питающий их через некоторое эквивалентное сопротивление, можно сделать вывод, что при прочих равных условиях эквивалентное сопротивление, а значит, и потери электроэнергии меняются в зависимости от того, где расположены нагрузки и от значения их величин. Кроме того, можно заключить, что если бы было известно эквивалентное сопротивление на каждый момент времени, то можно было бы организовать контроль потерь электрической энергии в тяговой сети непосредственно как

$$\Delta W_{TC} = \int_0^T r_{\text{эKB}} I_t^2 dt. \quad (2)$$

В [3] показано, что величина эквивалентного сопротивления  $r_{\text{эKB}}$  статистически устойчива и колеблется относительно своего устойчивого значения значительно меньше, чем  $I^2$ , и поэтому ее можно вынести за знак интеграла.

Правда эквивалентное сопротивление  $r_{\text{эKB}}$ , которое еще иногда называют коэффициентом пропорциональности потерь электроэнергии, статистически устойчиво при незначительных изменениях параметров его определяющих – числа поездов в межподстанционной зоне (МПЗ), соотношения грузопотоков по путям, наличия пунктов параллельного соединения (ППС) и постов секционирования контактной сети (ПСК) и других. Поэтому при практической реализации контроля потерь электроэнергии в тяговой сети этим методом требуется периодическая поправка эквивалентного сопротивления  $r_{\text{эKB}}$ .

Величина

$$\int_0^T I_t^2 dt$$

может быть легко измерена при помощи счетчиков квадрата тока. Особенностью такого

счетчика является то, что его обмотка напряжения заменяется токовой и тогда он измеряет не

$$\int_0^T U_t I_t dt,$$

а

$$\int_0^T I_t I_t dt = \int_0^T I_t^2 dt.$$

Таким образом, следует определить эквивалентное сопротивление  $r_{\text{эKB}}$ .

Пусть мы имеем информацию о контролируемом участке – параметры тяговой сети, протяженность МПЗ, схему питания тяговой сети, число поездов различного типа, обращающихся на участке, и токи, потребляемые ими. Тогда известными методами можно для заданных условий рассчитать потери электроэнергии  $\Delta P_{TC}$  аналитическими методами. Если для аналогичных условий оценить потери по эквивалентному сопротивлению  $r_{\text{эKB}}$  и счетчику квадратов тока, то очевидно допустимо равенство с определенной степенью погрешности

$$r_{\text{эKB}} \int_0^T I_t^2 dt = \Delta P_{TC},$$

откуда для заданных условий

$$r_{\text{эKB}} = \frac{\Delta P_{TC}}{\int_0^T I_t^2 dt}.$$

В случае если имеется несколько фидеров и двустороннее питание МПЗ, потери энергии выражаются

$$\Delta W_{TC} = r_{\text{эKB}} \int_0^T \sum_{i=1}^n I_{ti}^2 dt, \quad (3)$$

где  $i$  – номер фидера.

Структура формулы (3) очень проста и указывает на возможность использования микропроцессорной техники для реализации аппаратного контроля потерь в тяговой сети. Структурная схема такого контроля приведена на рис. 3.

Решать задачу определения потерь электроэнергии в тяговой сети удобно с помощью метода имитационного моделирования. На кафедре «Электроснабжение железных дорог» ассистентом Р. С. Мыцко и магистрантом Д. А. Босым разработана имитационная модель системы тягового электроснабжения. Ядро программы построено на решении мгновенных схем матричным методом. Общий вид программы представлен на рис 4.

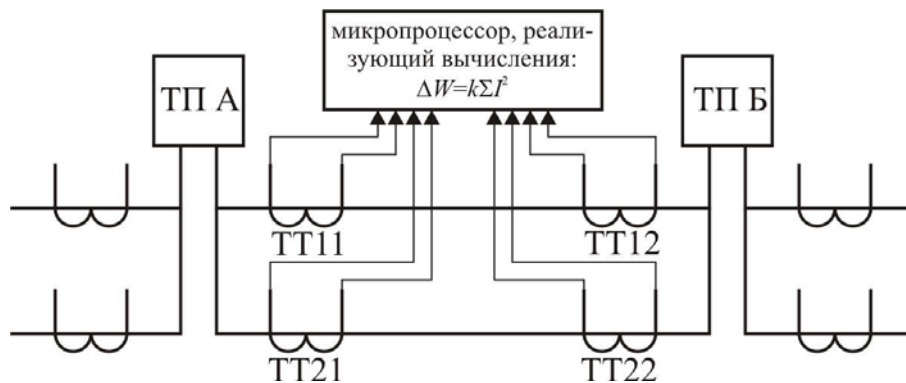


Рис. 3. Структурная схема организации алгоритмического контроля потерь электроэнергии в тяговой сети одной межподстанционной зоны:

TT11-TT22 – трансформаторы тока на фидерах двух смежных подстанций

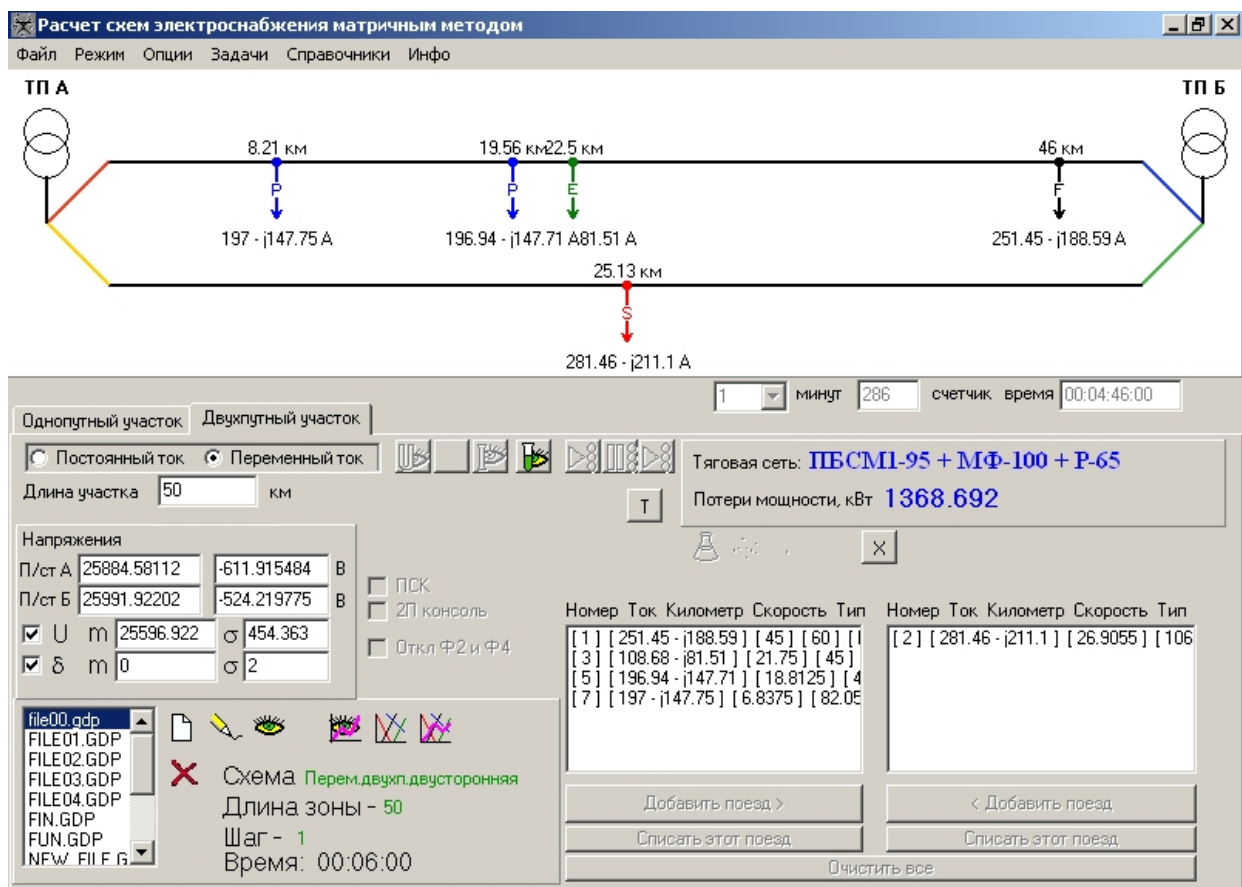


Рис. 4. Общий вид программы Матрикс

Потери активной мощности в каждый момент времени в имитационном комплексе определяются по следующему выражению:

$$\Delta P = \text{Re} \left[ J^T \left( M(Z_v)^{-1} M^T \right)^{-1} J \right], \quad (4)$$

где  $M$  – первая матрица инцидентий;  $J$  – вектор токов электровозов;  $Z_v$  – матрица сопротивлений.

Энергия, потребленная поездами за каждый интервал времени, определяется следующим образом:

$$W = \int_0^T \left( \sum_{i=1}^{N_F} I_{Fi} U_{Fi} \right) dt, \quad (5)$$

где  $I_{Fi}$  – ток  $i$ -го фидера тяговой подстанции;  $U_{Fi}$  – напряжение на соответствующем фидере подстанции;  $N_F$  – количество фидеров.

Программа имеет возможность создавать графики движения поездов, учитывать изменение тока поезда, колебания напряжения на шинах тяговых подстанций. После создания графика, производится его имитация и анализ полученных показателей.



Потери электроэнергии в тяговой сети меняются в широких пределах. Определим максимальные потери. Максимальные потери в тяговой сети будут при консольных схемах питания электрифицированных участков.

Ниже приведены результаты моделирования системы тягового электроснабжения постоянного тока при следующих исходных данных:

- род тока – постоянный;
- тяговая сеть – М-120+2МФ-100+2А-185+Р-65;
- длина участка – 20 км;
- межпоездной интервал – 8 мин;
- интервал моделирования – 1 месяц.

Принято, что на рассматриваемом участке курсируют 4 условных типа поездов (таблица). Для каждого типа заданы вес и скорость. Имитационный комплекс случайным образом на каждом шаге моделирования выбирает тип поезда, вес поезда и скорость из заданного интервала. Эти характеристики используются для определения токов поездов.

На основании данных о среднем количестве поездов на участке, их типов и величины по-

требляемого тока за период 1 месяц имитационный комплекс формировал вероятностный график движения и вычислял за этот период расход электроэнергии, потери энергии, процент потерь энергии и значение интеграла квадрата тока фидера по времени.

Таблица

Характеристики поездов

Условный тип поезда	Ток поезда, А	Скорость поезда, км/ч	Количество поездов
Грузовой	500...700	60	900
Скоростной	700...900	100...130	60
Электропоезд	400...450	45	540
Пассажирский	450...500	80...90	1 500

Для расчетов статистических оценок потерь электроэнергии в тяговой сети было произведено 200 имитаций работы системы тягового электроснабжения, при этом каждый раз вероятностный график движения формировался заново. График потерь электроэнергии в тяговой сети рассматриваемого участка представлен на рис. 5.

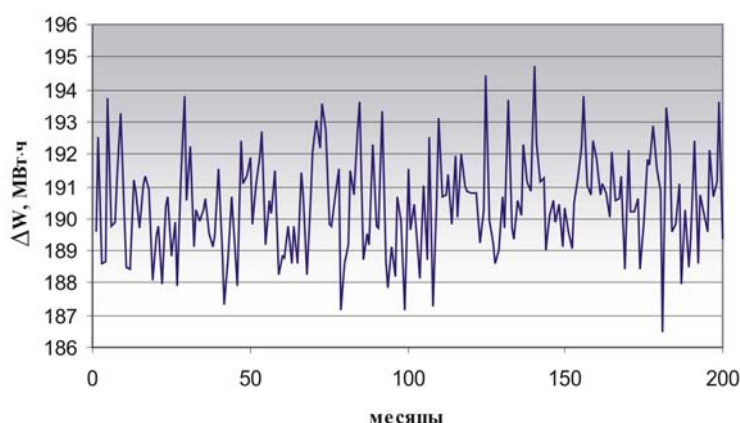


Рис. 5. Потери электроэнергии в тяговой сети рассматриваемого участка по месяцам

Среднемесячное значение потерь электроэнергии составило 190,45 МВт·ч.

Среднее значение годовых потерь электроэнергии составило

$$\Delta W_{\text{год}} = 2,285 \cdot 10^6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Если известна оценка годовых потерь электроэнергии в фидерной зоне  $\Delta W_{\text{год}}$ , то можно рассчитать величину удельных потерь электроэнергии  $B_0$  как

$$B_0 = \frac{\Delta W_{\text{год}}}{\ell r_{\text{экв}}}, \quad (6)$$

где  $\Delta W_{\text{год}}$  – годовые потери электроэнергии в проводах фидерной зоны, кВт·ч;  $\ell$  – длина фидерной зоны, км.

Для рассматриваемого примера величина среднегодовых удельных потерь электроэнергии  $B_0$  составила  $2,33 \cdot 10^6$  кВт·ч/Ом·км.

По величине  $B_0$  можно определить оптимальные параметры контактной сети при проектировании новых участков. При этом важно знать не только среднее значение  $B_0$ , но также и закон его распределения. С применением современных вычислительных инструментов (например, программа Crystal Ball) эта задача перестала представлять трудности. Данные о потерях электроэнергии были переданы в Crystal Ball.

На рис. 6 представлен результат подбора распределения для случайной величины – удельных потерь электроэнергии на рассматриваемом участке.



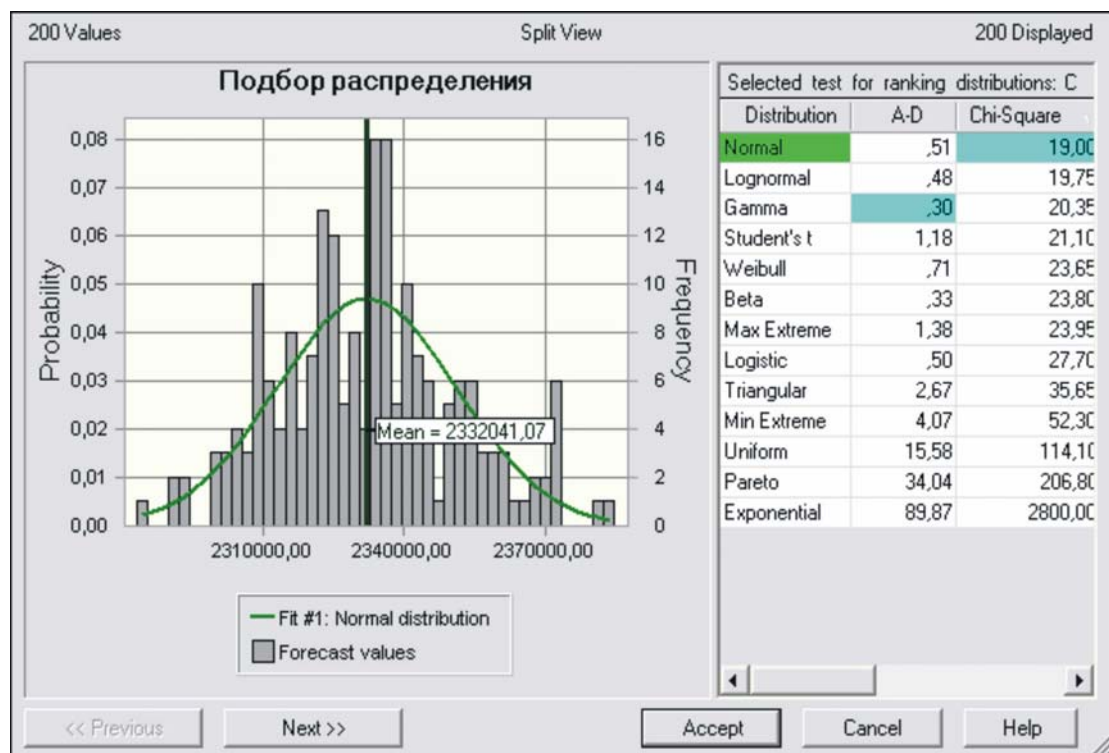


Рис. 6. Подбор закона распределения для удельных потерь электроэнергии на рассматриваемом участке

### Выводы

1. В статье рассмотрены вопросы определения потерь электроэнергии в тяговой сети косвенным методом. Показано как можно решить эту задачу с помощью созданной на кафедре «Электроснабжение железных дорог» программы имитационного моделирования Матрикс.

2. Определены максимальные потери для заданного участка постоянного тока.

3. Определены оценки удельных потерь электроэнергии в тяговой сети  $B_0$ . Для рассматриваемого примера величина среднегодовых удельных потерь электроэнергии  $B_0$  составила  $2,33 \cdot 10^6$  кВт·ч/Ом·км.

4. По критерию согласия  $\chi^2$  можно заключить, что закон распределения среднегодовых удельных потерь электроэнергии  $B_0$  можно считать нормальным.

5. Результаты, полученные в данной статье, планируется использовать для решения задачи определения оптимальной площади сечения контактной сети, а также для аппаратного контроля потерь электроэнергии на электрифицируемом участке.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1982. – 582 с.
2. Мамошин Р. Р. Электроснабжение электрифицированных железных дорог / Р. Р. Мамошин, А. Н. Зимакова. – М.: Транспорт, 1980. – 296 с.
3. Бардушко В. Д. Анализ и параметрический синтез систем тягового электроснабжения. Дисс. ... д-ра техн. наук. – Иркутск: 2001. – С. 133–154.

Поступила в редколлегию 03.04.2006.

М. Б. КУРГАН, М. А. ЗАЯЦ (ДІІТ)

# **ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ОВОЛОДІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПОЇЗДІВ НА ОДНІЙ З ПАРАЛЕЛЬНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЛІНІЙ**

Розроблена методика формування раціональної схеми етапного оволодіння перевезеннями для паралельних залізничних напрямків, при впровадженні на одному з них швидкісного руху пасажирських поїздів.

Разработана методика формирования рациональной схемы этапного овладения перевозками для параллельных железнодорожных направлений, при введении на одном из них скоростного движения поездов.

The authors have developed a method of forming a rational scheme of stage-by-stage integration of services on parallel-bound railroad directions, when high-speed services are introduced on one of them.

**Загальні положення.** До 60-х років минулого століття швидкості вантажних поїздів становили 2/3 швидкості пасажирських. За минулий час різниця між максимальною швидкістю вантажних і пасажирських поїздів  $V_{\text{пас}} - V_{\text{ван}}$  збільшилась у 1,5–2 рази. При істотній різниці  $V_{\text{пас}} - V_{\text{ван}}$  швидкісні поїзди знімають із графіка значну кількість вантажних поїздів, що призводить до зменшення провозоспроможності лінії, на якій впроваджується швидкісний рух.

Щоб забезпечити раціональний швидкісний режим потоку поїздів і оптимальні умови роботи колії, необхідно підвищити швидкості вантажних поїздів до 100...110 км/год. Таке рішення можливе в перспективі після модернізації візків

і гальмових пристроїв вантажних вагонів. Інша можливість вирішення проблеми – це передача частини вантажних поїздів на паралельні (рівнобіжні) ходи. Такий підхід, наприклад, був використаний в Росії при формуванні схеми оволодіння перевезеннями для паралельних залізничних напрямків Інза–Чишми [1].

На рис. 1 зображена ймовірна схема ділянки між станціями, де по одній лінії передбачається обертання більшою частиною швидкісних пасажирських поїздів, а по іншій – вантажних. Як приклад, можна навести варіанти сполучення між Києвом та Львовом: перший – через станцію Жмеринка, а інший – через станцію Шепетівка.

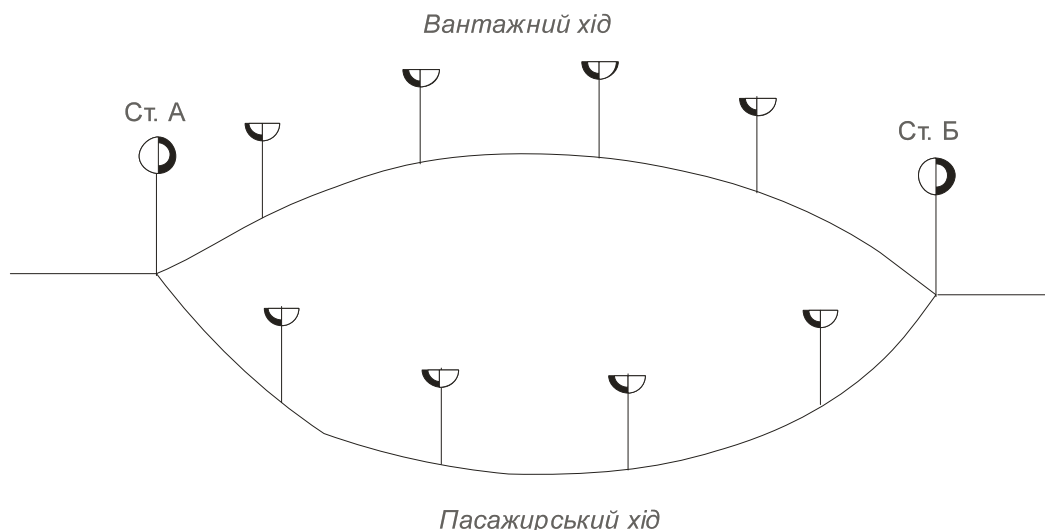


Рис. 1. Схема рівнобіжних ділянок

Під час дослідження паралельних ходів необхідно враховувати технічний стан обох залізничних напрямків. Так, наприклад, пасажирський хід може становити собою одноколійну ділянку або одноколійну з двоколійними вставками чи

двоколійну залізницю. При цьому вантажний (паралельний) хід також може знаходитись в одному з цих технічних станів. Тому виникає щонайменше дев'ять можливих сполучень. На рис. 2 схематично показані ці комбінації.

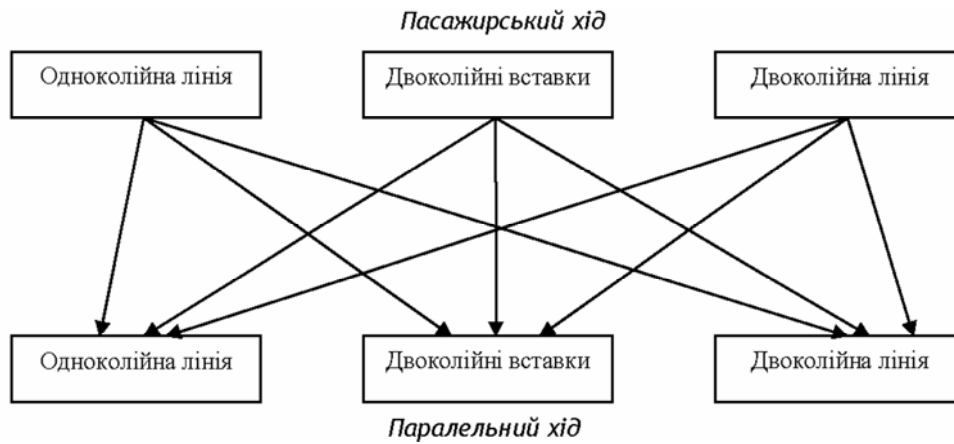


Рис. 2. Варіанти технічного стану на пасажирському та паралельному (вантажному) ходах

**Постановка задачі.** Дослідити умови, за яких передача частини вантажних перевезень на рівнобіжний хід може бути ефективною. У даній роботі розглянуті рівнобіжні ділянки з двоколійними

вставками довжиною 115 км. Передбачається, що на одній з ділянок впроваджується швидкісний пасажирський рух завдяки передачі частини вантажопотоку на паралельний хід (рис. 3).

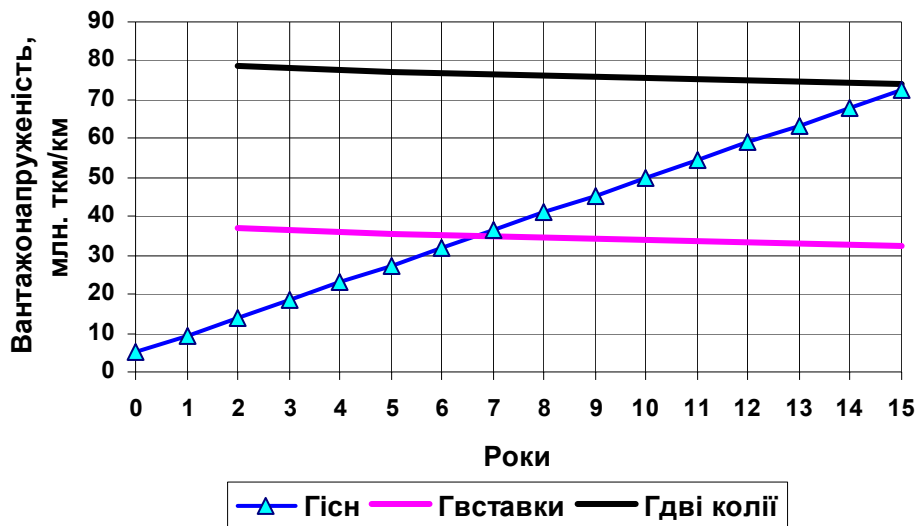


Рис. 3. Графік оволодіння перевезеннями на пасажирському ходу

Вантажонапруженість змінювалась за законом  $G_t = 5,0 + 4,5t$ . З графіка оволодіння перевезеннями було встановлено, що за наявності технічного оснащення залізнична лінія забезпечить перевезення до 6-го року експлуатації, а далі потребується перехід на більш потужний технічний стан – будівництво другої колії. Якщо ж переключити частину вантажопотоку  $\Delta G_t$  на паралельний хід, то можна досягти відкладення капіталовкладень.

Термін відкладення будівництва другої колії залежить перш за все від величини  $\Delta G_t$ . Так, наприклад, у разі передачі на паралельний хід 10 млн т/рік будівництво другої колії відкладається до 9-го року експлуатації, у разі передачі 20 млн т/рік відстрочка будівництва можливо до 11-го року (рис. 4).

Встановлено, що під час впровадження швидкісного руху рівнобіжні ходи повинні розглядатись з позиції єдиної схеми оволодіння перевезеннями, де критерієм може бути чистий дисконтний дохід. Було прийнято, що паралельний хід має такий же технічний стан, що й пасажирський. При цьому розглядалися три варіанти, коли на паралельному ходу ріст вантажопотоку відбувався з різними темпами, а саме  $\Delta G_t = 2t, 3t, 3,5t$ .

У разі зростання вантажонапруженості за законом  $\Delta G_t = 5,0 + 2t$  (1-й варіант) паралельний хід може впоратися з перевезеннями до 13-го року. При передачі вантажів в 6-й рік в об'ємі 10 млн т/рік підсилення лінії необхідно буде виконати вже у 9-й рік, при передачі 20 млн т/рік – лінія вже у рік передачі повинна бути двоколіійною (рис. 5).

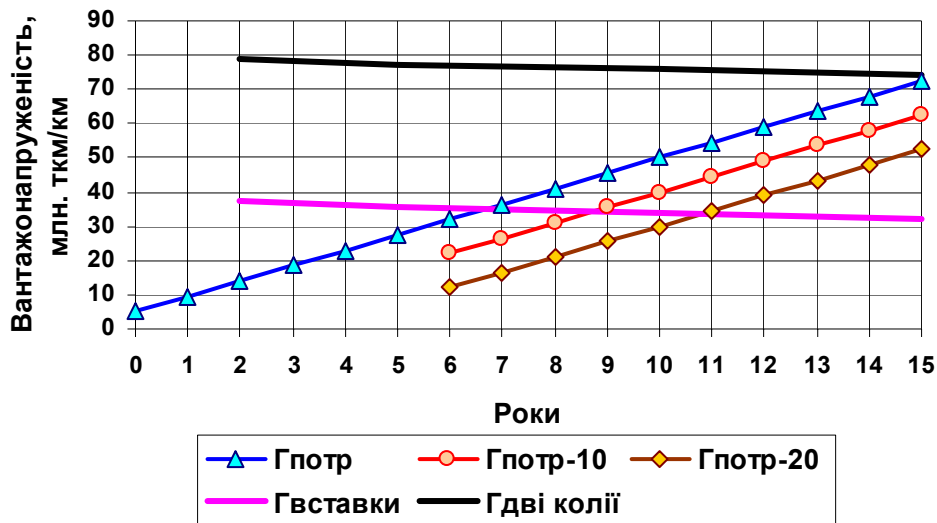


Рис. 4. Графік оволодіння перевезеннями на пасажирському напрямку при передачі 10 та 20 млн т/рік на паралельний хід

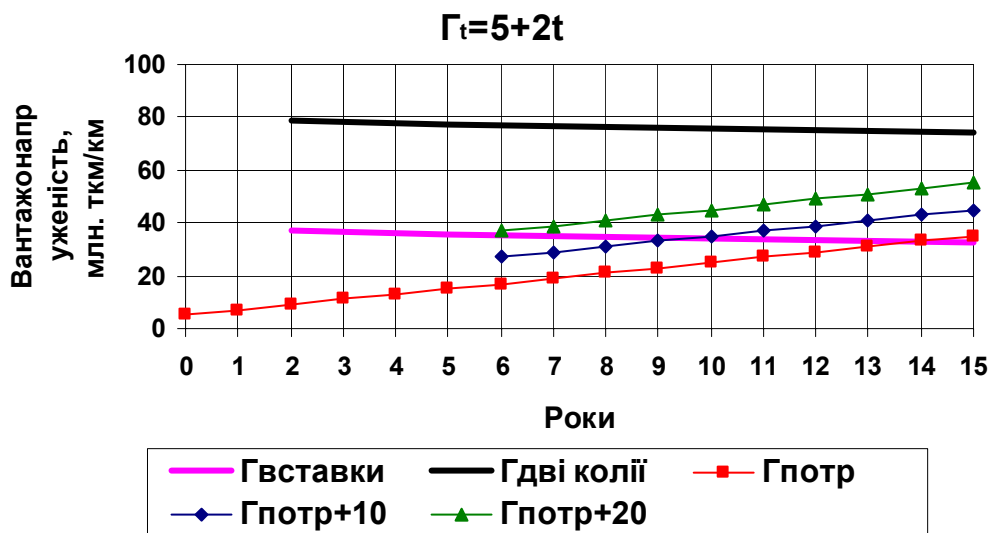


Рис. 5. Графік оволодіння перевезеннями на паралельному ході  $\Gamma_t = 5,0 + 2t$

При інших темпах зростання вантажонапруженості (2-й і 3-й варіанти) потужності паралельного ходу недостатньо, і тому вже в 6-й рік лінія потребує підсилення шляхом побудови другої колії.

**Методика дослідження.** Для проведення дослідження і порівняння можливих варіантів була розроблена програма «Оволодіння перевезеннями», що враховує потрібні капітальні вкладення в локомотивний і вагонний парки, вартість вантажної маси, що знаходиться в перевезеннях, експлуатаційні витрати і інвестиції при зміні технічного стану залізниці. Алгоритм програми зображено на рис. 6.

За наявності паралельних напрямків, розподілом транзитних вантажопотоків можна варіювати. За критерій схеми розвитку паралельних

ліній можна прийняти у першому наближенні експлуатаційні витрати

$$(C_I + C_{II}) \rightarrow \min ,$$

за умови

$$\Gamma_I(t) + \Gamma_{II}(t) = \Gamma(t) .$$

На рис.7 наведені сумарні експлуатаційні витрати, які з передачею частини вантажопотоку зменшуються приблизно на 2–3 %. При цьому, чим більший темп зростання вантажопотоку, тим більш істотний ефект від переключення частки вантажних перевезень на паралельний хід. Це пояснюється насамперед зменшенням числа зупинок та обгонів вантажних поїздів пасажирськими на першому напрямку, який перебудовується під швидкісний рух.

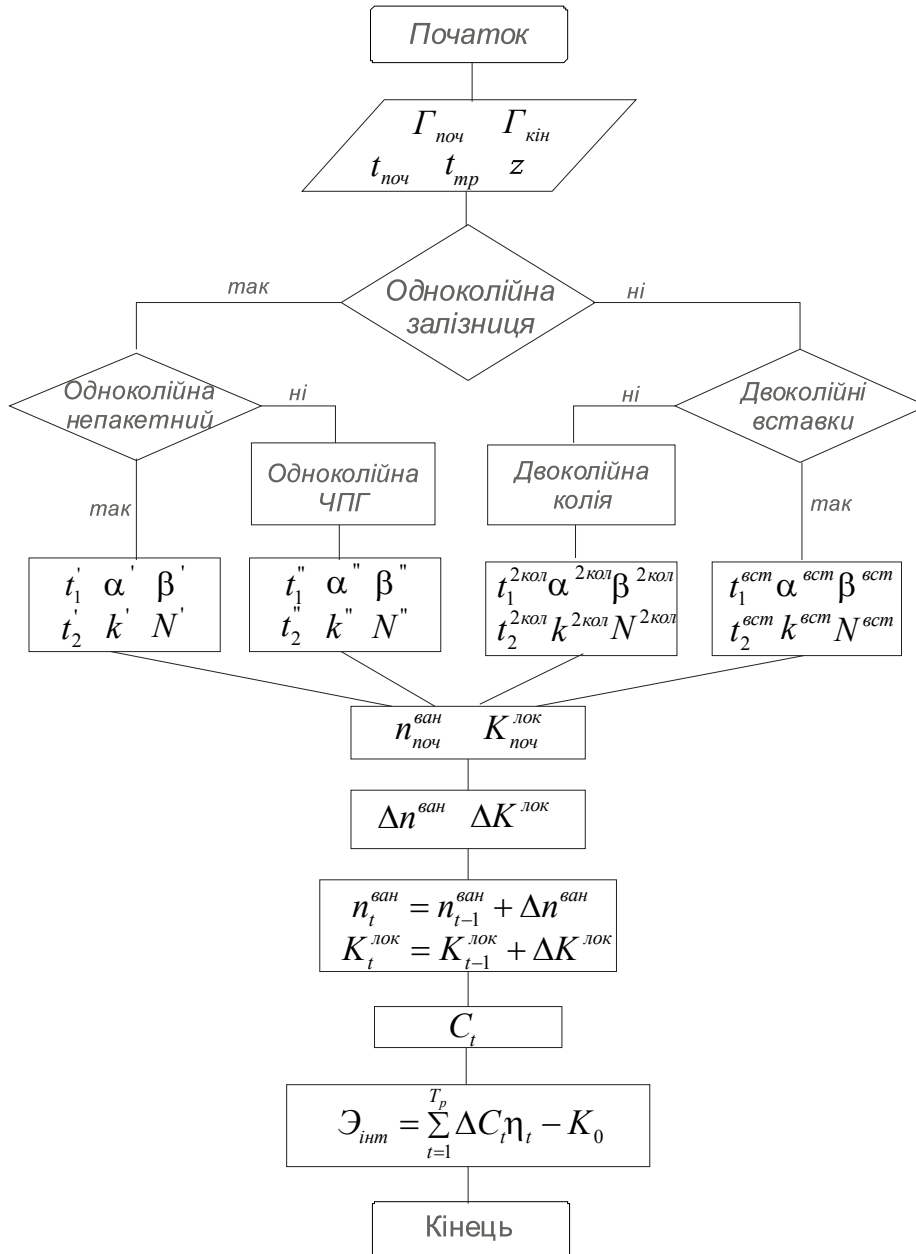


Рис. 6 Алгоритм програми «Оволодіння перевезеннями»:

$\Gamma_{\text{поч}}$  та  $\Gamma_{\text{кін}}$  – початкова та кінцева вантажна напруженість;  $t_{\text{поч}}$ ,  $t_{\text{тр}}$  – рік початку дії заходу та його тривалість;  
 $z$  – тип графіка руху;  $t'_1$ ,  $t''_1$ ,  $t_1^{\text{вст}}$ ,  $t_1^{2\text{кол}}$  – тривалість стоянок під схрещенням та обгоном при непакетному, частково-пакетному, двоколіїних вставках та другій колії;  $t'_2$ ,  $t''_2$ ,  $t_2^{\text{вст}}$ ,  $t_2^{2\text{кол}}$  – середній час руху поїзда по перегону чи по вставці;  $\alpha'$ ,  $\alpha''$ ,  $\alpha^{\text{вст}}$ ,  $\alpha^{2\text{кол}}$  – середній коефіцієнт пакетності на ділянці та частка беззупинного схрещення вантажних поїздів з пасажирськими від загальної кількості схрещення цих поїздів відповідно;  $\beta'$ ,  $\beta''$ ,  $\beta^{\text{вст}}$ ,  $\beta^{2\text{кол}}$  – коефіцієнт дільничної швидкості при непакетному, частково-пакетному, двоколіїних вставках та другій колії;  $k'$ ,  $k''$ ,  $k^{\text{вст}}$ ,  $k^{2\text{кол}}$  – кількість зупинок при непакетному, частково-пакетному, двоколіїних вставках та другій колії;  $N'$ ,  $N''$ ,  $N^{\text{вст}}$ ,  $N^{2\text{кол}}$  – наявна пропускна здатність при непакетному, частково-пакетному, двоколіїних вставках та другій колії;  
 $n_{\text{поч}}^{\text{ван}}$  – кількість вантажних поїздів у рік початку дії заходу;  $K_{\text{поч}}^{\text{лок}}$  – вартість локомотивного та вагонного парку, а також вартість вантажної маси у рік початку дії заходу;  $\Delta n^{\text{ван}}$  – річний приріст вантажних поїздів;  
 $\Delta K^{\text{лок}}$  – річний приріст вартості локомотивного та вагонного парку, а також вартості вантажної маси;  
 $C_t$  – експлуатаційні витрати;  $\Delta C_t$  – різниця експлуатаційних витрат до та після проведення заходів;  
 $\eta_t$  – коефіцієнт дисконтування різночасових витрат та результатів;  $K_0$  – сумарні капітальні вкладення у захід;  
 $\mathcal{E}_{\text{инт}}$  – інтегральний ефект (чистий дисконтний дохід)

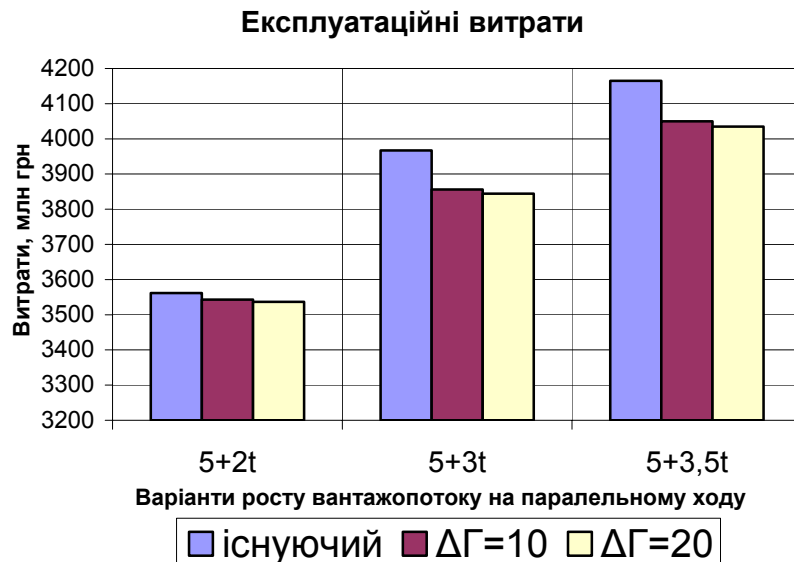


Рис. 7. Експлуатаційні витрати за варіантами

Зменшення обсягів вантажних перевезень на лінії, де буде впроваджуватись швидкісний рух, має позитивний вплив як на скорочення часу руху пасажирських поїздів за рахунок підвищення допустимої швидкості в кривих, так і на роботу колії в цілому. Надмірність підвищення зовнішньої рейки в кривих, що встановлена для швидкісного руху, визиває перевантаження внутрішньої рейки вантажними поїздами, а при вході їх у криві утруднює розворот візків, що в свою чергу призведе до росту горизонтальних сил на верхню будову колії. Із-за розвантаження зовнішнього колеса зменшується стійкість від сходу з рейок вантажних вагонів і в першу чергу цистерн, із-за підвищеного у порівнянні із звичайними вагонами центра ваги.

Для дослідження можливості підвищення допустимої швидкості руху поїздів в кривих ділянках колії було виконано такі:

1. Виконані тягові розрахунки для пасажирських і вантажних поїздів на досліджуваній ділянці. Було встановлено, що незалежно від абриса поздовжнього профілю перегонів співвідношення

$$\Delta = \frac{V_{\text{ван}}}{V_{\text{пс}}}$$

знаходиться в інтервалі 0,4...0,6.

2. Розрахована середньозважена швидкість поїздопотоку для прийнятих раніше трьох варіантів  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$ .

3. Допускаючи, що таке співвідношення швидкостей руху матиме місце в кривих різних радіусів, розташованих на перегонах, за методикою [2] визначені допустимі швидкості руху (рис. 8).

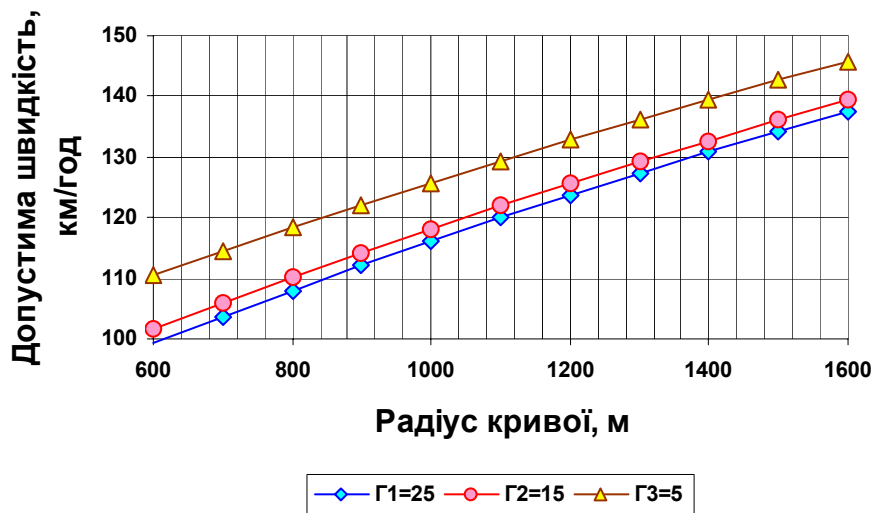


Рис. 8. Залежність допустимої швидкості від радіусу кривої

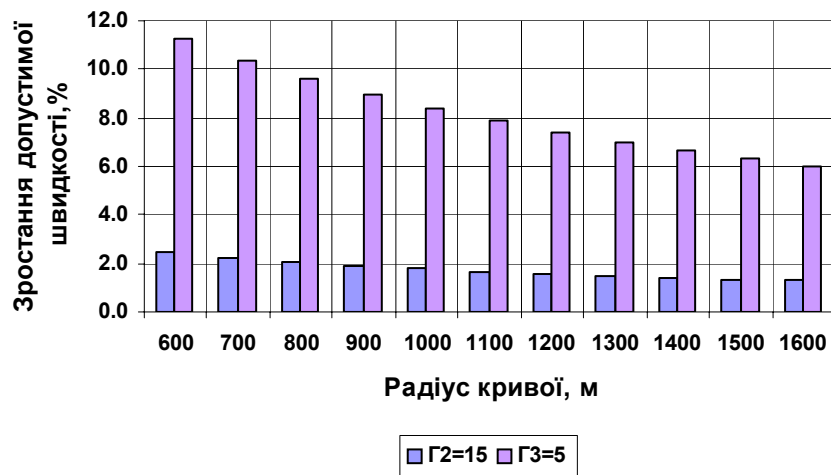


Рис. 9. Зростання допустимої швидкості при передачі 10 млн т (варіант Г2) та 20 млн т (варіант Г3)

Як видно з рис. 8 і 9 при передачі вантажопотоку на паралельний хід в розмірі 10 млн т ( $G_2 = G_1 - 10$ ) допустимі швидкості руху зростають на 1,3...2,6 %, при передачі 20 млн т ( $G_3 = G_1 - 20$ ) допустимі швидкості збільшуються на 6,0...11,3 %, причому більші значення мають місце в кривих малих радіусів.

Викладена методика дозволяє використовувати різні критерії при порівнянні варіантів, в тому числі чистий дисконтований дохід [3].

### Висновки

1. У роботі запропоновано розглядати розвиток паралельних залізничних ліній з позиції єдиної схеми оволодіння перевезеннями. Такий підхід є особливо актуальним під час впровадження на одному з напрямків швидкісного руху поїздів.

2. Сумісне формування раціональної схеми оволодіння перевезеннями для рівнобіжних залізничних ліній дає змогу підвищити швидкість пасажирських поїздів у разі переключення частки вантажопотоку на паралельний хід.

3. Залежно від наявного технічного оснащення, темпів росту вантажонапруженості та інших факторів зменшуються капітальні вкладення на перебудову ліній та експлуатаційні витрати, пов'язані з рухом поїздів, що вказує на техніко-економічний ефект подібних заходів.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Турбин И. В. Реконструкция параллельных железных дорог при вводе скоростного движения пассажирских поездов / И. В. Турбин, А. В. Березкин // Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта: Межвуз. сб. науч. тр. – Самара: СамИИТ, 2000. – Вып. 20, ч. 1. – С. 179–183.
2. Орловський А. М. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих / А. М. Орловський, О. М. Патласов, В. В. Циганенко та ін. ЦП/0056: Затв. наказом Укрзалізниці від 27.04.99 № 124-Ц. – Д.: Арт-Прес, 1999. – 44 с.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-во экон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: В. В. Коссов, В. Н. Лившиц, А. Г. Шахназаров. – М.: ОАО НПО «Изд-во Экономика», 2000. – 421 с.

Надійшла до редколегії 05.04.2006.



## ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ З ПРИМУСОВИМ НАХИЛОМ КУЗОВІВ ВАГОНІВ У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ

Розглянута доцільність застосування рухомого складу з примусовим нахилом кузова вагонів на ділянці Київ–Дніпропетровськ. Показано, що використання такого рухомого складу не може бути ефективним без перебудови плану лінії й додаткових інвестицій в інфраструктуру залізниць.

Рассмотрена целесообразность применения подвижного состава с принудительным наклоном кузова вагонов на участке Киев–Днепропетровск. Показано, что использование такого подвижного состава не может быть эффективным без переустройства плана линии и дополнительных инвестиций в инфраструктуру железных дорог.

Expediency of application of rolling stocks with tilting cars on the rail section Kiev–Dnipropetrovsk has been considered. It has been shown that the use of such cars cannot be efficient without a reorganization of the track plane and additional investments into the railway infrastructure.

Пріоритетними напрямками модернізації залізниць України на наступні роки є відновлення колійного господарства і рухомого складу. Другий напрямок передбачає не тільки закупівлю, але й виробництво в Україні рухомого складу з примусовим нахилом кузовів вагонів. Перевага таких поїздів полягає в тому, що за рахунок конструктивної особливості вони здатні з більш високими швидкостями, ніж звичайний рухомий склад, проходити криві ділянки. Такий спосіб застосований, наприклад, на електропоїздах Pendolino (Італія), поїздах серії ІСТ (Німеччина) [1].

Як показали розрахунки, виконані для залізниць України, визначальними факторами, що впливають на кінцевий результат, є фактичні радіуси кривих, величини розрахункового підвищення зовнішньої рейки, яка визначається в основному вантажними поїздами, і крутизна відводу підвищення. Короткі перехідні криві і круті відводи підвищення зовнішньої рейки, наявність складових (два і більше радіусів) і сполучених кривих (розподілених короткими прямими вставками) не дозволяють забезпечити високі швидкості руху без перебудови кривих. Отже, характеристики плану лінії впливають на остаточний результат.

Наведемо дані з роботи [2] щодо можливості збільшення швидкості  $\Delta V$  на напрямку Берлін–Мюнхен. Так, на ділянках Ерланген–Ліхтенфельс  $\Delta V = 0$ , Ліхтенфельс–Хохштадт–Марктцойльн  $\Delta V = 10$  км/год, Хохштадт–Марктцойльн–Заальфельд –  $\Delta V = 40$  км/год. З цього прикладу видно, що висновки щодо збільшення швидкості руху поїздів типу Pendolino і скорочення часу руху можна робити тільки після детальних досліджень конкретних ділянок.

Для проведення дослідження вибраний напрямок Київ–Дніпропетровськ, на якому в 2003 році був впроваджений прискорений рух денних експресів. Щоб урахувати частоту розташування кривих, їхні параметри і взаємний вплив на допустиму швидкість руху поїздів, цей напрямок був розподілений на окремі ділянки. Результати аналізу параметрів плану наведено на рис. 1 і в табл. 1.

З рис. 1 і табл. 1 випливає, що за параметрами плану ділянка Київ–Миронівка є найбільш придатною для організації швидкісного руху. Сумарна протяжність кривих становить 17,5 % від довжини ділянки, середній радіус 1 280 м. Інші ділянки є досить складними. Наприклад, на ділянці Миронівка–Т. Шевченка сумарна протяжність кривих 48,2 %, у т. ч. радіусом до 1 600 м – 42,1 %.

Дослідимо, по-перше, які допустимі швидкості руху в кривих може реалізувати рухомий склад з примусовим нахилом кузовів вагонів, по-друге, як складність плану лінії впливає на переваги рухомого складу з примусовим нахилом кузовів вагонів у порівнянні із звичайним рухомим складом, тобто на яких ділянках має місце найбільше зростання швидкості й економія в часі руху.

Методика дослідження базується на застосуванні тягово-експлуатаційної моделі, розробленої на кафедрі проектування і будівництва доріг ДПТ. Така модель дозволяє встановлювати підвищення зовнішньої рейки в кривих і відповідну довжину перехідних кривих, визначати допустиму швидкість руху, виконувати тягові розрахунки, а також оцінювати комфортабельність їзди [3].



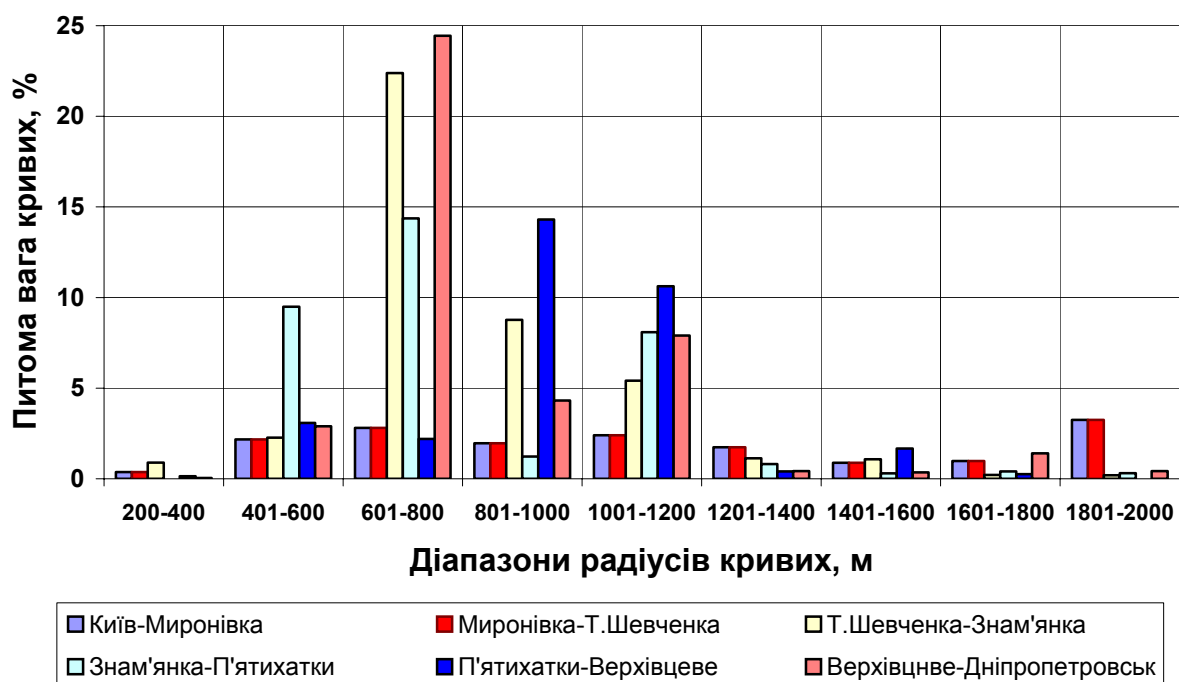


Рис. 1. Гістограма розподілу радіусів кривих на напрямку Київ–Дніпропетровськ

Таблиця 1

Характеристики плану ділянок, що досліджуються

Ділянки	Сумарна довжина кривих, $\sum K$		Сума кутів повороту, $\sum \alpha$	Середній радіус, $R_{\text{сер}}$	Питома вага кривих, $\gamma < 1600$ м
	км	%	град./км	м	%
Київ–Миронівка	18,9	17,5	7,86	1280	12,3
Миронівка–Т. Шевченка	52,3	48,2	22,98	1202	42,1
Т. Шевченка–Знам'янка	41,0	44,7	27,63	926	41,9
Знам'янка–П'ятихатки	36,9	35,9	22,23	924	34,3
П'ятихатки–Верхівцеве	17,8	36,3	18,65	1118	32,4
Верхівцеве–Дніпропетровськ	33,0	46,3	28,12	946	40,4

Поставимо питання, коли виникає необхідність застосування рухомого складу з примусовим нахилом кузовів вагонів. Щоб відповісти на нього, нагадаємо, що на залізницях мають місце суміщені вантажні й пасажирські перевезення, і по кривих рухаються поїзди з різними швидкостями. У кожній кривій розрахунком визначаються і встановлюються відповідні підвищення зовнішньої рейки  $h_{\text{ф}}$ . Для швидких поїздів підвищення  $h_{\text{ф}}$  може бути недостатнім. У цьому випадку центробіжна сила не зрівноважується і нестача підвищення визначається як

$$h_{\text{н}} = h_{\text{т}} - h_{\text{ф}},$$

де  $h_{\text{т}}$  – теоретичне підвищення, що розраховане для самого швидкого поїзда.

На ділянках, де планується впровадження швидкісного руху поїздів, теоретичне підвищення  $h_{\text{т}}$  буде збільшуватись і різниця  $h_{\text{т}} - h_{\text{ф}}$ , тобто нестача підвищення  $h_{\text{н}}$  також буде зростати і при деякому значенні швидкості поперечні сили можуть стати більше допустимих значень і тоді виникає необхідність обмеження швидкості руху, або застосування спеціального рухомого складу з примусовим нахилом кузовів вагонів [4].

Під час проходження кривих ділянок поїздами типу Pendolino кут нахилу кузова вагона регулюється  $0 \dots 8^\circ$  залежно від кривизни колії за допомогою електронної системи, сенсорного блоку і пневмо- або гідроциліндрів. При цьому відцентрове прискорення, що діє на пасажирів, можна визначити за формулою

$$\alpha_{\text{нп}} = \frac{V^2}{3,6^2 R} - g \left( \frac{h}{S} + \varphi \right) \leq [\alpha_{\text{нп}}], \quad (1)$$

де  $V$  – швидкість руху поїзда в кривій, км/год;  
 $R$  – існуючий радіус кривої, м;  $S$  – відстань між осями головок рейок,  $S=1600$  мм;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>;  
 $h$  – підвищення зовнішньої рейки в кривій, мм;  
 $\varphi$  – кут нахилу кузова, рад;  $[\alpha_{\text{нп}}]$  – допустиме значення непогашеного прискорення, м/с<sup>2</sup>.

Формулу (1) можна привести до виду, зручного для проведення розрахунків за існуючими методиками [5]:

$$\frac{V^2}{3,6^2 R} - \frac{gh}{S} \leq [\alpha_{\text{нп}}]_{\text{умов}}, \quad (2)$$

де  $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{умов}}$  – умовно допустиме непогашене прискорення за рахунок нахилу кузова

$$[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{умов}} = [\alpha_{\text{нп}}] + g\varphi. \quad (3)$$

Аналогічно можна записати формулу для визначення зміни непогашеного прискорення, яке діє на пасажирів, в часі, тобто

$$\psi = \frac{V^3}{3,6^3 RL} - \frac{gV}{3,6L} \left( \frac{h}{S} + \varphi \right). \quad (4)$$

Подамо формулу (4) у вигляді

$$\psi + \frac{gV}{3,6L} \varphi = \frac{V^3}{3,6^3 RL} - \frac{gVh}{3,6LS}. \quad (5)$$

Права частина формули (5) є  $[\psi]$ , тоді формулу можна записати як

$$[\psi]_{\text{умов}} = [\psi] + \frac{gV}{3,6L} \varphi. \quad (6)$$

З формули (3)

$$g\varphi = [\alpha_{\text{нп}}]_{\text{умов}} - [\alpha_{\text{нп}}], \quad (7)$$

тоді

$$[\psi]_{\text{умов}} = [\psi] + \frac{[\psi] ([\alpha_{\text{нп}}]_{\text{умов}} - [\alpha_{\text{нп}}])}{[\alpha_{\text{нп}}]}$$

або

$$[\psi]_{\text{умов}} = \frac{[\psi][\alpha_{\text{нп}}] + [\psi][\alpha_{\text{нп}}]_{\text{умов}} - [\psi][\alpha_{\text{нп}}]}{[\alpha_{\text{нп}}]},$$

звідки

$$[\psi]_{\text{умов}} = \frac{[\psi][\alpha_{\text{нп}}]_{\text{умов}}}{[\alpha_{\text{нп}}]}. \quad (8)$$

Використовуючи наведені вище формули, були розраховані допустимі значення критеріїв для звичайного рухомого складу і умовно допустимі для рухомого складу з примусовим нахилом кузовів вагонів (табл. 2).

Таблиця 2

Прийняті критерії для виконання техніко-економічних розрахунків

Критерії		Позначення	Значення критеріїв для рухомого складу	
			без примусового нахилу кузова вагона	з примусовим нахилом кузова вагона
Непогашені прискорення, м/с <sup>2</sup>	у поодиноких кривих	$\alpha_{\text{нп}}$	0,7	1,8
	у суміжних кривих	$\alpha_{\text{нп}}^{\text{сп}}$	0,4	1,0
Зміна непогашеного прискорення, м/с <sup>3</sup>	у поодиноких кривих	$\psi$	0,6	1,5
	у суміжних кривих	$\psi^{\text{сп}}$	0,3	0,7
Уклон відводу підвищення зовнішньої рейки, ‰	у поодиноких кривих	$i$	$i = 290V^{-1,153}$	
	у суміжних кривих	$i^{\text{сп}}$	$i = 84V^{-1,402}$	

Якщо зважити на те, що відцентрове прискорення, що діє на пасажирів в кривій, не перевищує встановлених значень  $[\alpha_{\text{нп}}]$  і  $[\psi]$ , то допустимі швидкості руху можна розраховувати за формулами, що наведені в [5], використовуючи умовне значення підвищення зовнішньої рейки

$$h_{\text{умов}} = h_p + \Delta h,$$

де  $\Delta h = S\varphi$  – додаткова компенсація непогашеного прискорення.

Але такий підхід враховує нормування тільки тих показників, що діють на пасажирів і обумовлюють комфортабельність їзди. Прискорення, що виникають в невіднесеної частині екіпажу не будуть зменшені нахилом кузова. Тому питання взаємодії такого рухомого складу і колії потребує додаткового вивчення.

Тягові розрахунки виконані для вітчизняного рухомого складу з локомотивом ДСЗ і законного, з примусовим нахилом кузовів вагонів – Pendolino.

Результати, що показують можливість реалізації швидкостей руху Pendolino у порівнянні з ДСЗ в діапазоні 121...160 км/год наведені на рис. 2.

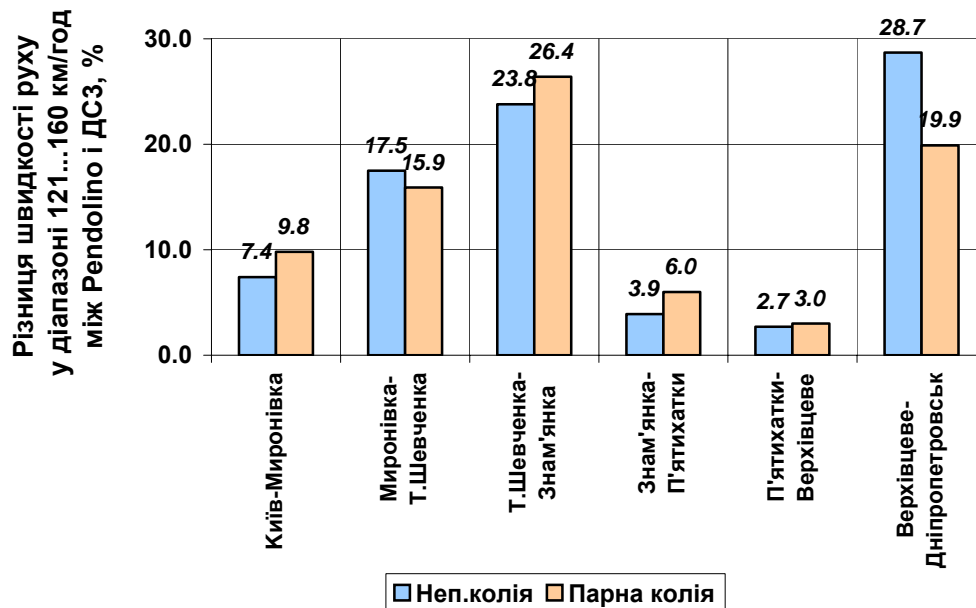


Рис. 2. Використання швидкостей руху 121...160 км/год при впровадженні Pendolino на напрямку Київ–Дніпропетровськ

З рис. 2 видно, що ефективність застосування рухомого складу з примусовим нахилом кузовів вагонів на різних ділянках неоднорівня, тому що кількість бар'єрних місць, де обмежу-

ється швидкість руху, теж різна. Бар'єрними місцями можуть бути поодинокі, складові і сполучені криві. Кількість таких ділянок колії наведена в табл. 3.

Таблиця 3

**Кількість ділянок колії (поодинокі, складові, суміжні криві), що обмежують швидкість руху поїздів**

Назва ділянки	Кількість кривих ділянок колії, що обмежують швидкість руху за показниками				
	$R, h$	$i_{\text{відв}}$	$C_{\text{прив}}, C_{\text{min}}$	$R_{\text{прив}}, R_{\text{min}}$	$\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}$
Київ–Миронівка	28	8	3	0	5
Миронівка–Т. Шевченка	54	27	34	0	0
Т. Шевченка–Знам'янка	64	23	0	5	9
Знам'янка–П'ятихатки	25	18	20	2	3
П'ятихатки–Верхівцеве	23	6	2	0	0
Верхівцеве–Дніпропетровськ	48	13	11	2	1
Всього:	242	95	70	9	18
%	55,8	21,9	16,1	2,1	4,1

Примітка:  $R$  – радіус кривої, м;  $h$  – підвищення зовнішньої рейки, мм;  $i$  – уклон відводу підвищення зовнішньої рейки;  $R_{\text{пр}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$  – зведений радіус сполучення, м;  $C_{\text{min}} = R_{\text{min}} \cdot L$  – параметр перехідної кривої, м<sup>2</sup>;  $C_{\text{пр}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$  – зведений параметр сполучення перехідних кривих, м<sup>2</sup>.

З табл. 3 випливає, що найбільш вагомими обмеженнями швидкості (55,8 %) є поодинокі криві з недостатнім радіусом чи підвищенням

зовнішньої рейки. На другому місці (21,9 %) криві ділянки колії з крутим відводом підвищення через недостатню довжину перехідних кривих.

На ділянках складного плану швидкість обмежується зведеним параметром сполучення перехідних кривих (16,1 %).

Для прикладу розглянемо складові криві на ділянці Київ–Миронівка (км 57–58) з радіусами 794, 847, 725 і 877 м, існуючим підвищенням 70 мм і перехідними кривими відповідно 70 і 60 м (рис. 3).

З використанням тягово-експлуатаційної моделі встановлено, що мінімальна допустима швидкість для ДСЗ становить 105 км/год (табл. 4) і визначається за формулою

$$V = 3,6 \sqrt{R \left( [\alpha_{\text{нп}}] + \frac{g}{S} h_p \right)}. \quad (9)$$

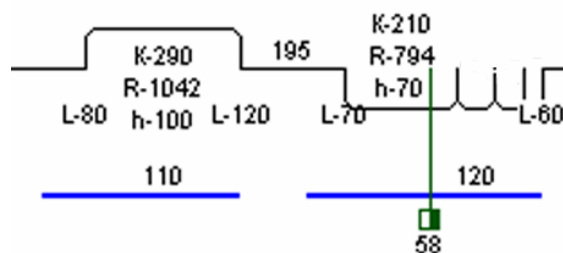


Рис. 3. Сполучені криві, що досліджуються

Таблиця 4

Допустима швидкість руху в кривих (км 57–58)

Тип елементу	Початок елементу	Довжина, м	Радіус, м	Підвищення, мм	Швидкість, км/год	Обмеження швидкості
Пряма	57 + 645	195	—	—	—	—
Перехідна	70	—	—	—	105	За формулою (9) $R = 725$ м, $h = 70$ мм, $\alpha_{\text{нп}} = 0,7$ м/с <sup>2</sup>
Кругова	57 + 840	210	794	70		
Кругова	58 + 050	70	847	70		
Кругова	58 + 120	55	725	70		
Кругова	58 + 175	35	877	70		
Перехідна	60	—	—	—	—	—
Пряма	58 + 210	2 847	—	—		

Допустима швидкість руху для Pendolino – 120 км/год, бо обмежується крутизною відводу підвищення зовнішньої рейки 1,2 ‰. Оскільки крутизна відводу визначається за формулою

$$i = \frac{h_p}{l},$$

то для підвищення швидкості можуть розглядатись варіанти збільшення підвищення зовнішньої рейки  $h_p$  (див. формулу 9) і відповідного подовження перехідної кривої  $l$ . У цьому ви-

падку зміщення осі колії по бісектрисі можна визначити за формулою

$$S_{\text{пер}} = \frac{1}{24R} (2l_{\text{суц}} + \Delta l) \Delta l, \quad (10)$$

де  $\Delta l = l_{\text{пр}} - l_{\text{існ}}$ ;  $l_{\text{пр}}$ ;  $l_{\text{існ}}$  – довжини проектної й існуючої перехідних кривих.

При  $l_{\text{існ}} = 60$  м і  $l_{\text{пр}} = 120$  м,  $S_{\text{пер}} = 0,6$  м, що потребує уширення існуючого земляного полотна. Не виконуючи подовження перехідних кривих, а тільки збільшуючи підвищення зовнішньої рейки, маємо зворотний ефект (табл. 6).

Таблиця 6

Допустимі швидкості руху при збільшенні підвищення зовнішньої рейки і подовженні перехідних кривих

Підвищення, мм	Допустима швидкість, км/год							
	ДСЗ				Pendolino			
	Мінімальна довжина перехідних кривих, м				Мінімальна довжина перехідних кривих, м			
	60	80	100	120	60	80	100	120
70	105	105	105	105	120	145	145	145
80	105	105	105	105	105	135	145	145
90	95	110	110	110	95	120	145	145
100	85	110	110	110	85	110	135	145
110	75	100	115	115	75	100	125	145
120	70	95	115	115	70	95	115	145

## Висновки

1. Організація швидкісного руху поїздів на напрямках із суміщеним вантажним і пасажирським рухом значно ускладнює утримання колії, особливо тих ділянок, що розташовані в кривих.

2. Застосування рухомого складу з примусовим нахилом кузовів вагонів і відповідної системи руху не можна розглядати без модернізації існуючих ділянок і додаткових інвестицій в інфраструктуру залізниць. Впровадження нового рухомого складу слід розглядати як додаток до загального комплексу заходів з підвищення швидкості руху поїздів.

3. Висновки щодо збільшення швидкості руху поїздів під час впровадження рухомого складу з примусовим нахилом кузовів вагонів слід робити для кожного з напрямків залізниць окремо залежно від складності плану й профілю лінії, частоти розташування роздільних пунктів та інших факторів.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Зубко А. П. Аналіз можливості застосування рухомого складу з примусовим нахилом кузова вагонів при організації швидкісного руху / А. П. Зубко, І. П. Корженевич, М. Б. Курган, Д. М. Курган // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту за-

- лізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – Вип. 4. – С. 156–164.
2. SIX CARS ELECTRIC PENDOLINO for Ukraine. Technical Description. Alstom. Savigliano. – 2003. – 18 p.
3. Курган М. Б. Організація швидкісного руху при застосуванні рухомого складу з примусовим нахилом кузова вагонів / М. Б. Курган, І. П. Корженевич, В. В. Арсонов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, – 2006. – Вип. 11. – С. 41–47.
4. Харлан В. І. Дослідження впливу параметрів траси залізниці і типу рухомого складу на рівень максимальної швидкості // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 4. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – С. 74–83.
5. Орловський А. М. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих / А. М. Орловський, О. М. Патласов, В. В. Циганенко, Л. Я. Воробейчик, В. І. Климов, М. Б. Курган: ЦП/0056: Затв. наказом Укрзалізниці від 27.04.99 № 124-Ц. – Д.: Арт-Прес, 1999. – 44 с.

Надійшла до редколегії 07.06.2006.

## НОВЫЕ СПОСОБЫ СЪЕМКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КРИВЫХ

Розглянуті недоліки існуючих методів зйомки залізничних кривих і запропоновані нові, що забезпечують більшу точність вимірювань.

Рассмотрены недостатки существующих методов съемки железнодорожных кривых и предложены новые, обеспечивающие большую точность измерений.

The article examines drawbacks of existing methods of rail curves survey and proposes new ones, providing greater accuracy of the measurements.

Состояние криволинейных участков железнодорожного пути во многом определяет допускаемые скорости и комфортность езды поездов. При возрастании скоростей проблема обеспечения геометрически правильного положения железнодорожного пути приобретает особую актуальность.

Длительное время внимание разработчиков было направлено на процессы, связанные с расчетами и рихтовкой кривых. Следует заметить, что работы по рихтовке кривых требуют достаточно больших денежных вложений. В то же время вопросы съемки кривых отодвигались на второй план. В результате зачастую большие затраты, направленные на рихтовку, оказывались бросовыми, так как съемка кривых была выполнена недостаточно точно. Как показали расчеты [1], из-за неточной съемки кривая после рихтовки может стать даже хуже, чем была до выполнения работ.

Как известно, в практике содержания пути основным методом съемки является метод стрел. Основная проблема этого метода – накопление ошибки. Эта проблема за счет более точных угловых измерений несколько уменьшается в методе Ленгипротранса (другие его названия – Гоникберга или инструментальный).

Этот метод применяется в основном в проектных организациях, да еще и с несоблюдением технологии, что также не обеспечивает точность информации о состоянии кривой.

Следует отметить, что ряд ограничений существующих методов съемки связан с методами расчетов. Методы расчетов основаны, как правило, на замене интегрирования суммированием, а это приводит к необходимости выполнять измерения на постоянном расстоянии.

### Модифицированный метод стрел

В текущем содержании пути измерения кривизны производят замером стрел прогиба с шагом 10 м. Попытка уменьшить это расстояние до 5 м приводит к уменьшению абсолютного значения стрелы в 4 раза и соответственно к увеличению относительной погрешности. Кроме того, традиционный метод стрел не имеет избыточной информации, что не позволяет отследить ошибки и уравнивать результаты измерений.

Для ликвидации указанных недостатков автором предложен модифицированный метод стрел, в котором уменьшение шага не приводит к уменьшению стрел, а также вводится избыточность измерений. Схема измерений имеет следующий вид (рис. 1).

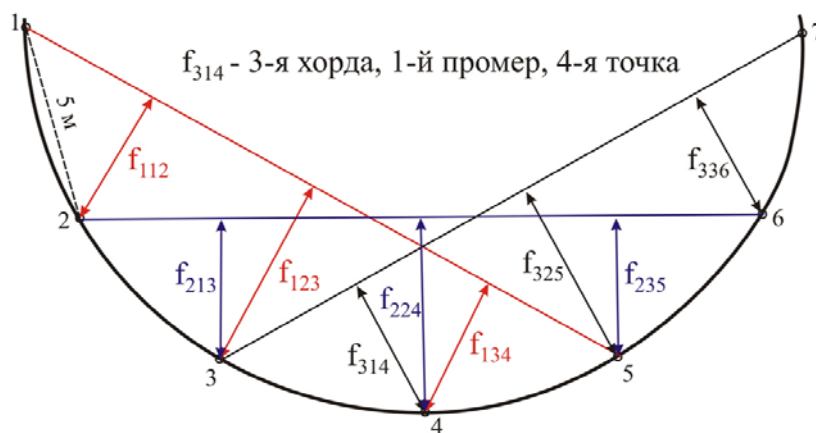


Рис. 1. Модифицированный метод стрел

Измерения выполняются следующим образом. Участок разбивается с шагом 5 м, но хорда, как и в традиционном методе стрел, натягивается на расстоянии около 20 м. После натягивания хорды измерения делаются в трех промежуточных точках. После этого хорда переносится на очередные точки через 5 м и измерения повторяются. В результате каждая точка (кроме начальных и конечных) измеряется по три раза, что позволяет повысить и оценить точность измерений.

При обработке результатов измерений вначале рассчитываются ориентировочные значения координат каждой точки, а затем вычисляется корреляционная матрица координат:

$$K_{xx} = AK_{\ell\ell}A^T, \quad (1)$$

где  $\ell$  – вектор измеренных величин;  $x$  – вектор определяемых координат;  $A$  – матрица производных  $\partial x/\partial \ell$  (координат по измеренным величинам);  $K_{\ell\ell}$  – дисперсионная матрица измеренных величин;  $A^T$  – транспонированная матрица производных.

Вектор измеренных величин в этом случае состоит из всех стрел и расстояний между точками, а вектор определяемых координат – из координат  $X$  и  $Y$  каждой точки. Возможно также уравнивание координат при известном угле поворота.

В результате уравнивания получаем уравненные координаты и ошибки определения положения снимаемых точек в виде эллипса ошибок

$$\sigma_{xy}^2 = \frac{1}{2} \left( \sigma_x^2 + \sigma_y^2 \pm \sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)^2 + 4K_{xy}^2} \right) \quad (2)$$

с углом поворота его большего диаметра относительно оси  $X$

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctg \left[ \frac{2K_{xy}}{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)} \right]. \quad (3)$$

Экспериментальные измерения показали, что при модифицированном методе ошибки определения положения отдельных точек пути могут достигать 30 и более мм. Понятно, что обычный метод стрел дает существенно большую погрешность [2].

### Полярный метод

Появление электронных тахеометров позволило существенно повысить точность и скорость геодезических измерений.

Съемку плана железнодорожного пути полярным способом с применением электронных тахеометров рекомендуется выполнять следующим образом (рис. 2).

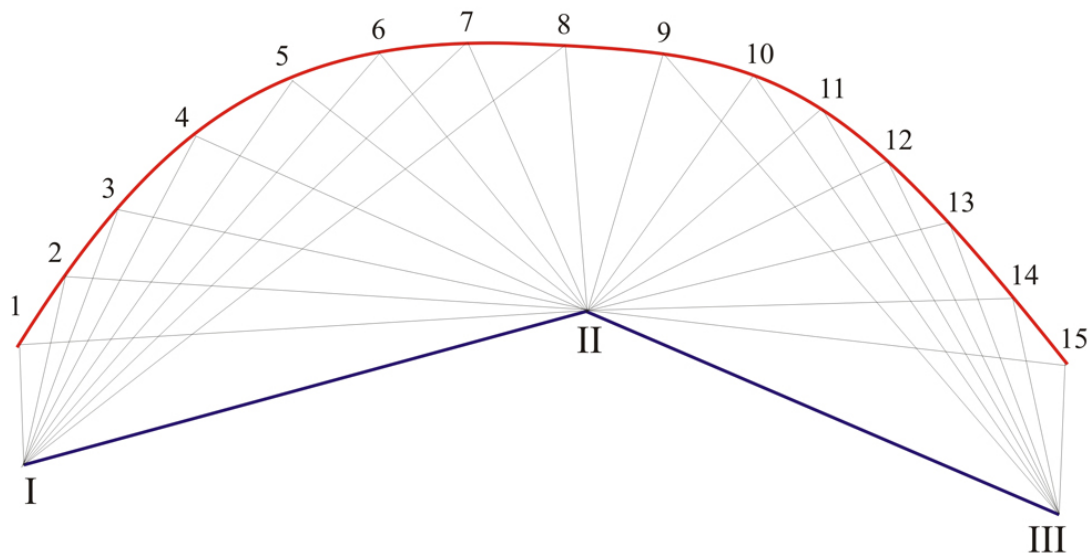


Рис. 2. Съемка плана пути полярным способом

В стороне от пути создается (или используется имеющийся) базисный теодолитный ход. Стоянки тахеометра находятся на вершинах этого хода, а координаты отдельных точек пути снимаются полярным способом от базисного

теодолитного хода. Для съемки координат по оси пути может использоваться прибор, разработанный автором совместно с Киевгипротрансом и ООО «Транспроект» (рис. 3).

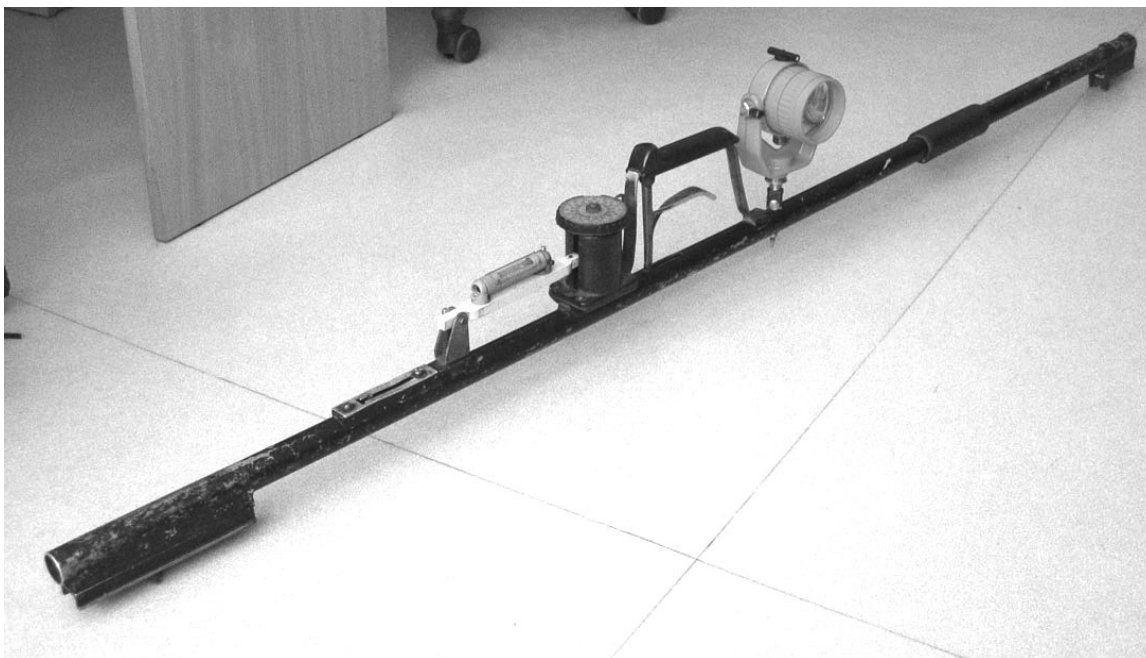


Рис. 3. Прибор для съемки плана по оси пути

Как показал анализ [3], расстояния между съемочными точками могут не измеряться и располагаться произвольно на усмотрение проектировщика. Уравнивание выполненных измерений может производиться либо в специальных компьютерных геодезических системах, либо по методике [3].

Для достижения максимальной точности целесообразно съемку вести одновременно двумя тахеометрами (естественно при их наличии) с двух стоянок.

Полярная съемка дает наиболее точную информацию о положении пути в плане и рекомендуется в первую очередь для решения задач по реконструкции плана линии, а также при

проектировании плана двух путей для обеспечения габаритного уширения.

Обработку полученных координат и расчеты параметров плана наилучшим образом можно выполнить в программе автора RWPlan 1.2.

#### Метод прямоугольных координат

При съемке коротких кривых малого радиуса (например, закрестовинных) традиционный метод стрел не позволяет получить достаточно полную информацию о состоянии плана. Выходом в данной ситуации может быть использование модифицированного метода стрел. Второй подход в таких ситуациях – метод прямоугольных координат (рис. 4).

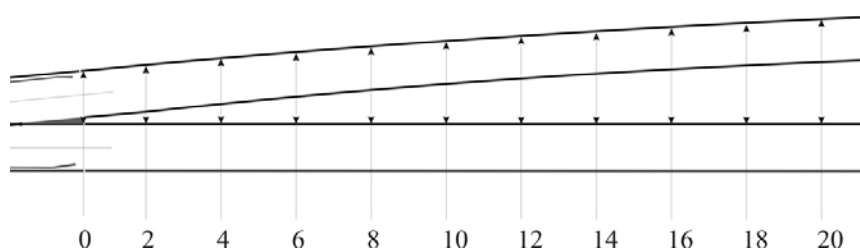


Рис. 4. Метод прямоугольных координат

Базисной линией для измерений в этом случае может быть либо какой-нибудь рельс (при его прямолинейном положении), либо растянутая вблизи пути рулетка. От базиса по перпендикуляру с шагом 2...5 метров производится измерение расстояний до точек снимаемого пути. Полученные координаты вводятся в программу RWPlan и выполняются все необходимые расчеты.

#### Перспективные методы измерений плана

Появление современных электронно-механических систем типа голографических преобразователей и гироскопов позволяет подойти к разработке принципиально новых методов съемки. На наш взгляд, наиболее эффективным может быть измерение угла поворота кривой в каждой точке. Измерение угла сегодня может выполняться с существенно большей точно-



стью по сравнению с линейными измерениями и позволяет отказаться от интегрирования кривизны для получения угла. Автором совместно с доцентами Н. А. Лошкаревым и Н. Г. Ренгачем разработан макет прибора (рис. 5), позво-

ляющего измерять угол поворота при движении вдоль пути. Промышленная реализация такого прибора позволила бы существенно повысить точность съемки плана как в дистанциях пути, так и в путерихтовочных машинах.



Рис. 5. Макет прибора для измерения угла поворота вдоль пути

### Выводы

Появление новых измерительных инструментов и методов расчета выправки кривых позволяет использовать методы съемки, обеспечивающие более высокую точность информации о положении пути в плане.

Традиционные методы съемки пути без специальных приемов (многократные измерения и уравнивание результатов) не обеспечивают требуемой точности информации. В результате очень небольшая экономия затрат на съемке оборачивается огромными бросовыми затратами при рихтовке пути.

В текущем содержании рекомендуется при съемке пути для последующих расчетов использовать либо модифицированный метод стрел, либо метод прямоугольных координат.

При съемке пути для проектных целей рекомендуется использовать полярный метод съемки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корженевич И. П. Влияние точности съемки методом стрел на результаты рихтовки. 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. Корженевич И. П. Оценка точности и оптимизация процедур съемки железнодорожных кривых / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач, Н. А. Лошкарев // Вісник Днепропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Днепропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, – 2005. – № 11. – С. 50–60.
3. Корженевич И. П. Исследование точности полярного способа съемки железнодорожных кривых / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач, Н. А. Лошкарев // Вісник Днепропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Днепропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, – 2005. – № 13. – С. 53–57.

Поступила в редколлегию 02.02.2006.

## О НЕСРАВНИМЫХ ВАРИАНТАХ В ЗАДАЧЕ ТЯГОВЫХ РАСЧЕТОВ

Розглянута методика визначення множини непорівнянних варіантів траєкторій руху.

Рассмотрена методика определения множества несравнимых вариантов траекторий движения.

A method of determination of a set of incomparable movement trajectory variants has been considered.

Используемую математическую модель движения поезда, для выполнения тяговых расчетов представляют в виде [1]

$$\frac{dv}{dt} = \xi(u - \omega_0(v) \pm i(s)),$$

где  $v$  – скорость движения поезда;  $s$  – координата пути нахождения поезда;  $\xi$  – постоянный множитель приведения единиц размерности, зависящий от выбранной системы измерений величин, входящих в (1);  $u$  – удельная сила тяги или торможения;  $\omega_0(v)$  – основное удельное сопротивление движению поезда;  $i(s)$  – уклон пути;  $t$  – время.

Если в дифференциальном уравнении движения перейти к дифференцированию по пути, то получим уравнение

$$v \frac{dv}{ds} = \xi[u - \omega_0(v) - i(s)], \quad (1)$$

которое при заданных начальной скорости  $v(0) = v_n$  и конечной скорости  $v(l) = v_k$ , где  $l$  – длина пути, определяет скорость в виде некоторой функции пути  $v(s)$ ,  $s \in [0, l]$ .

Очевидно, что данная скорость зависит от удельной силы тяги или торможения  $u$ . На значения  $u$  в общем случае накладываются ограничения, определяющие допустимые значения, которые будем записывать в виде

$$u \in U[v(s)]. \quad (2)$$

Относительно  $u$  как функцию пути считаем, что  $u(s)$  – кусочно-непрерывные функции.

Качество управления будем оценивать двумя показателями:

$$t[v(s)] = \int_0^l \frac{ds}{v(s)}; \quad (3)$$

$$A[v(s)] = \int_0^l \omega_0(v(s)) ds. \quad (4)$$

Если  $u(s)$ ,  $s \in [0, l]$  допустимое управление, а  $v(s, u(s))$  – соответствующая скорость движения, удовлетворяющая граничным условиям, тогда возникает задача – найти такое допустимое управление, чтобы

$$\left( t[v(s)], A[v(s)] \right) \rightarrow \min, \quad (5)$$

т. е. переходим к задаче векторной оптимизации [2].

Пусть  $v_{\max}(s)$  – максимально допустимая скорость по управлению и ограничениям скорости движения по пути, обеспечивающая минимальное время хода, тогда если  $v(s)$  – скорость, удовлетворяющая начальному и конечному значениям, и удовлетворяет неравенству

$$v_{\max}(s) \geq v(s), \quad s \in [0, l],$$

то всегда существует допустимое управление  $u(s)$ , которое позволяет реализовать скорость  $v(s)$ .

В работе [2] в качестве решения задачи векторной оптимизации (5) предлагается набор скоростей  $\{v(s)\}$ , определяемых следующим образом:

$$\tilde{V} = \{v(s) : v(s) = \alpha \cdot v_{\max}(s), \quad s \in [0, l]\}. \quad (6)$$

Заметим, что в данном определении множества  $\tilde{V}$  обязательно должно иметь место:

$$v(0) = 0; \quad v(l) = 0. \quad (7)$$

Чтобы избавиться от требования (7), поступим следующим образом:

- задаем  $v_0$  – скорость, такую, что

$$v_0 \leq \max_{0 \leq s < l} v_{\max}(s);$$

• строим скорость  $v_*(s|\alpha, v_0)$  следующим образом:

$$v_*(s|\alpha, v_0) = \begin{cases} v_{\max}(s), & \text{если } v_{\max}(s) < v_0; \\ v_0 + \alpha(v_{\max} - v_0), & \text{если } v_{\max}(s) \geq v_0. \end{cases}$$

В данном определении скорости параметр  $\alpha$ , как и в (6) изменяется в пределах  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Обозначим через

$$V_* = \{v_*(s|\alpha, v_0) : 0 \leq \alpha \leq 1; v_0 \in [\underline{v}, \bar{v}]\}. \quad (8)$$

Качественный характер элементов из  $V_*$  представлен на рис. 1.

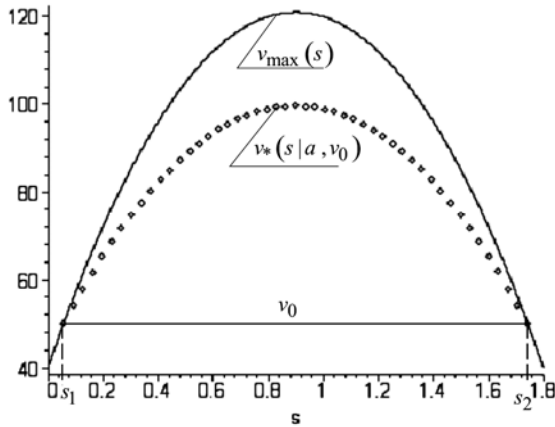


Рис. 1. Один из вариантов задания  $v_*(s|\alpha, v_0)$  при фиксированном  $\alpha$  и  $v_0$

В выражении (8) интервал  $[\underline{v}, \bar{v}]$  определяется следующим образом:

$$\bar{v} \leq \max_{0 \leq s \leq l} v_{\max}(s);$$

$$\underline{v} \geq \max\{v_n, v_k\}.$$

**Утверждение.** Элементы множества  $V_*$  представляют собой несравнимые варианты по критерию (6).

Отметим, что если  $v_*(s|\alpha_1, v_0)$  и  $v_*(s|\alpha_2, v_0)$  принадлежат  $V_*$ , тогда

$$\left( \begin{array}{l} t[v_*(s|\alpha_1, v_0)] < t[v_*(s|\alpha_2, v_0)] \\ A[v_*(s|\alpha_1, v_0)] \geq A[v_*(s|\alpha_2, v_0)] \end{array} \right)$$

если  $\alpha_1 > \alpha_2$ .

Данное утверждение вытекает как следствие **леммы**: если  $1 + y(t) > 0$ , при  $t \in [0, 1]$  и

$$\int_0^1 \frac{dt}{1 + y(t)} = 1,$$

то

$$\int_0^1 y(t) dt \geq 0.$$

**Доказательство.** Из того, что

$$\int_0^1 \frac{dt}{1 + y(t)} = 1$$

следует

$$\int_0^1 \frac{y(t) dt}{1 + y(t)} = 0,$$

таким образом,  $y(t)$  меняет знак хотя бы один раз. Пусть  $x \in [0, 1]$ , где  $y(x) = 0$ . Не ограничивая общности рассмотрения считаем, что  $y(t) \leq 0$  при  $t \in [0, x]$  и  $y(t) \geq 0$  при  $t \in [x, 1]$ , тогда

$$\begin{aligned} 0 &= \int_0^x \frac{y(t) dt}{1 + y(t)} + \int_x^1 \frac{y(t) dt}{1 + y(t)} \leq \\ &\leq \frac{1}{\max_{0 \leq t \leq x} [1 + y(t)]} \int_0^x y(t) dt + \\ &+ \frac{1}{\min_{x \leq t \leq 1} [1 + y(t)]} \int_x^1 y(t) dt \end{aligned}$$

и так как

$$\max_{0 \leq t \leq x} [1 + y(t)] = \min_{x \leq t \leq 1} [1 + y(t)] = 1$$

получаем доказательство леммы.

Так как  $\alpha_1 > \alpha_2$ , то

$$v_*(s|\alpha_1, v_0) > v_*(s|\alpha_2, v_0),$$

откуда получаем

$$\int_{s_1}^{s_2} \frac{ds}{v_*(s|\alpha_1, v_0)} < \int_{s_1}^{s_2} \frac{ds}{v_*(s|\alpha_2, v_0)},$$

что доказывает соотношение между временами хода в утверждении.

Для доказательства второго неравенства в утверждении заметим, что основное удельное сопротивление движению имеет вид

$$\omega_0(v) = Av^2 + Bv + C,$$

где  $A, B, C \geq 0$ .

Тогда, если  $v_1(s) > v_2(s)$ , то

$$\omega_0[v_1(s)] > \omega_0[v_2(s)],$$

откуда в силу (4) из данного неравенства следует и второе соотношение утверждения.

Осталось рассмотреть ситуацию, когда  $\alpha = 0$ . В этом случае

$$v_*(s|0, v_0) = v_0 \quad \text{при} \quad s_1 \leq s \leq s_2,$$

и если  $v(s)$  любая другая скорость такая, что  $v(s_1) = v(s_2) = v_0$ , а также

$$\int_{s_1}^{s_2} \frac{ds}{v(s)} = \frac{s_2 - s_1}{v_0},$$

то, положив  $v(s) = v_0 + \Delta v(s)$ , получим

$$\int_{s_1}^{s_2} \frac{ds}{1 + \frac{\Delta v(s)}{v_0}} = s_2 - s_1$$

и, поделив на  $s_2 - s_1$ , имеем

$$\int_0^1 \frac{dt}{1 + y(t)} = 1,$$

где  $y(t) = \Delta v(s)/v_0$ ,  $t = s/(s_2 - s_1)$ .

С другой стороны

$$\omega_0(v_0 + \Delta v) - \omega_0(v_0) = A(2v_0 \cdot \Delta v + \Delta v^2) + B\Delta v,$$

откуда

$$\begin{aligned} A[\omega_0(v_0 + \Delta v)] - A[\omega_0(v_0)] &= \\ &= A \left( \int_{s_1}^{s_2} 2v_0 \Delta v ds + \int_{s_1}^{s_2} \Delta v^2 ds \right) + B \int_{s_1}^{s_2} \Delta v ds, \end{aligned}$$

но в силу леммы  $\int_{s_1}^{s_2} \Delta v ds \geq 0$ , что приводит к неравенству  $A[\omega_0(v_0 + \Delta v)] > A[\omega_0(v_0)]$  и тем самым полностью доказывает утверждение.

Обозначим через  $\tilde{A}(t)$  зависимость механической работы от времени движения по элемен-

там множества  $\tilde{V}$ , а через  $A_*(t)$  для случая по элементам из множества  $V_*$ , тогда имеет место

$$\tilde{A}(t) \geq A_*(t).$$

На рис. 2 приведена численная реализация этих зависимостей на модельном примере. Заметим, что кривая  $A_*(t)$  построена при  $\alpha = 0$  и  $v_0 \in [\underline{v}, \bar{v}]$ , квадратики на рис. 2 отмечены ситуации, когда  $\alpha \neq 0$ .

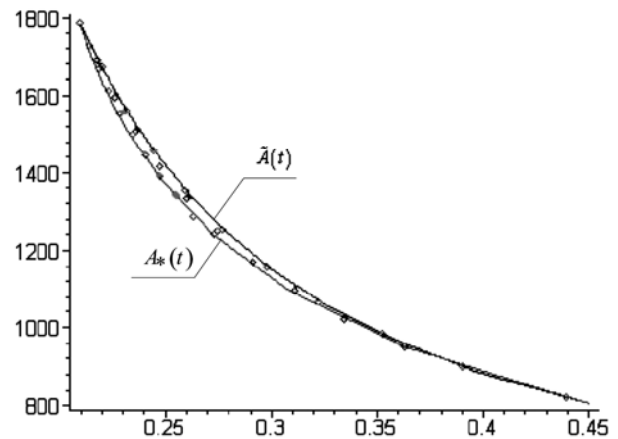


Рис. 2. Геометрическое представление зависимостей  $\tilde{A}(t)$  и  $A_*(t)$

## Выводы

1. Построено множество  $V_*$  несравнимых вариантов тяговых расчетов, которое с точки зрения механической работы лучше множества  $\tilde{V}$  из работы [2].

2. Алгоритм построения множества  $V_*$  может быть положен в основу разработки бортового советчика машинисту по ведению поезда с минимальным расходом энергии на преодоление основного удельного сопротивления движению поезда.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы. — М.: Транспорт, 1985. — 287 с.
2. Босов А. А. Научные основы решения задач проблемы обновления локомотивного парка железных дорог Украины / А. А. Босов, Г. К. Гетьман, А. И. Мосендз. — Д.: Вега, 2004. — 381 с.

Поступила в редколлегию 07.02.2006.

## РАЦИОНАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ НА СЕТИ

За допомогою методу векторної оптимізації пропонується вибір раціонального шляху доставки вантажів залізничним транспортом.

С помощью метода векторной оптимизации предлагается выбор рационального пути доставки грузов железнодорожным транспортом.

The article offers a method of selecting a rational route of freights delivery by rail by means of vectoral optimization.

Математической моделью сети является граф  $G(V, E)$ , у которого перечень вершин  $V$  соответствует пунктам сети, а перечень ребер  $E$  отражает наличие путей между пунктами.

В работе [1] данная математическая модель использовалась для распределения одного груза как без ограничения на пропускную способность сети, так и с учетом ограничения.

Все вершины  $V$  разбивались на два подмножества  $V_+$  и  $V_-$ . Вершины из множества  $V_+$  выступали в качестве источников груза, а вершины из  $V_-$  являлись потребителями грузов. Данное разбиение является естественным, когда речь идет о конкретном виде грузов. Если грузопоток измерять в вагонах или контейнерах, то каждая из вершин может выступать как источник, так и потребитель.

Другими словами, введя матрицу  $\{P_{ij}\}, i, j \in V$  и трактуя  $P_{ij}$  как поток из пункта  $i$  в пункт  $j$ , получаем возможность рассматривать задачи для нескольких грузов. Кроме матрицы  $\{P_{ij}\}$  сеть будем характеризовать длиной ребер  $L(e)$ , соответствующей расстоянию между пунктами, которые соединяют ребро  $e$ .

Пусть  $W_{ij}$  представляет собой набор простых путей из вершины  $i$  в вершину  $j$  [2], а через  $X_{ij\omega}$  обозначим поток от  $i$  в  $j$  по пути  $\omega \in W_{ij}$ , тогда должно выполняться ограничение

$$\sum_{\omega \in W_{ij}} X_{ij\omega} = P_{ij}, \quad i, j \in V. \quad (1)$$

Если обозначить через  $I_\omega(e)$  индикатор ребра  $e$  в пути  $\omega$ , то должно иметь место

$$\sum_{i, j \in V} \sum_{\omega \in W_{ij}} X_{ij\omega} I_\omega(e) \leq \bar{N}(e), \quad e \in E, \quad (2)$$

где  $\bar{N}(e)$  – пропускная способность ребра  $e$ .

В качестве показателя рациональности распределения потока принимаем

$$P_r = \sum_{i, j \in V} \sum_{\omega \in W_{ij}} X_{ij\omega} L(\omega), \quad (3)$$

где  $L(\omega)$  – длина пути  $\omega$ .

Очевидно, что если скорости движения постоянны, то показатель  $P_r$  будет характеризовать время нахождения грузов в процессе доставки. Более того, данное время может быть определено, если ввести среднюю скорость доставки  $v(\omega)$  по пути  $\omega$ . Тогда показатель  $P_r$  должен вычисляться по формуле

$$P_r = \sum_{i, j \in V} \sum_{\omega \in W_{ij}} X_{ij\omega} L(\omega) / v(\omega). \quad (4)$$

В математическом плане задача рационального распределения потоков на сети представляет собой: необходимость найти такие неотрицательные  $X_{ij\omega}$ , чтобы выполнялись ограничения (1) и (2), а показатель, вычисляемый по формуле (3) или (4), принимал бы минимальное значение.

Заметим, что сформулированная задача при заданном графе  $G(V, E)$  представляет собой задачу линейного программирования. В этой задаче важным элементом является построение простых путей  $W_{ij}$  из вершины  $i$  в вершину  $j$ , а также определение индикатора  $I_\omega(e)$ . Не останавливаясь на более подробном рассмотрении, введем еще один показатель сети  $L(E)$  – суммарную длину сети.

Необходимо найти такую подсеть исходной сети, чтобы суммарная длина была как можно меньше.

Относительно подсети считаем, что перечень вершин такой же как и у исходной сети, а множество ребер является подмножеством  $E$ .

Таким образом приходим к задаче векторной оптимизации

$$\begin{pmatrix} L(\tilde{E}) \\ P_r(\tilde{E}) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (5)$$

при условии, что  $\tilde{E} \subseteq E$ , а  $P_r(\tilde{E})$  является решением задачи типа (1)–(3) на графе  $G(V, \tilde{E})$ .

Отметим, что если имеются два графа  $G(V, E_1)$  и  $G(V, E_2)$ , то будем говорить, что граф  $G(V, E_1)$  лучше графа  $G(V, E_2)$ , если выполняются неравенства

$$\begin{pmatrix} L(E_1) \leq L(E_2) \\ P_r(E_1) \leq P_r(E_2) \end{pmatrix}, \quad (6)$$

причем имеет место хотя бы одно строгое неравенство.

Неравенства (6) определяют бинарное отношение Парето [3].

В случае, когда имеют место соотношения

$$\begin{pmatrix} L(E_1) \leq L(E_2) \\ P_r(E_1) \geq P_r(E_2) \end{pmatrix}$$

или

$$\begin{pmatrix} L(E_1) \geq L(E_2) \\ P_r(E_1) \leq P_r(E_2) \end{pmatrix},$$

то говорят, что эти графы несравнимы по Парето.

**Определение.** Под решением задачи векторной оптимизации (5) будем понимать набор графов  $G(V, E_k)$ ,  $k=1, 2, \dots$ , которые между собой несравнимы по Парето.

**Утверждение 1.** Если два графа  $G(V, E_1)$  и  $G(V, E_2)$  таковы, что  $E_1 \subset E_2$ , то они несравнимы по Парето.

**Доказательство.** Так как  $L(E)$  вычисляется по формуле

$$L(E) = \sum_{e \in E} l(e),$$

где  $l(e)$  – длина ребра  $e$ , то в силу положительности  $l(e)$  имеем

$$L(E_2) = L(E_1) + \sum_{e \in E_2 \setminus E_1} l(e),$$

откуда следует

$$L(E_1) = L(E_2). \quad (7)$$

Так как  $P_r(E)$  представляет собой минимум (3) или (4) на графе  $G(V, E)$ , то по свойству минимума имеем

$$P_r(E_1) \geq P_r(E_2),$$

что совместно с (7) доказывает утверждение 1.

**Следствие.** Пусть  $E_1 \subset E_2 \subset \dots \subset E_n$ , тогда графы  $G(V, E_k)$ ,  $k \in \overline{1, n}$  несравнимы по Парето.

**Утверждение 2.** Если граф  $G(V, E_*)$  таков, что его суммарная длина  $L(E_*)$  минимальна, и при нем задача (1)–(3) имеет решение, то множества

$$E_1 = E_*, E_2 = E_1 \cup \{e_1\}, \dots$$

$$E_k = E_{k-1} \cup \{e_{k-1}\}, \dots, E_n = E_{n-1} \cup \{e_{n-1}\} = E$$

могут служить оценкой решения задачи векторной оптимизации (5), при условии, что ребра  $e_1, e_2, \dots, e_{n-1}$  упорядочены по длине.

**Доказательство.** При построении решения задачи (5) множество  $E \setminus E_*$  представляет собой набор ребер, из которых формируется решение задачи (5).

Пусть  $\tilde{E} \subset E \setminus E_*$  – некоторое решение задачи (5). Данное множество можно представить в виде

$$\tilde{E} = E \setminus \tilde{W},$$

где  $\tilde{W} \subseteq E \setminus E_*$ .

Тогда, если  $\tilde{W} = E \setminus E_*$ , то  $\tilde{E} = E_*$ , с другой стороны, если  $\tilde{W} = \emptyset$ , то  $\tilde{E} = E$ , но  $E_*$  и  $E$  принадлежат решению задачи (5).

С другой стороны, множества

$$W_1 = \{\}, W_k = W_{k-1} \cup \{e_{k-1}\}, \dots, W_n = E \setminus E_*,$$

таковы, что  $\tilde{W}$  не может принадлежать ни одному из них, а если  $\tilde{W} \subset W_k$ , то тогда  $E_k \subset \tilde{E}$ , откуда имеем  $L(E_k) < L(\tilde{E})$ , а  $\Pr(\tilde{E}) \geq \Pr(E_k)$ .

Положив  $S = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$ , а через  $\mathfrak{A}(E)$  – набор всевозможных подмножеств множества  $E$ , элементы которого упорядочим по длине соответствующих графов, тогда в этом наборе можно указать такой номер, что начиная с него будут множества из решения (5), но очевидно, что  $S$  принадлежит последовательности множеств, начиная с отмеченного номера.

Другими словами, если  $S_*$  – набор решений задачи (5), то  $S \cap S_* \neq \emptyset$ .

Учитывая важность утверждения 2 для разработки алгоритма решения задачи (5), рассмотрим некоторые свойства множеств  $\{E_k\}$  из данного утверждения.

Пусть  $E$  – набор ребер исходного графа, а  $E_*$  – набор ребер графа минимальной длины, когда еще выполняются условия по пропускной способности, тогда множество ребер равно

$$EW = E \setminus E_*$$

представляет такой набор, что  $\forall w \subset EW$  множество  $E \setminus W$  будет допустимо по пропускной способности.

Обозначим через  $\mathcal{A}(EW)$  набор всех подмножеств множества  $EW$ , тогда, удалив из  $\mathcal{A}(EW)$  набор множеств  $\{E_k\}$ , получим некоторую систему  $S \subset \mathcal{A}(EW)$ . Очевидно, что  $\forall w \in S$ , можно указать такое множество  $E_k$  из утверждения 2, что имеет место

$$E_k \subset \tilde{E} = E \setminus W,$$

откуда следует, что

$$L(E_k) < L(\tilde{E}); \quad P_r(E_k) \geq P_r(\tilde{E}),$$

т. е. множества  $E_k$  и  $\tilde{E}$  несравнимы и множество  $\tilde{E}$  может быть включено в решение задачи (5).

С другой стороны, для соседнего множества  $E_{k+1}$  к множеству  $E_k$  будут выполнены неравенства

$$L(\tilde{E}) < L(E_{k+1}); \quad P_r(\tilde{E}) \geq P_r(E_{k+1}).$$

В силу данного утверждения можно предложить алгоритм приближенного решения задачи векторной оптимизации (5):

п1. порядочиваем множество ребер  $E$  по их длине;

п2. решаем задачу (1)–(3) на графе  $G(V, E)$ .

Если решения нет, то работу алгоритма прекращаем;

п3. формируем множество

$$E_1 = E \setminus \{e\},$$

где  $e$  – ребро максимальной длины из  $E$  и решаем задачу (1)–(3) на графе  $G(V, E_1)$ , если эта задача имеет решение, то строим

$$E_2 = E \setminus \{e\},$$

где  $e$  – ребро максимальной длины из множества  $E_1$  и так далее.

Множества  $E, E_1, E_2, E_n = E_*$  и будут теми, которые указаны в утверждении 2.

Как следует из рис. 1, значение  $P_r(\tilde{E})$  будет расположено где-то между точками  $A$  и  $B$ , т. к.

$$P_r(E_{k+1}) \leq P_r(\tilde{E}) \leq P_r(E_k).$$

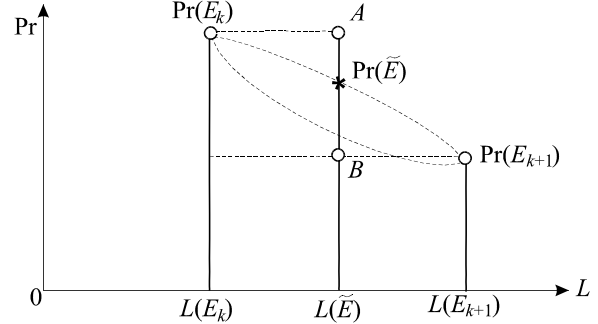


Рис. 1. Геометрическая интерпретация соотношений в пространстве функционалов для множеств  $E_k, \tilde{E}, E_{k+1}$

Если в этих неравенствах будет иметь место строгое неравенство, то тогда множества  $\{E_k\}$  в пространстве функционалов  $L$  и  $Pr$  образуют выпуклую линейную оболочку точного решения задачи (5). Для этого утверждения достаточно иметь

$$P_r(E_{k+1}) < P_r(\tilde{E}) \leq P_r(E_k). \quad (8)$$

В случае, когда

$$P_r(E_{k+1}) = P_r(\tilde{E}),$$

то необходимо множество  $E_{k+1}$  заменить на  $\tilde{E}$  и перейти к рассмотрению  $E_{k+2}$  и т. д.

Подобных сравнений для получения точного решения задачи (5) необходимо выполнить в числе

$$2^{|EW|} - |EW| - 1,$$

где  $|EW|$  – количество ребер в множестве  $EW$ .

При значительном числе  $|EW|$  затраты машинного времени могут быть существенными, так как задача (5) из класса  $NP$ -неполиномиальных задач. Поэтому установление достаточных требований для выполнения соотношения (8) является весьма актуальным при численном решении задачи (5).

Другими словами, если  $\tilde{E}$  допустимо по пропускной способности, то если добавление любого ребра из  $E \setminus \tilde{E}$  приводит к соотношению

$$P_r(\tilde{E}) > P_r(\tilde{E} \cup \{e\}),$$

где  $e \in E \setminus \tilde{E}$ , то этого уже достаточно, чтобы имело место (8).

При формулировке задачи (1)–(3) существенно использовалось множество  $W_{ij}$  – набор простых путей из вершины  $i$  в вершину  $j$ . Рассмотрим более подробно процедуру построения данного множества. На рис. 2 представлен граф  $G(V, E)$ , у которого восемь вершин и десять ребер.

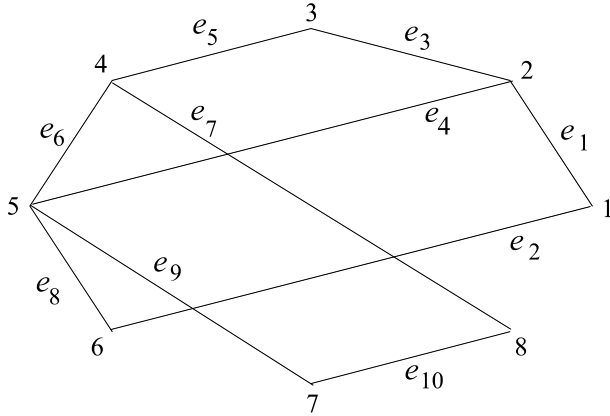


Рис. 2. Модельный граф

Длины ребер представляют собой

$$l(e_1) = 2; \quad l(e_2) = 1; \quad l(e_3) = 3; \quad l(e_4) = 6;$$

$$l(e_5) = 11; \quad l(e_6) = 1; \quad l(e_7) = 17;$$

$$l(e_8) = 31; \quad l(e_9) = 21; \quad l(e_{10}) = 15.$$

Тогда набор простых путей из вершины  $i = 1$  в вершину  $j = 2$  представляют собой:  $\omega_1 = [1, 2]$  в терминах вершин или  $\omega_1 = \{e_1\}$  в терминах ребер, а остальные пути будут следующими:

$$\omega_2 = [1, 6, 5, 2] = \{e_2, e_4, e_8\};$$

$$\omega_3 = [1, 6, 5, 4, 3, 2] = \{e_2, e_3, e_5, e_6, e_8\};$$

$$\omega_4 = [1, 6, 5, 7, 8, 4, 3, 2] =$$

$$= \{e_2, e_3, e_5, e_7, e_8, e_9, e_{10}\}.$$

Заметим, что путь в терминах ребер представляет собой множество, потому порядок их следования не совпадает с истинным путем. Так, например,  $\omega_4 = [1, 6, 5, 7, 8, 4, 3, 2]$  как список ребер представляет собой  $[e_2, e_8, e_9, e_{10}, e_7, e_5, e_3]$ ,

а как множество  $\{e_2, e_3, e_5, e_7, e_8, e_9, e_{10}\}$ , которое получается из списка упорядочением по номерам ребер.

В среде символьных вычислений данная процедура содержит следующие элементы:

Э1. Определение набора вершин, в которые можно попасть за один шаг > for I from 1 to N-1 do: for j from i+1 to N do: z1:=i: z2:=j: W:=[]: KW:=[]: WW:=[]: W=[op(W), [z1]]: while W<>[] do for Z in W do WW:=[]: WW=[op(WW), op(Z)]: s3:=[]: for z in W do if z<>WW then s3=[op(s3), z] end if: end do: W:=s3: for z in WW do end do: MW1:=neighbors(z, G): W1:=[]: for z in MW1 do W1=[op(W1), z]: end do: определяем в какие вершины можем попасть.

Э2. Пополнение множества следующей вершиной и формирование нового варианта пути for zk in W1 do if zk=zk2 then kw:=[]: kw=[op(WW), zk]: KW=[op(KW), kw] пополняем конечное множество путей else X:=[] Y=[op(X), zk]: MX:={}: for z in X do MX=MX union {z} end do: Y=[op(Y), op(WW)]: MY:={}: for z in Y do MY=MY union {op(z)} end do: if not: (MX intersect MY)+MX then W:[op(W), [op(WW), zk]] добавляем новый вариант пути end if: end if: end do: end do: end do: print ('Множество простых путей из вершины, z1, ', в вершину ', z2, ', KW)

Э3. Отображение множества простых путей в терминах ребер KE:=[]: Отображаем множество простых путей через названия ребер for q in KW do Ke:=[]: kol:=0: for qq in q do kol:=kol+1: end do: ke:=[]: for k from 1 to kol-1 do ke:=edges({op(k, q), op(k+1, q)}, G): Ke=[op(Ke), op(ke)]: end do: L:=0: Kee:=convert(Ke, set): for e in Kee do: print ('Множество простых путей в ребрах', KE): end do: end do:

В результате работы данной процедуры получаем множество простых путей из вершины 1 в вершину 2  $[[1, 2], [1, 6, 5, 2], [1, 6, 5, 4, 3, 2], [1, 6, 5, 7, 8, 4, 3, 2]]$

$$\{e_1\}, 2$$

$$\{e_2, e_4, e_8\}, 38$$

$$\{e_2, e_3, e_5, e_6, e_8\}, 47$$

$$\{e_2, e_3, e_5, e_7, e_8, e_9, e_{10}\}, 99.$$

после каждого пути в терминах ребер представлены и длины этих путей.



Таким образом, решение задачи (5) может быть оценено по изложенному алгоритму и представляется возможность решить задачу выбора графа, а соответственно и транспортной сети для грузовых перевозок, в частности, и контейнеров.

Пусть этому графу соответствует набор ребер  $E$ . Рассмотрим задачу выбора рациональных простых путей доставки из пункта  $i$  в пункт  $j$  объема перевозок  $Q_{ij}$  того или иного заказчика по данной сети. Если  $W_{ij}$  набор путей из  $i$  в  $j$  то каждому пути  $\omega \in W_{ij}$  сопоставим два показателя: время доставки ( $t(\omega)$ ) и затраты на доставку по данному пути  $Z(\omega)$ .

Приходим к задаче векторной оптимизации

$$\begin{pmatrix} t(\omega) \\ Z(\omega) \end{pmatrix} \rightarrow \min$$

при условии  $\omega \in W_{ij}$ .

В данной задаче вычисление времени доставки  $t(\omega)$  и затрат средств  $Z(\omega)$  требует более подробного рассмотрения, так как решение этой задачи представляет возможность сформулировать критерий отношений между заказчиком и железной дорогой, осуществляющей доставку грузов.

Для каждого пути  $\omega \in W_{ij}$  процесс доставки разобьем на  $\Pi(\omega)$  подпроцессов или фаз, которые условно будем обозначать через  $\Phi_k^{(\omega)}, k = \overline{1, n(\omega)}$ . В каждой фазе укажем набор технологических операций  $\Xi_k$ , а через  $\Theta_{kv}$  будем обозначать элементарную технологическую операцию в фазе  $\Phi_k(\omega)$ , тогда при условии независимости фаз набор

$$\gamma = [\Theta_{1v_1}, \Theta_{2v_2}, \dots, \Theta_{\Pi(\omega)v_{\Pi(\omega)}}]$$

можно рассматривать как одну из возможных технологий доставки, которой можно сопоставить время и затраты по формулам:

$$t(\omega) = \sum_{\Theta_{kv_k} \in \gamma} t(\Theta_{kv_k});$$

$$z(\omega) = \sum_{\Theta_{kv_k} \in \gamma} z(\Theta_{kv_k}),$$

где  $t(\Theta_{kv_k})$  – затраты времени в  $k$ -й фазе, если будет выполняться операция  $\Theta_{kv_k}$ ;  $z(\Theta_{kv_k})$  – затраты средств на операцию  $\Theta_{kv_k}$ .

Пусть  $\Gamma(\omega)$  – набор всевозможных технологий доставки по пути  $\omega$ , тогда задача векторной оптимизации

$$\begin{pmatrix} t(\gamma) \\ z(\gamma) \end{pmatrix} \rightarrow \min$$

при условии  $\gamma \in \Gamma(\omega)$ , позволяет построить зависимость  $z(t, \omega)$ , качественный характер которой представлен на рис. 3.

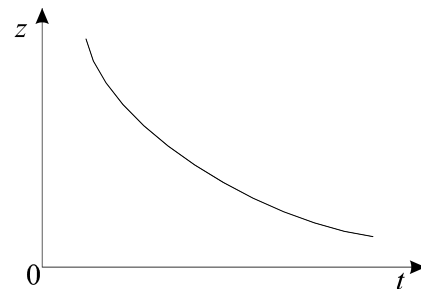


Рис. 3. Качественный характер зависимости  $z(t, \omega)$

Теперь решив подобную задачу для всех  $\omega$  из  $W_{ij}$ , получаем возможность построить семейство кривых  $z(t, \omega)$  (рис. 4).

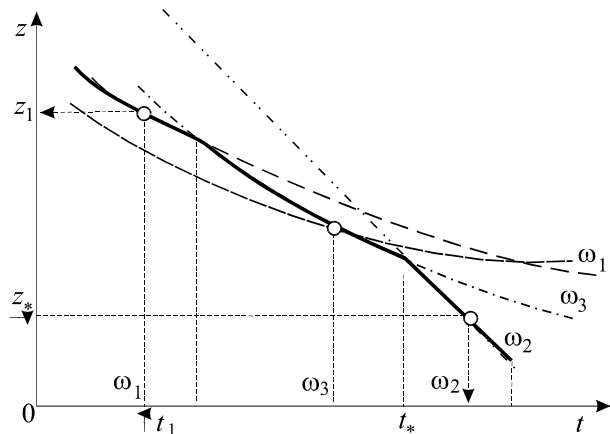


Рис. 4. Качественный характер зависимостей  $z(t, \omega)$  для трех путей  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$

Сплошная линия представляет зависимость

$$Z_*^{(t)} = \min_{\omega \in W_{ij}} z(t, \omega),$$

которая позволяет строить отношения между заказчиком и перевозчиком.

Так, например, если заказчик желает, чтобы его груз был доставлен за время  $t_1$ , то это можно сделать по пути  $\omega_1$  и стоить это будет  $z_1$ .

В случае, когда заказчик обладает средствами  $z_*$ , его груз будет доставляться по пути  $\omega_2$

за время  $t_*$ . Данный подход обобщает работы [5; 6], в которых рассматривалась задача только для заданного пути доставки. Изложенное можно рассматривать как один из вариантов теории построения тарифов по доставке грузов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов И. В. Математические методы в планировании на железнодорожном транспорте. / И. В. Белов, А. Б. Каплан. – М.: Транспорт, 1972. – 248 с.
2. Д. Андерсон. Дискретная математика и кибернетика. – М.; С Пб. – К.: Вильямс, 2004. – 960 с.
3. Макаров И. М. Теория выбора и принятия решений. / И. М. Макаров, Т. М. Виноградская, А. А. Рубчинскийи др. – М.: Наука, 1982. – 327 с.
4. Прохоров Г. В. Пакет символьных вычислений Maple V. / Г. В. Прохоров, М. А. Леденев, В. В. Колбеев. – М.: Петит, 1997. – 200 с.
5. Босов А. А. Формирование вариантов рациональной сети линий высокоскоростного движения поездов в Украине / А. А. Босов, Г. Н. Кирпа. – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2004. – 144 с.
6. Босов А. А. Стимулирование железных дорог на выполнение сроков доставки. / А. А. Босов, И. Е. Левицкий, Н. Л. Цегельник // Залізничний транспорт України. – К., С. 17–20.

Поступила в редколлегию 22.06.2006.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЕЗДОВ

Запропоновано економіко-математичну модель плану формування поїздів у вигляді задачі цілочислового лінійного програмування.

Предлагается экономико-математическая модель плана формирования поездов в виде задачи целочисленного линейного программирования.

The article offers an economic & mathematical model of trains formation plan in the shape of a linear programming problem.

Рациональная организация вагонопотоков – одна из важнейших задач совершенствования эксплуатационной деятельности железных дорог. Задача эта является многовариантной, ее решение требует применения вычислительной техники. Решению этой задачи посвящены работы Бернгарда К. А., Попсуева А. В., Стопичева С. Г. и Родыка В. В., Кочнева Ф. П. и Сотникова И. Б., Бурдюк Т. А. и др. Существующие методы расчета плана формирования поездов, как правило, используют принцип сопоставления приведенных вагоно-часов накопления и переработки.

В условиях рыночной экономики в основу расчета плана формирования поездов целесообразно положить принцип стоимостных сопоставлений, т. к. с экономической точки зрения следует так организовать вагонопотоки, чтобы обеспечить не только рациональное использование транспортных средств, но и по возможности сократить стоимость доставки грузов, находящихся в процессе перевозки. Имеет смысл учитывать расходы, связанные с переработкой вагона (переменные, которые зависят от объема работы и постоянные, не зависящие от объема работы) и расходы, связанные с пропуском вагона через станцию без переработки. При этом выгодность выделения вагонопотоков в самостоятельное назначение можно определить путем сравнения затрат на накопление и переработку с учетом ценности грузов и вагонов в каждой струе. Такой подход предлагается в работе А. В. Попсуева и А. Г. Тиличенко с последующим построением линейной оптимизационной модели. Однако модель для решения этой задачи должна учитывать ее дискретный характер.

Задачу поставим следующим образом: задана схема назначений струй вагонопотоков прямолинейного назначения в двух встречных направлениях, содержащая  $n$  станций, для каждой струи известны ее мощность и затраты, связанные с вагоно-часами накопления; известна также оценка экономии, приходящейся на один вагон при проследовании определенной

станции без переработки. Кроме того, известно число путей на каждой станции, которые можно использовать под накопление вагонов и перерабатывающая способность каждой станции. Необходимо определить какие из струй целесообразно выделить в самостоятельное назначение, а какие нужно пропустить с переработкой и на каких станциях переработать, чтобы все вагоны прибыли в соответствии с назначением и при этом суммарные затраты на накопление и переработку вагонов были бы минимальными.

Математическая модель плана формирования поездов прямолинейного направления при этом может быть записана таким образом:

$$\sum_{p=1}^{n-2} \left( \sum_{q=p+2}^n \left[ C_{pq} x_{pq} + R_{pq} \sum_{w=p+1}^{q-1} d_{pqw} x_{pqw} \right] \right) + \sum_{p=3}^n \left( \sum_{q=1}^{p-2} \left[ C_{pq} y_{pq} + R_{pq} \sum_{w=q+1}^{p-1} d_{pqw} y_{pqw} \right] \right) \rightarrow \min. \quad (1)$$

$$\sum_{w \in J_{pqmk}} x_{pqw} + \sum_{\substack{u=p \\ u \notin J_{pqmk}}}^{j_{pqm1}-1} \left( \sum_{\substack{v=j_{pqm1}+1 \\ v \notin J_{pqmk}}}^q x_{uv} \right) \geq 1, \quad (2)$$

где  $p = \overline{1, (n-2)}$ ;  $q = \overline{(p+2), n}$ ;  $J_{pqmk} = \{j_{pqm1}, j_{pqm2}, \dots, j_{pqmk}\} - m\text{-е } k\text{-подмножество (сочетание) из множества } \{p+1, p+2, \dots, q-2, q-1\}$ ;  $j_{pqmi+1} > j_{pqmi}$ ,

$$i = \overline{1, (k-1)}; \quad m = \overline{1, C_{q-p-1}^k}; \quad k = \overline{1, (q-p-1)}.$$

$$\sum_{w \in J_{pqmk}} y_{pqw} + \sum_{\substack{v=q \\ v \notin J_{pqmk}}}^{j_{pqmk}-1} \left( \sum_{\substack{u=j_{pqmk}+1 \\ u \notin J_{pqmk}}}^p y_{uv} \right) \geq 1, \quad (3)$$

где  $q = \overline{1, (n-2)}$ ;  $p = \overline{(q+2), n}$ ;  $J_{pqmk} = \{j_{pqm1}, j_{pqm2}, \dots, j_{pqmk}\} - m\text{-е } k \text{ о подмножество (сочетание) из множества } \{q+1, q+2, \dots, p-2, p-1\}$ ;  $j_{pqmi} > j_{pqmi+1}$ ,

$$i = \overline{1, (k-1)}; m = \overline{1, C_{q-p-1}^k}; k = \overline{1, (q-p-1)}.$$

$$\sum_{q=p+2}^n x_{pq} + \sum_{q=1}^{p-2} y_{pq} \leq a_p, \quad p = \overline{1, (n-2)}; \quad (4)$$

$$\sum_{p=1}^{n-2} \sum_{q=p+2}^n R_{pq} x_{pql} + R_l + \sum_{q=1}^{n-2} \sum_{p=q+2}^n R_{pq} y_{pql} + R'_l \leq r_l, \quad (5)$$

$$l = \overline{2, (n-1)};$$

$$x_{pqw} = \begin{cases} 1, \text{ вагоны струи } (pq), \\ \text{перерабатываются на станции } w, \\ 0, \text{ переработка струи } (pq), \\ \text{на станции } w \text{ отсутствует;} \end{cases} \quad (6)$$

$$p = \overline{1, (n-2)}; q = \overline{(p+2), n}, \quad w = \overline{(p+1), (q-1)};$$

$$x_{pq} = \begin{cases} 1, \text{ струя } (pq) \text{ выделяется,} \\ \text{в самостоятельное назначение,} \\ 0, \text{ струя } (pq) \text{ не выделяется,} \\ \text{в самостоятельное назначение;} \end{cases} \quad (7)$$

$$p = \overline{1, (n-2)}, \quad q = \overline{(p+2), n};$$

$$y_{pqw} = \begin{cases} 1, \text{ вагоны струи } (pq), \\ \text{перерабатываются на станции } w, \\ 0, \text{ переработка струи } (pq), \\ \text{на станции } w \text{ отсутствует;} \end{cases} \quad (8)$$

$$p = \overline{3, n}, \quad q = \overline{1, (p-2)}, \quad w = \overline{(q+1), (p-1)};$$

$$y_{pq} = \begin{cases} 1, \text{ струя } (pq) \text{ выделяется,} \\ \text{в самостоятельное назначение,} \\ 0, \text{ струя } (pq) \text{ не выделяется,} \\ \text{в самостоятельное назначение;} \end{cases} \quad (9)$$

$$p = \overline{1, (n-2)}; q = \overline{(p+2), n};$$

$n$  – число станций, участвующих в расчете плана формирования поездов;  $(pq)$  – струя со

станции зарождения  $p$  и станции назначения  $q$ ;  $C_{pq}$  – затраты на вагоно-часы накопления для струи  $(pq)$ ;  $d_{pqw}$  – оценка экономии времени, приходящейся на один вагон, проследовавший станцию  $w$  со струей  $(pq)$  без переработки;  $R_{pq}$  – мощность струи  $(pq)$  вагонопотока;  $a_p$  – число путей на станции  $p$ , которые можно использовать для накопления;  $R_l, R'_l$  – величины участковых вагонопотоков со станции  $l$  в прямом и обратном направлениях;  $r_l$  – перерабатывающая способность станции  $l$ .

Блок основных ограничений (2) предназначен для обеспечения возможности доставки каждого вагона, следующего в прямом направлении (станция 1 – станция  $n$ ), от пункта отправления до пункта назначения.

Блок основных ограничений (3) предназначен для обеспечения возможности доставки каждого вагона, следующего в обратном направлении (станция  $n$  – станция 1), от пункта отправления до пункта назначения.

Блок дополнительных ограничений (4) позволяет учесть количество путей, которые можно использовать под накопление.

Блок дополнительных ограничений (5) позволяет учесть перерабатывающую способность станций.

В общем виде поставленную задачу можно записать следующим образом:

$$\sum_{j=1}^{2M} \gamma_j z_j \rightarrow \min, \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^{2M} b_{ij} z_j \geq 1, \quad i = \overline{1, 2N}, \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^{2M} f_{kj} z_j \leq a_k, \quad k = \overline{1, n}, \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^{2M} h_{lj} z_j \leq r_l, \quad l = \overline{2, n-2}, \quad (13)$$

$$z_j = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases} \quad j = \overline{1, 2M}. \quad (14)$$

$$z_j \sim x_{pq}, \quad j = \overline{1, M},$$

$$p = \overline{1, n-2} \quad q = \overline{3, n}$$

$$z_j \sim y_{pq} \quad j = \overline{M+1, 2M},$$

$$p = \overline{3, n}, \quad q = \overline{1, n-2}$$

где  $M$  – число переменных.

Таким образом, модель сведена к задаче целочисленного линейного программирования с переменными, которые могут принимать только два значения 0 или 1.

Расчет компонентов вектора коэффициентов целевой функции и элементов системы ограничений представляет собой весьма сложную и громоздкую задачу. Предлагается алгоритм для ее решения.

#### Алгоритм построения матрицы основных ограничений

Пусть число переменных для схемы вагонопотоков одного направления (ограничение (2))

$$M = [(n-1)(n-2)(n+3)]/6,$$

число строк в блоке ограничений (2)

$$N = \sum_{m=0}^{n-3} \sum_{s=1}^{m+1} (2^s - 1),$$

где  $n$  – число станций.

$$b_{ij} = 0, \quad i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, M}.$$

**Шаг 1.**  $i = 1$   $b_{i1} = 1$ ,  $b_{i2} = 1$ ,

$$b_{N+1, M+1} = 1, \quad b_{N+2, M+21} = 1.$$

**Шаг 2.**  $p = n - 3$   $q = p + 2$

**Шаг 3.**

$$\lambda_1 = \frac{(n-p-1)(n-p-2)(n-p+3)}{6}.$$

**Шаг 4.**

$$\lambda = \lambda_1 + \frac{(q-p+1)(q-p-2)}{2} + 1,$$

$$nc = q - p - 1, \quad i = i + 1, \quad b_{i, \lambda+v} = 1, \quad b_{i+N, \lambda+v+M} = 1,$$

для всех  $v = \overline{0, nc}$ ,  $k = 1$ . Если  $k = nc$ , то перейти к шагу 20. Если  $k \neq nc$ , то перейти к шагу 5.

**Шаг 5.**  $r_e = e$  для всех  $e = \overline{1, k}$ ,  $t = k$ .

**Шаг 6.**  $i = i + 1$ ,  $b_{i\lambda} = 1$ ,  $b_{N+i, M+\lambda} = 1$ ,

$$S_e = p + r_e \text{ для всех } e = \overline{1, k}.$$

**Шаг 7.**  $j = \lambda + r_e$ ,  $b_{ij} = 1$ ,  $b_{N+i, M+j} = 1$ , для всех  $e = \overline{1, k}$ .

**Шаг 8.**  $p_1 = p$ .

**Шаг 9.**  $k_1 = k$ .

**Шаг 10.** Если  $p_1 = p$ , то  $q_1 = q - 1$ . Если  $p_1 \neq p$ , то  $q_1 = q$ .

**Шаг 11.** Если  $q_1 > S_{k_1}$ , то

$$j = 1 + \frac{(n-p_1-1)(n-p_1-2)(n-p_1+3)}{6} + \frac{(q_1-p_1+1)(q_1-p_1-2)}{2},$$

$b_{ij} = 1$ ,  $b_{N+i, M+j} = 1$ . Перейти к шагу 12. Если  $q_1 \leq S_{k_1}$ , то  $q_1 = S_{k_1} - 1$ ,  $k_1 = k_1 - 1$ . Перейти к шагу 13.

**Шаг 12.**  $q_1 = q_1 - 1$ . Перейти к шагу 11.

**Шаг 13.** Если  $k_1 \geq 1$ , то перейти к шагу 11. Если  $k_1 < 1$ , то  $p_1 = p_1 + 1$  и перейти к шагу 14.

**Шаг 14.** Если  $p_1 < S_1$ , то перейти к шагу 9, если  $p_1 = S_1$ , то перейти к шагу 15.

**Шаг 15.** Если  $r_t < nc$ , то  $r_t = r_t + 1$  и перейти к шагу 6. Если  $r_t = nc$ , то перейти к шагу 16.

**Шаг 16.**  $t = t - 1$ . Если  $t = 0$ , то  $k = k + 1$  и перейти к шагу 19. Если  $t > 0$ , то  $r_t = r_t + 1$  и перейти к шагу 17.

**Шаг 17.** Если  $r_t = nc$ , то перейти к шагу 16. Если  $r_t < nc$ , то  $t = t + 1$ ,  $r_t = r_{t-1} + 1$  и перейти к шагу 18.

**Шаг 18.** Если  $t < k$ , то перейти к шагу 17. Если  $t = k$ , то перейти к шагу 6.

**Шаг 19.** Если  $k < nc$ , то перейти к шагу 5. Если  $k \geq nc$ , то перейти к шагу 20.

**Шаг 20.**  $q = q + 1$ . Если  $q \leq nc$ , то перейти к шагу 4. Если  $q > nc$ , то  $p = p - 1$ .

**Шаг 21.** Если  $p \geq 1$ , то  $q = p + 2$  и перейти к шагу 3. Если  $p = 0$ , то система ограничений построена.

#### Алгоритм построения коэффициентов функции цели и матрицы дополнительных ограничений

**Шаг 1.**

$$M = \frac{(n-1)(n-2)(n+3)}{6}$$

$$p = 0, \quad \gamma_j = 0, \quad j = \overline{1, 2M}$$

**Шаг 2.**  $p = p + 1$ ,

$$\lambda_1 = \frac{(n-p-1)(n-p-2)(n-p+3)}{6}.$$

Если  $p > n - 2$ , то перейти к шагу 11. Если  $p \leq n - 2$ , то перейти к шагу 3.

**Шаг 3.**  $q = p + 2$ ,  $l = q - p$ .

**Шаг 4.**  $w = p$

**Шаг 5.**□

$$\lambda = \lambda_1 + \frac{(l+1)(l-2)}{2} + (w-p) + 1.$$

**Шаг 6.**□ Если  $w = p$ , то,

$$\gamma_\lambda = C_{pq} \quad \gamma_{\lambda+M} = C_{n-p+1, n-q+1},$$

$$f_{p\lambda} = 1, \quad f_{n-p+1, \lambda+M} = 1$$

и перейти к шагу 7. Если  $w \neq p$ , то

$$\gamma_\lambda = R_{pq} d_{pqw},$$

$$\gamma_{\lambda+M} = R_{n-p+1, n-q+1} \cdot d_{n-p+1, n-q+1, n-w+1},$$

$$h_{w\lambda} = R_{pq}, \quad h_{n-w+1, \lambda+M} = R_{n-p+1, n-q+1}.$$

и перейти к шагу 7.

**Шаг 7.**□  $w = w + 1$ .

**Шаг 8.**□ Если  $w \leq q - 1$ , то перейти к шагу 5.

Если  $w > q - 1$ , то перейти к шагу 9.

**Шаг 9.**□  $q = q + 1$ .

**Шаг 10.**□ Если  $q \leq n$ , то перейти к шагу 4.

Если  $q > n$ , то перейти к шагу 2.

**Шаг 11.**□ Вектор коэффициентов функции цели и матрицы дополнительных ограничений построены.

Если количество путей станции, выделенных под накопление, и часть перерабатывающей способности определено для каждого направления

движения, то модель распадается на две идентичные модели, при этом каждая из них соответствует оптимизации плана формирования поездов, которые следуют в одном направлении.

Предложенный алгоритм позволяет рассчитать все элементы построенной модели для дальнейшего использования существующих универсальных методов оптимизации задач целочисленного линейного программирования с переменными, которые могут принимать только два значения 0 или 1, или специальных методов, использующих специфику задачи.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попсуев А. В., Совершенствование организации вагонопотоков / А. В. Попсуев, А. Г. Тиличенко // Вопросы эксплуатации железных дорог: Труды ХабИИЖТа, – 1965. – Вып. 22. – М.: Транспорт.
2. Попсуев А. В. Модернизация алгоритма Балаша для решения задачи плана формирования поездов / А. В. Попсуев, И. Н. Кукушкина // Цифровые вычислительные машины и системы и их применение на железнодорожном транспорте: Межвузовский сборник, – 1979. – Вып. 642. – М.
3. Бурдюк Т. А. Математическое моделирование задачи расчета плана формирования поездов с максимальной экономией вагоно-часов // Транспорт: Сб. научн. тр., – 2001. – Вып. 8. – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна.

Поступила в редколлегию 28.12.2005.

RADISAV VUKADINOVIĆ, ZORAN ČEKEREVAC  
(Railway College, Serbia and Montenegro)

## DEFINING AND ASSESSING THE LEVEL OF RAILWAY TRAFFIC SECURITY

Визначено і показано модель інтерпретації надзвичайних ситуацій як фактора безпеки залізничного руху на прикладі сербських залізниць. Стаття може бути корисна усім, хто цікавиться проблемами безпеки залізничного транспорту.

Определена и показанат модель интерпретации чрезвычайных происшествий как фактора безопасности железнодорожного движения на примере сербских железных дорог. Статья может быть полезна всем тем, кто сталкивается с проблемами безопасности железнодорожного транспорта.

The paper defines and shows a model of interpreting casualty occurrence as a factor of operational safety and risk of the rail traffic. A special emphasis is put on assessing the level of rail traffic safety on the example of the Serbian Railways. The paper may be useful for all those who deal with the tasks of rail traffic safety.

### Introduction to the problem

Every kind of traffic is connected with the occurrence of risk which can have grave consequences for the security of people and material resources. The risk increases with the increase of speed at which the traffic operates. Outdated technical means, inadequate organization (regulation and control) of traffic, incomplete knowledge and application of legal and traffic-technical regulations also contribute to the increase of risk.

The safety of railway traffic is further endangered by a number of different emergencies, which are considered to be occurrences that cause at least one of the following consequences: death, serious injury or risk to life, material damage to vehicles, railway lines or goods, as well as interruption of train operation.

### The model of defining security of and risk of and risk to traffic in a railway system

The safety of railway traffic is first of all conditioned by reliable and safe train running and performing a variety of traffic-technical operations in which a great number of both different technical means (vehicles, railway lines, signaling and telecommunication means, etc.) and railway staff participate. All these factors are mutually linked in the process of transportation.

Every human error or failure of a device (due to its malfunction, faulty operation or improper use) may break that chain process and cause an emergency ( $v$ ) which endangers safety ( $B$ ) due to a risk ( $U$ ) to traffic in a railway system ( $S_{zs}$ ), which can be presented by the model shown in fig. 1 and 2.

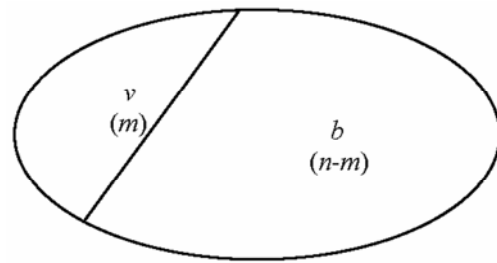


Fig. 1. A set of different occurrences in a railway system

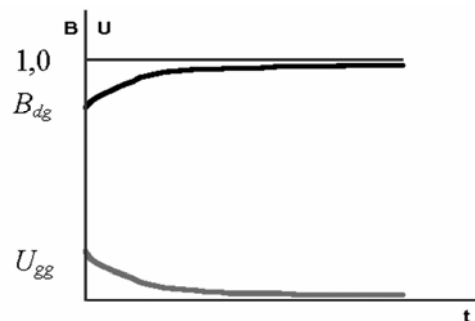


Fig. 2. The interrelation between safety ( $B_{dg}$  – the lower limit of the lowest allowed level) and risk ( $U_{gg}$  – the upper allowed level of risk) to traffic in which:

$v$  is a subset of emergencies, i. e. unsafe state of individual elements of  $S_{zs}$ , with corresponding  $m$ -cases of unsafe operation  
 $b$  is a sub-group of safe state occurrences of individual elements of  $S_{zs}$ , with corresponding  $(n - m)$  cases of safe state,  $n$  being a total number of occurrences (states) in  $S_{zs}$

The probability of risk to security is

$$U = P(v) = \frac{m}{n}$$

while the probability of security is

$$P(b) = B = \frac{n-m}{n} = 1 - \frac{m}{n} = 1 - U.$$

As  $B + U = 1$ , i. e.

$$B = \lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ m \rightarrow 0}} \frac{n-m}{n} \rightarrow 1,$$

It is obvious that the security of traffic is endangered, which leads to the theoretical assumption that security increases with the decrease of risk, and vice versa (fig. 2).

### Causes of risk to railway traffic safety

As for the emergencies which endanger the safety of railway traffic system, we can say that those are occurrences which have a mutual cause-and-consequence interrelation. It means that the occurrence of an emergency is conditioned by the existence of a certain cause ( $U_z$ ) leading to certain consequences ( $P_o$ ) in certain space and time, which can be shown by the following functional interdependence:

$$P_o = f(U_z)$$

in which the cause is the independent variable, and the consequence is the dependent variable.

The causes are certain states of insecurity (risk) within the elements of railway system or its surroundings, which at certain points in space and time represent the reason causing the occurrence of an emergency.

According to their major characteristics, the causes of emergencies can be shown in the form of a set of four basic groups of causes

$$U_z = \{U_{\bar{c}}, U_t, U_p, U_o\}.$$

$U_{\bar{c}}$  – represents a subset of causes referring to the human factor (the so-called «man» factor) which originate from the personal mistakes of workers performing their tasks irregularly and badly within their work, i. e. the working process in railway traffic.

$U_t$  – represents a subset of all technical causes which originate from the condition of railway technical means (tracks, cars, locomotives, signaling, etc.) due to their different technical defects, faults and malfunctions, which belongs to the group of so-called technical factors.

$U_p$  – represents a subset of causes which originate from the transportation items due to the insecure condition of cargo in cars, or the dangerous actions of passengers aboard.

$U_o$  – represents a subset of causes which originate from various harmful influences and effects of surroundings on the elements and components of railway system, such as the so-called natural causes (earthquakes, floods, landslides, extremely high and low temperatures, etc.).

The consequences are harmful changes of condition which occur in certain elements of railway system, caused by the effect of certain factors accompanying emergencies.

According to their character and degree of severity, consequences of emergencies are divided into the following five basic types:

1. Deaths (of passengers, railway workers, and other people) are the consequences with the highest degree of severity.
2. Serious injuries.
3. Slight injuries.
4. Major breakdowns of traffic (disruption of train movements, etc.) expressed by the duration of disruption measured in hours.
5. Material damage (extensive or slight) done to the track, vehicles, goods and other railway installations.

All elements or components of railway traffic system influencing the state of its safety can be called the factors of railway traffic safety.

The basic factors of railway traffic safety are technical means with their technical and functional possibilities (technical factor), and workers who participate directly in railway traffic operation (human factor). The other factors referring to the effects of surroundings and transportation items may also have an important influence on railway traffic safety.

### Assessing the level of railway traffic security

The traffic is endangered if there are risks to its functioning, if people's lives are in danger, and if there is damage to goods and railway technical means, which leads to the occurrence of an emergency.

The assessment of railway traffic safety level may be expressed by a certain set of safety parameters in railway exploitation; however, we are going to mention only some of them.

The basic assessment of traffic safety level may be expressed by a probability of emergency occurrence in train operation as

$$P_{uv} = \frac{1}{S_v}$$

and should be as low as possible.

$S_v$  ( $10^6$  train kilometers) being the average number of train kilometers covered between the occurrence of two emergencies.



Here are some of the parameters used for assessing the level of safety:

1. Comparison of increments: the total number of emergencies ( $N_2$ ) and their increment ( $\pm \Delta N$ ) according to the basic types for a certain time period compared with the previous period ( $N_1$ ) in the form of:

$$N_2 = N_1 \pm \Delta N.$$

Increment rate of emergencies

$$p_{vd} = \frac{N_2}{N_1} \cdot 100\%$$

where the total number of emergencies ( $N_{vd}$ ) is the sum of following emergencies:

$$N_{vd} = N_u + N_n + N_{pp} + N_{en} + N_s$$

$N_u$  – accidents;  $N_n$  – trouble;  $N_s$  – disturbance;  $N_{pp}$  – emergency at level crossings;  $N_{en}$  – emergency caused by a natural catastrophe due to the effect of surroundings.

Coefficient of occurrence of individual emergencies according to the severity of their risk:

$$K_u = \frac{N_u}{N_{vd}} + \frac{N_n}{N_{vd}} + \frac{N_{pp}}{N_{vd}} + \frac{N_{en}}{N_{vd}} + \frac{N_s}{N_{vd}}$$

$$K_u = K_{uu} + K_{un} + K_{upp} + K_{uen} + K_{us} = 1$$

where, according to the degree of risk, the most severe coefficient of emergency occurrence is:

$$K_u = \frac{N_u}{N}.$$

Frequency of emergencies:

$$G_v = \frac{N_{vd}}{L_e} \left( \frac{\text{emergencies}}{\text{train km}} \right).$$

number of emergencies for each kilometer of exploited track length or railway network.

Degree of risk to railway traffic safety caused by accidents:

$$S_{ugv} = \frac{N_u \cdot 10^6}{\Sigma NL} \left( \frac{\text{accidents}}{10^6 \text{ train km}} \right).$$

$\Sigma NL$  – total number of covered train kilometers on a line or in a railway network.

Degree of risk to safety caused by locomotive defects ( $N_{dl}$ ):

$$S_{dl} = \frac{N_{dl} \cdot 10^6}{\Sigma ML} \left( \frac{\text{locomotive defects}}{10^6 \text{ locomotive km}} \right).$$

Degree of risk to safety caused by car defects ( $N_{dk}$ ):

$$S_{uk} = \frac{N_{dk} \cdot 10^9}{\Sigma NS} \left( \frac{\text{car defects}}{10^9 \text{ coach km}} \right).$$

Degree of risk to safety caused by rail breakage ( $N_{ls}$ ):

$$S_{uls} = \frac{N_{ls} \cdot 10^6}{\Sigma NL} \left( \frac{\text{rail breakage}}{10^6 \text{ train km}} \right).$$

Degree of risk to passenger safety:

$$S_{ubp} = \frac{10^9 \cdot N_{usp}}{\Sigma AL} \left( \frac{\text{killed passengers}}{10^9 \text{ passenger km}} \right)$$

$N_{usp}$  – total number of passengers killed in railway transport;  $\Sigma AL$  (pkm) – total transport expressed in passenger kilometers on a line or in a railway network.

Degree of risk to traffic safety at level crossings:

$$S_{ubpp} = \frac{N_{pp} \cdot 10^6}{\Sigma NL} \left( \frac{\text{emergencies}}{10^6 \text{ train km}} \right).$$

Degree of risk to safety in relation to realized transport in passenger traffic:

$$S_{bps} = \frac{N_{vol} \cdot 10^6}{\Sigma AL} \left( \frac{\text{emergencies}}{10^6 \text{ passenger km}} \right).$$

Degree of risk to safety in relation to realized transport in goods (freight) traffic:

$$S_{bts} = \frac{N_{vol} \cdot 10^6}{\Sigma PL} \left( \frac{\text{emergencies}}{10^6 \text{ ntkm}} \right).$$

Degree of risk to traffic safety in relation to total realized exploitation (in train kilometers):

$$S_{ubs} = \frac{N_{vd} \cdot 10^6}{\Sigma NL} \left( \frac{\text{emergencies}}{10^6 \text{ train km}} \right).$$

Degree of risk to traffic safety in relation to train collisions:

$$S_{usv} = \frac{N_{sc} \cdot 10^6}{\Sigma AL} \left( \frac{\text{emergencies}}{10^6 \text{ passnger km}} \right).$$

Degree of risk to traffic safety in relation to train derailments:

$$S_{uiv} = \frac{N_{iv} \cdot 10^6}{\Sigma NL} \left( \frac{\text{derailments}}{10^6 \text{ train km}} \right).$$

Degree of risk to traffic safety in relation to rail cracks:

$$S_{uls} = \frac{N_{rc} \cdot 10^6}{\Sigma NL} \left( \frac{\text{rail cracks}}{10^6 \text{ train km}} \right).$$

Degree of risk to safety in relation to realized transport in gross kilometer tonnage:

$$S_{usbr} = \frac{N_{vd} \cdot 10^6}{\Sigma QL} \left( \frac{\text{emergencies}}{10^6 \text{ gross km tonnage}} \right).$$

On the basis of the above mentioned, as well as some other, parameters of traffic safety, it is possible to assess the safety level, and to compare the realized safety levels on individual railway lines or railway networks, i.e. among the railway departments of national railways in individual countries. Table shows the level of traffic safety realized in Serbian Railways through some qualitative safety parameters in the years of 2001 and 2002.

Table

**Traffic safety in Serbian Railways**

Parameter	Unit	Year	
		2001	2002
$G_v$	Emergencies, kilometers	0,188	0,167
$S_{ugv}$	Accidents, $10^6$ train kilometers	2,500	1,760
$S_{ubp}$	Killed people, $10^6$ train kilometers	5,020	5,120
$S_{dl}$	Locomotive defects, $10^6$ locomotive kilometers	202,600	233,000
$S_{ubpp}$	Emergencies at level crossings, $10^6$ train kilometers	4,700	5,400
$S_{bps}$	Emergencies, $10^6$ passenger kilometers	0,730	0,640
$S_{bts}$	Emergencies, $10^6$ net kilometer tonnage	0,400	0,320
$S_{usbr}$	Emergencies, $10^6$ gross kilometer tonnage	0,180	0,170
$S_{ubs}$	Emergencies, $10^6$ train kilometers	32,200	32,700
$S_{usv}$	Train collisions, $10^6$ train kilometers	0,250	0,040
$S_{uiv}$	Train derailments, $10^6$ train kilometers	1,420	0,910
$S_{uls}$	Rail cracks, $10^6$ train kilometers	20,100	16,600

## Conclusion

Practice, facts and practical knowledge tell us that solutions leading to the increase of railway traffic safety level should be sought in decreasing the degrees of risk that originate from individual elements of the system, which may be achieved by improving the working order of technical means, establishing an adequate working organization, introducing modern technical means for regulation and safety, and, finally, by effective control and supervision over the traffic process.

In the railway traffic process, safety should be absolute. However, it is a well-known fact that there is no absolute safety in general, let alone in traffic, so we can talk only about a relative safety. This results from the fact that emergencies occur according to the law of random events occurrence; thus, there will always be emergencies in traffic under a certain set of conditions and circumstances in which they occur.

The above mentioned parameters may be useful in assessing the safety levels of individual railway departments, as well as in their mutual comparison.

## BIBLIOGRAPHY

1. Andersen, T, «Humana Reliability and Railway Safety», 16<sup>th</sup> ESReDA seminar, Safety and Reliability in Transport, 1999, www.dnv.com.
2. Vukadinovic, R., «The Research of the Factors of Safety and Regularity of Traffic on Yugoslav Railways», Doctor's Thesis, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, 1989, Serbia and Montenegro.
3. «The Report on the Traffic Safety on Yugoslav Railways in 2001», Yugoslav Railways, Belgrade, Serbia and Montenegro.
4. «The Report on the Traffic Safety on Yugoslav Railways in 2002», Yugoslav Railways, Belgrade, Serbia and Montenegro.
5. AS 5022-2001, «Guidelines for Railway Safety Investigation», Australian Standard.
6. Kecklund, L, ..., «Railway safety and the train information environment and work situation», COMPRAIL 2000, Bologna, Italy.

Entered editorial board 27.12.2005.

І. В. ЖУКОВИЦЬКИЙ, В. В. СКАЛОЗУБ, О. В. ВЕТРОВА (ДПТ),  
О. Л. ЗІНЕНКО (ДП Придніпровська залізниця)

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ І ЛОКОМОТИВНИХ БРИГАД

Запропоновано методи для створення удосконаленої автоматизованої системи оптимального керування роботою локомотивного парку. Описаний метод моделювання оперативного планування роботи локомотивів і локомотивних бригад ґрунтується на застосуванні багатокритерійних нечітких моделей задачі про оптимальне призначення.

Предложены методы для создания усовершенствованной автоматизированной системы оптимального управления работой локомотивного парка. Описанный метод моделирования оперативного планирования работы локомотивов и локомотивных бригад основан на использовании многокритериальных нечетких моделей задачи об оптимальном назначении.

In the paper the methods for construction of improved automated system of optimum management of locomotive depot operation have been offered. The described method of modeling the operative planning of work of the locomotives and locomotive brigades is based on the use of fuzzy multi-criteria models of the optimum assignment problem.

Забезпечення ефективного експлуатаційного і економічного управління процесами вантажних залізничних перевезень передбачає комплексне вирішення складних логістичних, організаційно-технічних та інших задач, а також побудову моделей керування перевізним процесом і інфраструктурою залізничного транспорту.

Основним завданням залізничного транспорту завжди було забезпечення зростаючих обсягів перевезень із мінімальними витратами. Оперативне планування і керівництво перевезеннями є найбільш складними елементами керування перевізним процесом. Пошукам науково обґрунтованих методів реалізації оперативних планів в частині експлуатації локомотивів і організації роботи локомотивних бригад присвячено досить багато робіт сучасних вчених. Це перш за все зумовлено тим, що значну частку витратної складової бюджету залізниці становлять витрати на експлуатацію локомотивів, а саме – до 28 %. Значну частину (50 %) складають витрати на паливно-енергетичні ресурси.

### Оперативне планування поїзної і вантажної роботи залізниці

Оперативне планування поїзної роботи залізниці має бути спрямованим на забезпечення:

- безперешкодного просування вагонопотоків і виконання розмірів руху поїздів і норм передачі вагонів по стикових пунктах залізниці та її дирекцій, передбачених місячними технічними нормами, на основі чіткої взаємодії диспетчерських ділянок, розпорядчих станцій і особливо стикових пунктів дирекцій і сусідніх залізниць;

- передачі і розвозу місцевого вантажу і порожніх вагонів під навантаження між дирекціями і на сусідні залізниці;

- виконання установлених для залізниці показників використання рухомого складу [1; 2].

Оперативне планування вантажної роботи повинно бути спрямовано на забезпечення:

- виконання місячного плану відправлення вантажів по всій номенклатурі;

- своєчасного вивантаження вагонів і створення ресурсів навантаження для залізниці і для виконання регулювальних завдань Укрзалізниці [1; 2].

Розробляючи добовий план в службі перевезень, начальник оперативно-розпорядчого відділу (або його заступник) приймають доповіді старших диспетчерів дирекцій про намічені показники добових планів і вносить корективи і доповнення у відповідності з оперативними завданнями Укрзалізниці і керівництва залізниці.

План передачі поїздів і вагонів визначається на підставі даних про наявність і приймання з сусідніх залізниць навантажених й порожніх вагонів і свого навантаження для передачі через кожний стиковий пункт з урахуванням нормативів графіка руху поїздів; даних про фактичне поїзне положення і розташування локомотивів, а також на підставі прогнозу передачі, отриманого з ІСЦ.

План передачі місцевих вагонів з дирекції на дирекцію і на сусідню залізницю визначається на підставі даних про час на приймання і передбачуване навантаження по кожному стиковому пункту з урахуванням нормативів графіка руху поїздів, плану формування, фактичного їх розташування.

З метою організації збору і просування місцевого вантажу на кожній дирекції повинні видаватися завдання диспетчерському апарату [2].

Визначення у змінно-добовому плані залізниці потрібного парку локомотивів і локомотивних бригад. Норми експлуатованого парку локомотивів для забезпечення запланованих розмірів руху встановлюються за коефіцієнтом потреби на пару поїздів по кожній поїзоділяній і підсумовуються в цілому по залізниці.

Завдання на пересилку локомотивів і локомотивних бригад резервом встановлюються виходячи із їх фактичної наявності і установлюваної непарності руху в планованому періоді. Час пересилки зазначається в змінному завданні залізниці.

Для своєчасної постановки локомотивів в різні види планових ремонтів в добовому плані встановлюється кількість локомотивів, направлених в ремонт.

Начальники локомотивних депо завчасно телефонограмою (телеграмою) передають начальникам служби перевезень і локомотивного господарства (при роботі на подовжених тягових плечах) і начальникам відділів перевезень (при роботі локомотивів в межах дирекцій) графік постановки локомотивів в ремонт.

Контроль за своєчасним поверненням локомотивів в депо приписки для постановки в ремонт здійснюють чергові і помічники начальника оперативно-розпорядчого відділу по використанню локомотивів і локомотивні диспетчери дирекцій [1; 2].

Порядок затвердження і передачі змінно-добового плану залізниці. Затверджений керівництвом залізниці добовий план не пізніше 15 год передпланової доби за встановленою Укрзалізницею структурою передається через ІСЦ в Головний обчислювальний центр (ПОЦ) для формування зведеного добового плану роботи залізниць з наступною передачею його в Головне управління перевезень на розгляд і затвердження, а потім у формі оперативного наказу направляється на дирекції для виконання [1; 2].

На основі добового плану і з врахуванням стану, що склався на залізниці, начальник оперативно-розпорядчого відділу служби перевезень встановлює план-завдання для кожної зміни і доводить його працівникам перед початком чергування. Схема диспетчерського управління перевізним процесом подана на рис. 1.

При автоматизованій системі складання добового плану доповіді дирекцій передаються в ІСЦ за погодженою структурою. ІСЦ на базі доповідей і машинних прогнозів до 12 год формує і передає в службу перевезень проект добового плану.

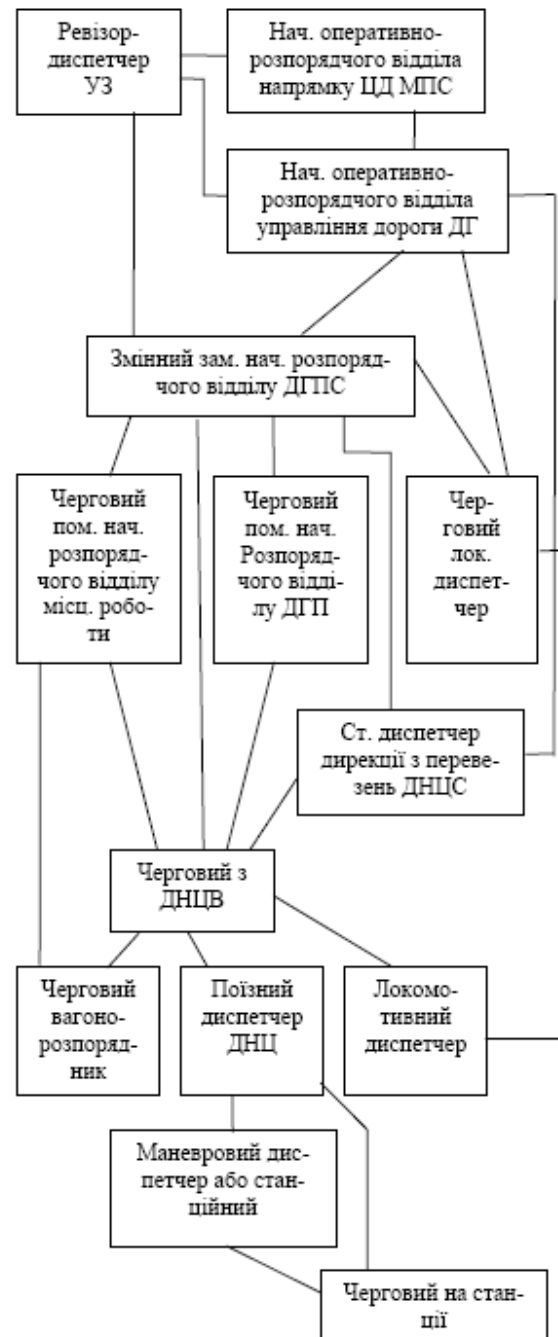


Рис. 1. Схема диспетчерського управління перевізним процесом

### Постановка задачі автоматизації оперативного планування роботи локомотивів

Управління експлуатацією локомотивів є елементом оперативного планування і управління всією поїздною роботою і направлене на вибір оптимального рішення задач по забезпеченню виконання планів перевезень, передачі поїздів і вагонів, технічних норм використання рухомого складу, ритмічності та безперервності і безпеки руху поїздів.

Відповідно до плану поїзної роботи визначається потреба в локомотивах і локомотивних бригадах. У добових і змінних планах передбачається:

- рівночисельний обмін локомотивами по стиках дирекцій перевезень;
- забезпечення повертання локомотивів у депо приписки для виконання технічного обслуговування і поточних ремонтів за суворого дотримання норм по пробігу;
- відставлення локомотивів до резерву залізниці і введення до експлуатації згідно з розмірами руху.

Для організації раціонального використання локомотивів, аналізу показників їх роботи в службі перевезень і на дирекціях працюють локомотивні диспетчери. До їх обов'язків відносяться: регулювання локомотивним парком за рахунок оперативного резерву; контроль за своєчасним поверненням локомотива в депо для проходження техоглядів, поточних ремонтів і екіпірування; забезпечення дії положень щодо часу роботи і відпочинку локомотивних бригад.

На сьогодні побудовано інформаційну модель роботи локомотивного парку в інтегрованій базі даних автоматизованої системи управління вантажними перевезеннями.

Складна задача забезпечення виконання змінного і добового плану вирішується складним системним об'єктом – оперативною зміною під керівництвом оперативно-розпорядчого відділу управління залізниці. Диспетчерська зміна приймає рішення в умовах великої психологічної напруги. Від досвіду і інтуїції сучасного дільничного, локомотивного диспетчера повністю залежить ефективність використання рухомого складу і ресурсів. При цьому необхідно пам'ятати, що вирішення задачі підв'язки локомотивів до поїздів згідно з 2–4-годинним прогнозом сьогодні значно складніше, ніж в умовах роботи за часів планового господарства, коли доля сталого ядра потягів складала до 75 % графіка руху. Тому в сучасних умовах все гостріше постає питання побудови якісної системи підтримки прийняття рішень як для полегшення прийняття правильних рішень під час вибору з множини ефективних альтернатив, так і для навчання молодих диспетчерів на базі знань, що містить накопичений досвід оперативного регулювання і дозволяє застосування статистично-ситуативних підходів до прийняття оперативних рішень.

З вищенаведеного очевидно, що задача практичного вдосконалення оперативного планування поїзної роботи, в т. ч. і використання

локомотивів і локомотивних бригад, потребує створення системи математичних моделей оцінки змінних властивостей поїздопотоку, одиниць локомотивного парку, формалізації технологій прийняття рішень диспетчерською зміною.

### Модель задачі про призначення локомотивів поїздам

Задача призначення поїздам локомотивів є однією з важливих задач оперативного планування роботи локомотивного парку. Побудова математичної моделі такої задачі ускладнюється необхідністю враховувати різноманітні економічні, організаційні, часові та інші чинники невизначеності. Проблему оптимального призначення  $m$  локомотивів для  $n$  поїздів наведено у вигляді двокритерійної задачі оптимального планування в умовах невизначеності. Цільові функції визначають з одного боку, економічну оцінку призначення  $i$ -го локомотива для  $j$ -го поїзда, з іншого боку, ефективність використання локомотива для поїзда (оцінку відповідності поїзда локомотиву).

Побудова математичної моделі. Розглядається така постановка задачі. На початок періоду планування маємо  $m$  локомотивів (виконавців) та  $n$  поїздів (завдань). Вартості призначення  $i$ -го локомотива  $j$ -му поїзду – нечіткі трикутні величини  $\{\tilde{c}_{ij}\}_{m \times n}$ .

Вартість призначення складається з витрат на доставку локомотива до місця призначення, якщо він знаходиться в іншому місці дислокації, витрат на обслуговування локомотивом відповідного поїзда та ін.

Оцінюючи ефективність призначень, будемо враховувати ряд чинників, що характеризують індивідуальні особливості виконавців: стан локомотива, відповідність локомотива поїзду та інші. Систему пріоритетів, що відповідає інтересам виконавців, оцінюють нечіткі трикутні величини  $\{\tilde{d}_{ij}\}_{m \times n}$ .

Функції належності величин  $\{\tilde{c}_{ij}\}_{m \times n}$  та  $\{\tilde{d}_{ij}\}_{m \times n}$  мають вигляд

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x - a_{ij}}{b_{ij} - a_{ij}}, & \text{якщо } a_{ij} \leq x \leq b_{ij}; \\ \frac{f_{ij} - x}{f_{ij} - b_{ij}}, & \text{якщо } b_{ij} < x \leq f_{ij}; \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (1)$$

при  $i = \overline{1, m}$   $j = \overline{1, n}$ .

Розв'язком задачі є матриця

$$\{x_{ij}\}_{m \times n},$$

де

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й локомотив} \\ & \text{призначений } j\text{-му поїзду;} \\ 0, & \text{в іншому разі.} \end{cases}$$

Задача оптимального планування роботи локомотивного парку на кожному етапі має такий вигляд:

$$\left( \begin{array}{c} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij}; \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} x_{ij}, \end{array} \right) \rightarrow \min \quad (2)$$

$$x_{ij} = 0 \vee 1 \quad \forall i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall j = \overline{1, n}; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1 \quad \forall i = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Крім обмежень (3)–(5) на розв'язки задачі накладається обмеження щодо забезпечення своєчасних техоглядів одиниць локомотивного парку. Позначимо час, що залишився  $i$ -му локомотиву до технічного огляду, через  $\tau_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ , а час, необхідний на обслуговування  $j$ -го поїзда, через  $t_j$ ,  $j = \overline{1, n}$  (сюди внесено і час на повернення до депо). До задачі (2)–(5) додається обмеження:

$$x_{ij} (t_i - \tau_j) \leq 0 \quad \forall i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Модель (2)–(6) є двокритерійною задачею нечіткого лінійного програмування (НЧЛП).

Задача НЧЛП може не мати розв'язків, якщо множина допустимих розв'язків порожня (обмеження задачі несумісні). В іншому разі, оптимальний розв'язок задачі НЧЛП може бути детермінованим або нечітким, тобто нечіткою підмножиною множини допустимих планів.

Задачі НЧЛП у загальному випадку не мають універсальних аналітичних методів знаходження детермінованого оптимального розв'язку або побудови функції належності нечіткого розв'язку, розв'язання задач НЧЛП зводиться до розв'язання ряду задач лінійного програмування (ЛП). Для цього вводяться дискретні  $\alpha$  – рівні.

Якщо план  $x_0$  є оптимальним розв'язком вихідної задачі на множині рівня  $\alpha$ , то можна вважати, що число  $\alpha$  є ступенем належності плану  $x_0$  нечіткій множині розв'язків вихідної задачі. Вихідна задача НЧЛП наведена у вигляді сукупності звичайних задач ЛП, які розв'язуються для різних  $\alpha$  – рівнів множини допустимих розв'язків. Перебравши таким чином різні значення  $\alpha$ , отримаємо функцію належності нечіткого розв'язку [3].

Але окремі моделі задач НЧЛП можуть бути розв'язані аналітично. До таких моделей належить задача ЛП з нечіткими коефіцієнтами цільової функції (функції належності яких є кусково-лінійними) та чіткими обмеженнями:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij} \rightarrow \min; \\ x_{ij} \in X \quad i = \overline{1, m} \quad j = \overline{1, n}; \\ x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, m} \quad j = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (7)$$

де  $X \subset R^n$  – замкнений, опуклий многогранник. Якщо коефіцієнти цільової функції задачі (7) є нечіткими трикутними величинами, функції належності яких мають вигляд (1), то задача (7) має такі основні властивості:

1. Кількість різних детермінованих оптимальних розв'язків, якщо вона скінченна, не перевищує трьох майже для всіх наборів коефіцієнтів цільової функції. Під набором розуміються коефіцієнти, що відповідають рівним значенням функцій належності вхідних даних. Можливий випадок, коли такий детермінований оптимальний розв'язок є єдиним, і на нього не впливає нечіткість вхідних даних.

2. Всі детерміновані оптимальні розв'язки (якщо їх більше, ніж один) утворюють послідовність суміжних вершин множини допустимих розв'язків задачі. Для будь-якої пари суміжних вершин існує таке значення функцій належності вхідних даних, що при відповідних йому значеннях коефіцієнтів оптимальним розв'язком є весь відрізок, який з'єднує зазначені вершини.

3. Існує і притому тільки один  $\alpha$ -зріз ( $0 \leq \alpha < 1$ ), такий, що для всіх коефіцієнтів цільової функції, які мають значення функцій належності більші за  $\alpha$ , задача має один детермінований оптимальний розв'язок.

У роботі отримано формулу для аналітичного обчислення значення зазначеного рівня  $\alpha$ :

$$\alpha_{ab} = \frac{1}{1 + M_{ab}}, \quad (8)$$

де

$$M_{ab} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} (x_{ij}^a - x_{ij}^b)}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} (x_{ij}^b - x_{ij}^a)}, \quad (9)$$

де  $(x_{ij}^a)_{m \times n}$  та  $(x_{ij}^b)_{m \times n}$  – оптимальні детерміновані розв’язки задачі (7) за умов

$$(\tilde{c}_{ij})_{m \times n} = (a_{ij})_{m \times n} \quad \text{та} \quad (\tilde{c}_{ij})_{m \times n} = (b_{ij})_{m \times n}$$

відповідно.

Таким чином, якщо коефіцієнти  $\tilde{c}_{ij}$  цільової функції задачі (7) – нечіткі трикутні величини з функціями належності (1), то для розв’язання задачі (7) існує метод, що вимагає розв’язання лише трьох детермінованих задач про призначення. Зазначений метод дозволяє одержати залежність нечіткого оптимального розв’язку від значень функцій належності нечітких даних та побудувати нечітку функцію цілі.

Обмеження у задачах про призначення завжди детерміновані, недетермінованими можуть бути тільки коефіцієнти цільових функцій. Отже, до задачі про призначення у нечіткій постановці можна застосувати зазначений метод.

Для багатокритерійної задачі про призначення множину ефективних (оптимальних за Парето) розв’язків або її підмножину, можна виділити за допомогою лінійної згортки цільових функцій, тобто розв’язати задачу з цільовою функцією:

$$\gamma \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij} + (1-\gamma) \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (10)$$

та обмеженнями (3)–(6) для декількох значень  $\gamma \in [0; 1]$ . Оптимальні нечіткі розв’язки отриманих задач (10), (3)–(6) є ефективними розв’язками задачі (2)–(6).

Отже, для розв’язання задачі (2)–(6) пропонується такий алгоритм:

1. Визначаємо крок

$$\Delta\gamma = \frac{1}{k}, \quad k \in N.$$

2.  $\gamma = 0$ .

3. Розв’язуємо задачу НЧЛП (10), (2)–(6) для поточного значення  $\gamma$ .

4. Збільшуємо  $\gamma$  на  $\Delta\gamma$ .

5. Якщо  $\gamma > 1$ , то переходимо на п. 6, інакше – переходимо на п. 3.

6. Серед оптимальних призначень, знайдених під час роботи алгоритму, відкидаємо такі, що повторюються, та залишаємо усі різні плани. Знайдені оптимальні плани надаємо людині, що приймає рішення (локомотивному диспетчеру), для подальшого вибору із них одного призначення.

Якщо надати локомотивному диспетчеру для остаточного вибору лише ефективні призначення, то планування буде здійснюватися простіше та економічно більш ефективно. Задача (2)–(6) у системі підтримки прийняття рішень розглядається як базова, що розв’язується на послідовних кроках керування локомотивним парком.

## Висновки

У роботі запропоновано методи для створення удосконаленої автоматизованої системи для оптимального управління роботою локомотивного парку. Її відмінність полягає у застосуванні нечітких моделей для прогнозування характеристик поїздопотоків та для підв’язки локомотивів до поїздів.

Запропоновані моделі і методи можуть бути застосовані для підвищення ефективності роботи диспетчерського апарату.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України – ЦД0058, затверджена 31.08.2005 № 507.
2. Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України – ЦД0052, затверджена 15.12.2004 № 969-ЦЗ.
3. Згуровский М. З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования. К.: Вища шк., 1990. – С. 151–186.
4. Алексеев О. Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации. М.: Наука, 1987. – 248 с.
5. Барсегян А. А. Методы и модели анализа данных: OLAP и DataMining / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.

Надійшла до редколегії 27.07.07.

Д. М. КОЗАЧЕНКО, М. І. БЕРЕЗОВИЙ, Р. Г. КОРОБІЙОВА (ДІПТ)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ВІДЧЕПІВ ТА УМОВ ЇХ СКОЧУВАННЯ НА ВЕЛИЧИНУ ІНТЕРВАЛІВ НА РОЗДІЛОВИХ СТІЛКАХ

На підставі імітаційного моделювання роботи гірки побудовано статистичну модель інтервалів між відчепами на розділових стрілках, виділені суттєві фактори та проаналізовано їх вплив на величину розділових інтервалів.

На основании имитационного моделирования работы горки построена статистическая модель интервалов между отцепами на разделительных стрелках, выделены существенные факторы и проанализировано их влияние на величину разделительных интервалов.

Based on imitation modelling of marshalling hump operation, there has been obtained a statistic model of intervals between cuts on the separating switches, determined the essential factors and analyzed their influence onto the size of the separating intervals.

Сортувальні гірки є одними з основних споживачів енергії на станціях. Тому проблема підвищення ефективності використання технічних засобів сортувального комплексу є досить актуальною. У відповідності до [1] оцінка конструкції сортувальних гірок повинна виконуватись на основі імітаційного моделювання процесу розформування составів. Однією із задач, що виникає під час побудови такої моделі, є розробка методики статистичного моделювання параметрів состава та його відчепів.

Для розв'язання цієї задачі необхідно визначити ступінь впливу параметрів відчепів та умов їх скочування на величину інтервалів на розділових стрілках. З цією метою виконано серію імітаційних експериментів по скочуванню груп з трьох відчепів. Крайніми відчепами групи прийняті розрахункові дуже погані бігуни [1]. При цьому як відгук обрано менший з інтервалів у першій та другій парах відчепів

$$y = \delta t(h, x) = \min[\delta t_1(h, x), \delta t_2(h, x)]. \quad (1)$$

Як фактори обрано кількість  $n(x_1)$ , тип  $R(x_2)$  та вагову категорію  $q(x_3)$  вагонів середнього відчепу, номери розділових стрілок  $\sigma_1$  і  $\sigma_2$  у першій та другій парах відчепів (відповідно  $x_4, x_5$ ), швидкість вітру  $v(x_6)$ , температуру повітря  $t(x_7)$ . У зв'язку зі складністю гіркових процесів отримати аналітичну залежність відгуку від факторів практично неможливо, тому як модель використано рівняння регресії у формі лінійного поліному:

$$y(a, x) = a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_n x_n + a_{n+1} x_1 x_2 + \dots + a_k x_{n-1} x_n,$$

де  $a_0 \dots a_k$  – коефіцієнти регресії, що визначаються за допомогою методів планування експериментів.

Ідентифікація моделі виконана на підставі серії експериментів із застосуванням дробного плану  $2^{7-2}$  [2]. Рівні варіювання факторів наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Фактори та рівні їх варіювання для отримання моделі інтервалів на розділових стрілках**

Фактори	$x_i = -1$ (нижній рівень)	$x_i = 0$ (основний рівень)	$x_i = 1$ (верхній рівень)
$x_1(n)$	1	2	3
$x_2(R)$	цс	–	пв
$x_3(q)$	Л	С	В
$x_4(\sigma_1)$	3	4,0	5
$x_5(\sigma_2)$	3	4,0	5
$x_6(v)$	0	+2,5	+5
$x_7(t)$	–10	+12,5	+35

Для визначення значень функції відгуку  $v = f(h, x)$  в окремих точках плану використано імітаційну модель скочування відчепів з гірки [3]. При цьому для врахування невизначеності інформації при реалізації режимів гальмування  $h = \{h', h''\}$  вага  $Q_b$  та основний питомий опір  $w_0$  вагонів середнього відчепу групи моделювались як випадкові величини, що залежать



від їх вагової категорії  $q$ . У результаті статистичної обробки ваги вагонів встановлено, що в межах вагових категорій Л, ЛС, С та СТ випадкова величина  $Q_v$  розподілена за рівномірним законом. Вага вагонів важкої категорії Т є випадковою величиною, значення якої у окремому досліді може бути промодельовано за допомогою виразу

$$Q_{v(T)} = Q_T + Q_{вп} - \xi,$$

де  $Q_T$ ,  $Q_{вп}$  – відповідно тара та вантажопідйомність вагона;  $\xi$  – випадкова величина недован-

таження вагона, що має показниковий закон розподілу.

Відповідно до [4] випадкова величина  $w_0$  має гамма-розподіл з параметрами  $\alpha$  та  $\beta$ , що залежить від вагової категорії вагона  $q$

$$F(w_0) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{w_0} e^{-\beta w_0} w_0^{\alpha-1} dw_0.$$

Характеристики вирівняних статистичних рядів основного опору руху та параметри відповідних гамма-розподілів для окремих вагових категорій вагонів наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Залежність характеристик розподілу випадкової величини  $w_0$  від вагової категорії вагона

Вагова категорія	Діапазон ваги вагона	Математичне очікування, $w_0$	Середнє квадратичне відхилення, $\sigma w_0$	Коефіцієнти гама-розподілу	
				$\alpha$	$\beta$
Л	<28	1,75	0,67	6,76	3,86
ЛС	28...44	1,54	0,59	6,82	4,43
С	44...60	1,39	0,50	7,57	5,45
СТ	60...72	1,25	0,38	11,00	8,80
Т	>72	1,23	0,35	12,46	10,13

Під час визначення режимів гальмування використовувався наступний метод інтервального регулювання швидкості скочування відчепів. На попередньому етапі виконувалось еталонне скочування групи відчепів у якому вага і основний питомий опір середнього відчепа були прийняті рівними їх математичним очікуванням.

За допомогою методики, викладеної в [5], при цих умовах визначався режим  $h^*$ , який забезпечує максимальне значення (1). Для знайденого режиму  $h^*$  фіксувались швидкості входу  $v_{i,вх}^*$  та виходу  $v_{i,вих}^*$  середнього відчепа з гальмівних позицій. Далі виконувалась серія з 300 скочувань при випадкових значеннях  $Q_v$  та  $w_0$ . Режими гальмування  $h_i$  у кожному досліді вибирались із умови забезпечення швидкості виходу відчепів з гальмівних позицій рівними

$$v_{i,вих}^j = v_{i,вих}^* + v_{i,вх}^* - v_{i,вх}^j.$$

При подібному підході значення інтервалу (1) є випадковою величиною. Приклад гістограми випадкової величини  $\delta t$ , наведено на рис. 1.

У результаті статистичного аналізу встановлено, що у окремому досліді значення випадкової величини  $\delta t$  може бути промодельоване за допомогою виразу

$$\delta t = \delta t^* - \varepsilon,$$

де  $\delta t^*$  – величина інтервалу у еталонному скочуванні;  $\varepsilon$  – випадкова величина, що має гамма-розподіл.

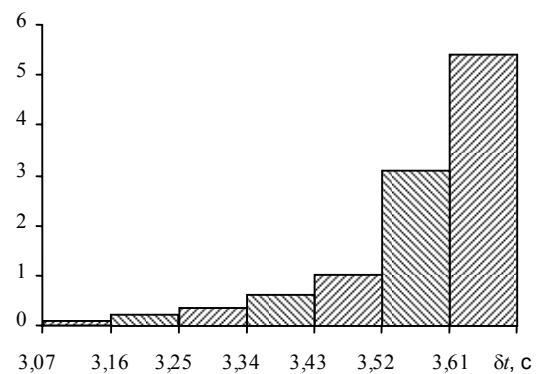


Рис. 1. Гістограма розподілу випадкової величини інтервалу на розділових стрілах

У зв'язку з тим, що величина  $\delta t$  є випадковою для визначення відгуку (1) використовувалось значення нижньої межі довірчого інтервалу з заданим рівнем достовірності  $P = 0,95$ .

У результаті обробки даних імітаційних експериментів отримано наступну модель величини інтервалів на розділових стрілах:

$$y = 6,98 + 2,38x_1 + 0,32x_2 + 0,24x_3 + 0,11x_4 -$$

$$0,32x_5 + 0,14x_1x_2 - 0,35x_4x_5. \quad (2)$$

Аналіз коефіцієнтів моделі (2) показує, що основний вплив на величину інтервалів на стрілках справляє фактор  $x_1$  (кількість вагонів у відчепі). Для визначення причин цього впливу розглянемо вираз для визначення величини інтервалів на розділових стрілках

$$\delta t_{i-1} = t_{0,i-1} + t_i(\sigma_{i-1}) - \tau_{i-1}(\sigma_{i-1}),$$

$$\delta t_i = t_{0,i} + t_{i+1}(\sigma_i) - \tau_i(\sigma_i),$$

де  $t_{0,i-1}$ ,  $t_{0,i}$  – початкові інтервали на вершині гірки між відчепами состава відповідно  $(i-1)$ -м і  $i$ -м, а також  $i$ -м і  $(i+1)$ -м;  $t(\sigma)$  – час скочування від моменту відриву до моменту заняття ізольованої ділянки (ІД) розділової стрілки  $\sigma$ ;  $\tau(\sigma)$  – те ж, до моменту звільнення ІД розділової стрілки  $\sigma$ .

Початкові інтервали на вершині гірки в кожній парі відчепів можуть бути визначені за допомогою виразу

$$t_0 = (l_1 + S_1 - S_2) / v_p, \quad (3)$$

де  $l_1$  – довжина першого відчепу в парі;  $S_1$ ,  $S_2$  – координата відриву першого та другого відчепу в парі;  $v_p$  – швидкість розпуску состава.

Враховуючи характер функції (3) та те, що значення координат  $S_1$  та  $S_2$  прямо пропорційні до довжини відповідних відчепів збільшення довжини середнього відчепу в розрахунковій групі призводить до збільшення інтервалів  $t_{0,i-1}$ ,  $t_{0,i}$ , а значить і інтервалів  $\delta t_{i-1}$  та  $\delta t_i$ .

Для ілюстрації на рис. 2 наведено графік залежності величини інтервалів на розділових стрілках  $\sigma_1 = 3$  та  $\sigma_2 = 5$ .

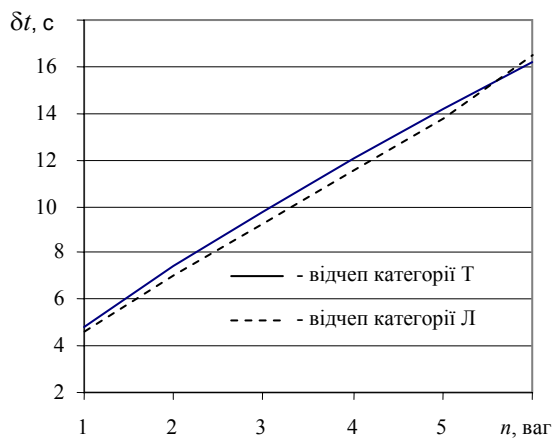


Рис. 2. Графік залежності величини інтервалів  $\delta t$  від кількості вагонів у середньому відчепі розрахункової групи

З довжиною відчепу пов'язаний також і досить значний вплив фактору  $x_2$  (тип вагона) і взаємодії факторів  $x_1$  та  $x_2$ . У досліджах, де довжина вагонів була прийнята однаковою, коефіцієнти при цих факторах ставали незначущими.

Вплив фактора  $x_3$  (вагова категорія відчепу) пов'язаний з двома основними причинами.

По перше, збільшення ваги відчепу, а відповідно і покращення його ходових якостей, сприяє поліпшенню умов керування швидкістю його скочування за допомогою гальмівних позицій. Для ілюстрації на рис. 3, а показано залежність інтервалів на стрілках від ваги середнього відчепу в групі при відомих його параметрах.

По друге, збільшення вагової категорії відчепу покращує прогнозованість його ходових характеристик за рахунок зменшення величини  $\sigma w_0$  (див. табл. 2) і зменшення відносної величини похибки  $(Q_B - \bar{Q}_B) / Q_B$  при моделюванні його ваги. Результатом цього є зменшення похибки при реалізації режимів гальмування. На рис. 3, б показано залежність інтервалів на стрілках від ваги середнього відчепу з урахуванням випадковості його параметрів.

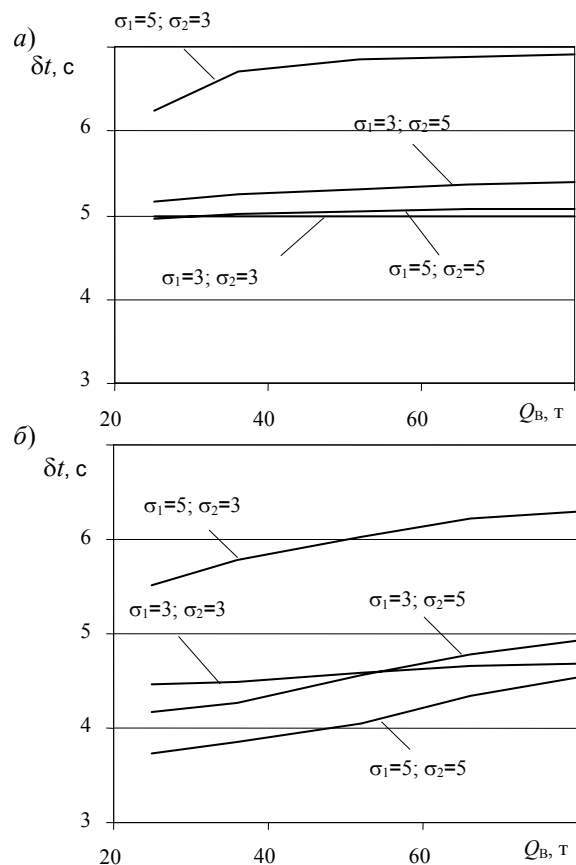


Рис. 3. Графіки залежності величини інтервалів від ваги відчепу:

а – при відомих параметрах відчепу;  
б – при випадкових параметрах відчепу

Значний вплив на величину інтервалу  $\delta t$  здійснюють фактори  $x_4$  та  $x_5$  (номери розділових стрілок в першій та другій парах) та їх взаємодія. Як показали результати додаткових експериментів залежність  $\delta t(\sigma_1, \sigma_2)$  суттєво нелінійна (рис. 4).

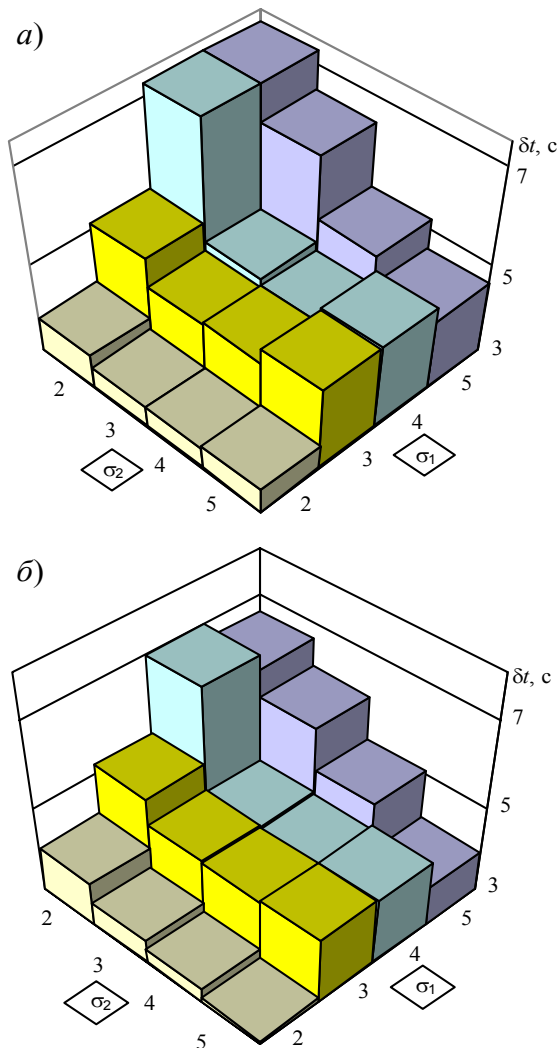


Рис. 4 Вплив розділових стрілок у першій та другій парах  $\sigma_1$  та  $\sigma_2$  на величину інтервалу  $\delta t$ :

а) при відомих параметрах відчепа;

б) при випадкових параметрах відчепа

На рис. 4, а показано вплив розділових стрілок  $\sigma_1$  та  $\sigma_2$  у першій та другій парі групи ДП-ДХ-ДП на величину інтервалу  $\delta t$  при відомих параметрах середнього відчепа в групі, а на рис. 4, б – при випадкових.

Аналіз отриманих залежностей  $\delta t(\sigma_1, \sigma_2)$  показує, що збільшення відстані між розділовими стрілками призводить до збільшення ве-

личини інтервалу  $\delta t$ ; кращі умови розділення відчепів створюються у тих парах, де  $\sigma_1 > \sigma_2$ ; умови розділення на останніх стрілках стрілочної зони погіршуються через неточність реалізації режимів гальмування.

У цілому отримані результати показують, що залежність  $\delta t(\sigma_1, \sigma_2)$  має значно складніший характер, ніж прийнята в [6] для вибору спеціалізації сортувальних колій, де пари відчепів розглядаються ізольовано і вважається, що умови розділення відчепів покращуються при зменшенні номера стрілки їх розділення.

Таким чином, в результаті виконаних експериментів можна зробити такі висновки:

1. Основним фактором, що впливає на величину інтервалів на розділових стрілках є довжина відчепа. Вплив цього фактору перевищує сумарний вплив всіх інших факторів і тому його необхідно обов'язково враховувати при розробці систем автоматизованого керування процесом розформування составів на гірках;

2. Суттєвий вплив на величину розділових інтервалів здійснює співвідношення стрілок розділення у суміжних парах відчепів, що вказує на необхідність врахування цього фактору при виборі спеціалізації колій сортувальних парків.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207-89. – М.: Транспорт, 1992. – 104 с.
2. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
3. Бобровский В. И. Моделирование автоматизированных сортировочных горок // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – № 3, 4. – С. 83–84.
4. Муха Ю. А. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств // Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин и др. – М.: Транспорт, 1994. – 220 с.
5. Бобровский В. И. Математическая модель для оптимизации интервального регулирования скорости отцепов на горках / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 3. – С. 3–8.
6. А. А. Явна. Совершенствование процедуры выбора специализации путей подгорочного парка сортировочной станции / А. А. Явна, Н. Н. Новгородов, Л. В. Пальчик, Е. Г. Шепилова // Вестник ВНИИЖТ. 1996. – С. 22–28.

Надійшла до редколегії 22.05.2006.

## СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ СКАТЫВАНИЯ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Описано відомі алгоритми роботи систем регулювання швидкості промислового залізничного транспорту, методика розрахунку даних для настройки регуляторів, а також послідовність і порівняльні результати імітаційного моделювання їхньої роботи.

Описаны известные алгоритмы работы систем регулирования скорости промышленного железнодорожного транспорта, методика расчета данных для настройки регуляторов, а также последовательность и сравнительные результаты имитационного моделирования их работы.

The known algorithms of operating the speed regulation systems on industrial railway transport, the method of data calculating for adjustment of the regulators, as well as the consequence and comparable results of imitation modeling of their operation, have been described.

На ряде горных и металлургических предприятий для выгрузки сыпучих грузов из железнодорожных вагонов применяются вагоноопрокидыватели (в/о). Популярным способом уборки разгруженных (порожних) вагонов является способ скатывания последних на пути накопления под действием силы тяжести. На кафедре ЭВМ ДИИТа была разработана и в течение ряда лет модернизировалась автоматизированная система управления скоростью скатывания порожних вагонов от в/о (АУСВ). Структура, описание и основные алгоритмы работы трех первых вариантов данной системы (АУСВ, АУСВ-2, АУСВ-У) приведены в работах [1; 2]. В данный момент ведется разработка очередной серии системы (АУСВ-МК) [3].

В вышеуказанной системе используется дискретный измеритель скорости – датчик скорости ДС-2. Скорость скатывающегося вагона измеряется несколько раз в определенных точках зоны регулирования таким образом, эти точки разделяют всю зону торможения (регулирования) на отдельные участки.

### Общая характеристика известных алгоритмов регулирования скорости

В [1] рассматривается принцип регулирования, при котором по разности между измеренной в начале каждого участка скоростью отцеп и заданной скоростью в конце этого участка выбирается путем моделирования ступень торможения таким образом, чтобы к концу зоны регулирования разность между фактической и заданной скоростями выхода отцепы из замедлителя была минимальной. При этом закон изменения «мнимой» заданной скорости, с которой желательно провести отцеп по зоне регулирования, выбран линейным.

В работе [2] предлагается принцип регулирования скорости, при котором закон изменения желаемой скорости представляет собой кривую  $V(S)$  движения вагона в замедлителе, включенном на первую ступень торможения, заканчивающуюся в точке  $V_{\Pi}$  (скорость прицеливания). В начале каждого участка по номеру этого участка и по фактической скорости вагона выбирается (для каждой линии ведения) ступень торможения замедлителя. Путем последовательного переключения ступеней торможения на последующих участках с высшей на низшую, фактическая линия ведения вагона в замедлителе должна сблизиться с заданной. Тогда на последних участках регулирование скорости будет осуществляться первой ступенью торможения замедлителя, что повысит точность регулирования. Для скорости прицеливания путем цифрового моделирования найдена приближенная эмпирическая зависимость

$$V_{\Pi} = V_3 - 0,3/V_3, \quad (1)$$

где  $V_3$  – заданное значение скорости выхода вагона из замедлителя.

Известен недавно предложенный принцип регулирования скорости, схожий с [2], но при той же общей длине зоны торможения и том же числе датчиков скорости, используется в несколько раз большее число участков торможения (участки более короткие). В данном случае регулятор «отслеживает» наезды на датчики скорости всех осей вагона. Далее, если длина данного участка такова, что при движении по нему вагона, переходные процессы переключения замедлителя на данную ступень торможения не завершатся, то на данном участке управление невозможно и к нему добавляется следующий и т. д. (из нескольких коротких участков образуется один более длинный – рис. 1).

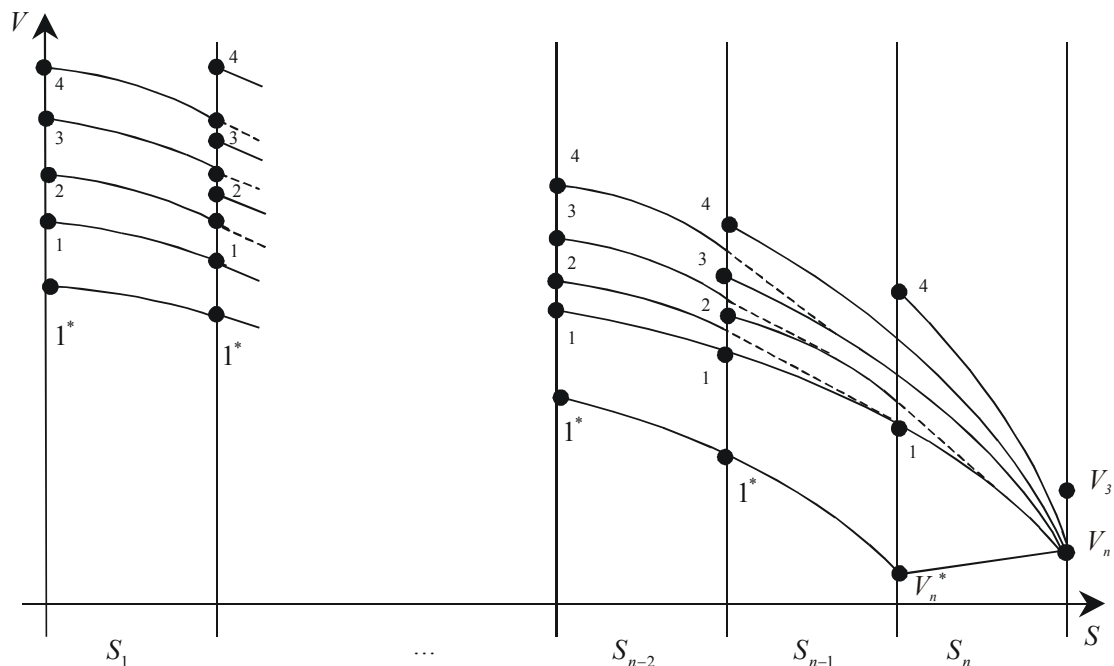


Рис. 1. Возможные траектории движения вагона в замедлителе для различных управляющих воздействий

Также в [2] показано, что принцип регулирования скорости [2] эффективнее принципа регулирования [1]. На основании этого, целесообразно сравнить эффективность (точность) работы системы при регулировании по алгоритму [2] и по алгоритму, приведенному выше.

#### Методика расчета настройки регулятора

Уровни переключения на участках вычисляются методом близким к методу динамического программирования. Вычисления начинаются с участка, находящегося в конце зоны торможения ( $n$ -й участок), по формуле

$$V_{nj} = \sqrt{V_{\Pi}^2 + 2a_{nj}S_n}, \quad j = \overline{1, 4}, \quad (2)$$

где  $V_{\Pi}$  – скорость прицеливания (скорость, в которой заканчивается линия ведения);  $a_{nj}$  – замедление, создаваемое  $j$ -й ступенью торможения на  $n$ -м участке;  $S_n$  – длина  $n$ -го участка.

Для данного алгоритма работы путем моделирования найдена приближенная эмпирическая зависимость  $V_{\Pi}$  от  $V_3$ . Следует отметить, что отличие этих величин друг от друга незначительно (несколько процентов), т. е. точку  $V_{\Pi}$  можно вообще не вводить.

На следующих  $i$ -х участках от конца зоны торможения скорости переключения вычисляются по формулам:

$$\left. V_{i,j} = \sqrt{(V_{i+1,j-1} + \Delta V_{i+1,j-1})^2 + 2a_{ij}S_i}, \quad \begin{matrix} i = \overline{1, n-1} \\ j = \overline{2, 4} \end{matrix} \right\} \quad (3)$$

$$V_{i,1} = \sqrt{V_{i+1,1}^2 + 2a_{i1}S_i}, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad (4)$$

где  $\Delta V_{i+1,j-1}$  – приращение скорости, учитывающее переходной процесс при переключении замедлителя на  $(i+1)$ -м участке с  $j$ -й на  $(j-1)$ -ю ступень.

Фактические линии ведения будут проходить выше расчетных (рис. 1), поэтому  $V_{\Pi} < V_3$  и растормаживание замедлителя в процессе управления исключено. Однако реальный процесс торможения недетерминирован, т. е. фактические значения замедлений на участках могут отличаться от расчетных в большую и меньшую сторону. Таким образом, возможно включение 0-й ступени торможения (растормаживание), например, при перетормаживании на предыдущем участке. Такой ситуации желательно избежать, т. к. значительно увеличивается время переходных процессов и расходуются много воздуха из магистрали. Чтобы уменьшить возможность возникновения подобной ситуации, уровни переключения с 0-й ступени на 1-ю выбраны ниже расчетных (см. рис. 1).

Для этого вводится дополнительная линия ведения, заканчивающаяся в точке  $V_{\Pi}^*$ :

$$V_{\Pi}^* = \sqrt{V_{\Pi}^2 - 2\alpha S_n + \Delta V^*}, \quad (5)$$

где  $\alpha$  – ускорение свободного скатывания;  $\Delta V^*$  – изменение скорости за время переходного процесса.

Для вычисления замедления используются следующие формулы:

$$a_{ij} = g' \cdot W_{Tij} \cdot 10^{-3} - \alpha; \quad (6)$$

$$\alpha = g'(i - W_{\Sigma})10^{-3}, \quad (7)$$

где  $g'$  – ускорение свободного падения с учетом инерции вращающихся масс;  $W_{Tij}$  – удельное сопротивление движению на  $i$ -м участке, создаваемое замедлителем, включенным на  $j$ -ю ступень;  $W_{\Sigma}$  – суммарное удельное сопротивление движению (основное и от среды и ветра);  $i$  – уклон, на котором находится замедлитель.

В системе АУСВ для регулирования скорости скатывания вагонов используется одна

тормозная позиция (только прицельное торможение), состоящая из трех замедлителей нажимного типа (РНЗ).

Известно [3], что замедлитель РНЗ в силу своих конструктивных особенностей имеет стабильную (постоянную для отдельного вагона) тормозную характеристику, т. е. удельное тормозное усилие на вагон не зависит от числа одновременно тормозимых осей.

Однако с учетом того, что в данной системе используется тормозная позиция (ТП), состоящая из трех замедлителей данного типа, удельное тормозное усилие на вагон, тормозимый такой тормозной позицией, будет зависеть от числа осей вагона, одновременно находящихся в замедлителях (рис. 2).

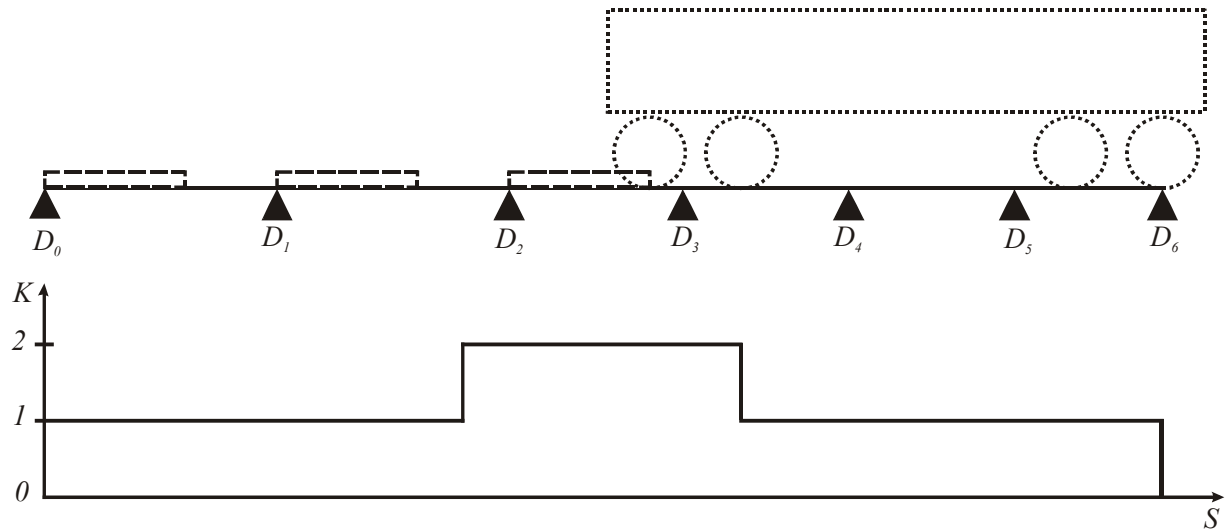


Рис. 2. Расположение датчиков на тормозной позиции и её тормозная характеристика

Тогда

$$W_{Tij} = K_i \cdot W_{Tj}^{PH3}, \quad (8)$$

где  $W_{Tj}^{PH3}$  – удельное сопротивление движению, создаваемое одним замедлителем, включенным на  $j$ -ю ступень;  $K_i$  – коэффициент тормозной характеристики на  $i$ -м участке (см. рис. 2).

Значение удельной тормозной силы  $W_T^{PH3}$  можно определить через реализованную одним замедлителем мощность (или выполненную работу) при торможении одного вагона ( $H_T^{PH3}$ )

$$W_{Tj}^{PH3} = \frac{H_{Tj}^{PH3}}{2(l_p + b_m)}, \quad (9)$$

где  $l_p$  – рабочая длина замедлителя;  $b_m$  – база тележки тормозимого вагона.

Величина  $H_T^{PH3}$  известна из справочной литературы, например [4].

### Методика моделирования

Исследование динамики работы системы при различных алгоритмах управления было выполнено на разработанной автором имитационной модели.

В разработанной имитационной модели используется событийный принцип моделирования – процесс торможения вагона представляется как процесс, состоящий из отдельных событий (вход на очередной участок управления). Очевидно, по сравнению с временным принципом моделирования, данный позволит повысить точность результатов и сократить количество выполняемых вычислений.

Как указывалось выше, в алгоритме [2] длины участков, по возможности, выбираются такими, что за время движения по ним вагона, переходные процессы в замедлителях успевают завершиться. При этом последние участки короче первых, т. е. остается возможность выхода вагона из последних участков при неоконченном переходном процессе.

При моделировании работы системы по предложенному алгоритму, после входа на управляемый участок, рассчитывается (определяется) номер следующего управляемого участка (участка до входа на который, переходные процессы замедлителей закончатся). Очередным событием и будет вход на данный участок.

Динамические параметры замедлителя РНЗ (времена запаздывания, установки ступеней торможения и постоянные времени) взяты из [4]. Также согласно [4] процесс нарастания и спада давления в цилиндрах (изменение давления во времени) аппроксимирован экспонентами.

Моделирование производилось при следующих допущениях:

- тормозная характеристика замедлителей – случайная величина, распределенная по нормальному закону (с известными математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением); в пределах одной реализации тормозная характеристика постоянна;

- суммарное удельное сопротивление движению вагона – случайная величина, распределенная по нормальному закону (с известными математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением); в пределах одной реализации сопротивление движению постоянно;

- скорость входа вагона в ТП – случайная величина, распределенная по нормальному закону (с известными математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением).

Общая последовательность моделирования одной реализации следующая.

С помощью датчика псевдослучайных чисел разыгрываются значения случайных величин для данной реализации: тормозной характеристики замедлителей, удельного сопротивления движению вагона, скорости входа вагона в ТП, а также задаются начальные значения номера участка и признака окончания переходных процессов (вагон должен входить в замедлитель, уже установленный на требуемую ступень).

По заранее рассчитанной таблице настройки регулятора (таблица скоростей переключения с одной ступени торможения на другую) и текущей скорости выбирается управляющее воздействие (ступень торможения).

По предыдущему и выбранному управляющему воздействию рассчитывается номер очередного «управляемого» участка.

Моделируется движение вагона по текущему участку (с учетом возможного переключения ступени торможения) и вычисляется скорость выхода вагона с данного участка.

Если текущий участок не последний переход к пункту 2.

Фактическая скорость выхода из ТП (скорость выхода с последнего участка) для данной реализации сохраняется для последующего статистического анализа.

Моделирование работы системы для разных алгоритмов управления производилось при одинаковых исходных данных (тип и вес вагона, набор заданных скоростей выхода из ТП, количество реализаций, количество и расположение датчиков скорости и замедлителей ТП, параметры скорости входа в ТП, параметры суммарного сопротивления движению и тормозной характеристики замедлителей). При моделировании работы предложенного алгоритма, принято  $V_{II} = V_3$ . Результаты моделирования сведены в таблице.

Таблица

**Статистические параметры скорости выхода вагона из замедлителя для различных алгоритмов управления**

$V_3$ , м/с	Существующий алгоритм		Предложенный алгоритм	
	$m_{V_{\text{вых}}}$ , м/с	$\sigma_{V_{\text{вых}}}$ , м/с	$m_{V_{\text{вых}}}$ , м/с	$\sigma_{V_{\text{вых}}}$ , м/с
1,5	1,565	0,193	1,516	0,066
2,0	2,038	0,146	2,015	0,046
2,5	2,519	0,116	2,509	0,034
3,0	3,015	0,097	3,016	0,038
3,5	3,518	0,115	3,523	0,026
4,0	4,030	0,101	4,042	0,139
4,5	4,550	0,088	4,470	0,058

Примечание:  $m_{V_{\text{вых}}}$  – математическое ожидание фактической скорости выхода вагона из ТП;  $\sigma_{V_{\text{вых}}}$  – среднеквадратическое отклонение фактической скорости выхода вагона из ТП.

Среднеквадратическое отклонение скорости выхода вагона из ТП определялось по формуле

$$\sigma_{V_{\text{вых}}} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N V_{\text{вых } n}^2}{N}}, \quad (10)$$

где  $V_{\text{вых } n}$  – фактическая скорость выхода вагона из ТП для  $n$ -й реализации имитационной модели;  $N$  – количество реализаций имитационной модели на ПЭВМ для заданной скорости выхода из ТП.

Из данных таблицы видно, что точность регулирования скорости по предложенному алгоритму гораздо выше, чем по существующему алгоритму [2]. Так,  $\sigma_{V_{\text{вых}}}$  по предложенному алгоритму в среднем в 2,5 раза, а  $(V_3 - m_{V_{\text{вых}}})$  – в среднем в 1,5 раза меньше, чем по алгоритму [2].

По данным [5] такое повышение точности регулирования должно позволить уменьшить затраты, связанные с боем вагонов и ликвидацией окон, ориентировочно в 2 раза.

Кроме того, предложенный в [3] алгоритм является более «стойким» к отказам (сбоям) датчиков скорости. Так, при отказе (сбое) одного датчика скорости число «коротких» участков уменьшится на 4 и составит 15. Таким образом, даже в случае отказов (сбоев) датчиков скорости, система сохраняет работоспособность с незначительным ухудшением точности регулирования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соловьев В. Б. Структурная схема импульсно-релейного регулятора системы APC с линейным законом воспроизведения // Автоматическое управление и вопросы применения вычислительной техники на железнодорожном транспорте: Труды ДИИТа. – Д., 1972. – Вып. 115/2.
2. Жуковицкий И. В. Сравнение алгоритмов работы импульсно – релейного регулятора системы APC // Автоматическое управление и вопросы применения вычислительной техники на железнодорожном транспорте: Труды ДИИТа. – Д., 1976. – Вып. 184/8. – С. 37–41.
3. Божко Н. П. Моделирование работы тормозных позиций на сортировочной горке // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. научн. тр. – Д., 1978. – Вып. 197/12. – С. 73–87.
4. Божко Н. П. Динамические тормозные характеристики весовых и нажимных вагонных замедлителей // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. научн. тр. – Д., 1978. – Вып. 197/12. – С. 87–100.
5. Устенко А. Б. О некоторых направлениях совершенствования подсистемы прицельного торможения АСУ РСГ // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на железнодорожных станциях: Межвуз. сб. научн. тр. – Д., – 1980. – Вып. 211/9. – С. 48–56.

Поступила в редколлегию 19.12.05.



## ЗМІНА ЕКВІВАЛЕНТІВ ПЕРЕРОБКИ ВАГОНІВ ТА ЕКОНОМІЇ ЛОКОМОТИВО- І БРИГАДО-ГОДИН В УМОВАХ РИНКУ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ

Розглядається вплив еквівалентів переробки вагонів та економії локомотиво- та бригадо-годин на розрахунок плану формування поїздів та зміна цих величин в умовах транспортного ринку.

Рассматривается влияние эквивалентов переработки вагонов и экономии локомотиво- и бригадо-часов на расчет плана формирования поездов и изменение этих величин в условиях транспортного рынка.

The article considers influence of the cars overwork equivalents and the saving of the hours-per-locomotive and the hours-per-brigade on calculation of the trains forming plan and the change of these values in conditions of the transport market.

Розрахунок плану формування поїздів значною мірою визначає раціональний розподіл сортувальної роботи з транзитними вагонами на мережі залізниць, тому під час виконання розрахунків важливо користуватися нормативами, що відображають сучасну технологію роботи станцій, їх технічне оснащення та, як наслідок час знаходження вагонів на цих станціях. Нормативи, що використовуються для виконання розрахунків за планом формування, повинні забезпечувати раціональне завантаження станцій, концентрацію переробки, вагонів на найбільш технічно оснащених станціях, збільшення транзитного вагонопотоку без переробки а також скорочення непродуктивної переробки вагонів. Природним наслідком використання таких нормативів під час розрахунку буде скорочення експлуатаційних витрат та збільшення прибутку залізничного транспорту.

Прогресивні нормативи, що використовуються у розрахунках, повинні встановлюватись залежно від схеми колійного розвитку станції, її типу та технічного оснащення, обсягу переробки вагонів на сортувальних гірках або витяжних коліях станції та рівня їх завантаження. Крім того необхідно враховувати середню кількість маневрових локомотивів, що працюють на станції на кожній стадії, тобто локомотивів що зайняті розформуванням та формуванням поїздів як у денну, так і у нічну зміни. Також значний вплив мають довжина та маса составів, що переробляються на станціях, технічне оснащення перегонів, що примикають до них, виду тяги та схеми тягового обслуговування прилеглих ділянок.

У загальному вигляді необхідною умовою вигідності для виділення вагонопотоку  $N$  у окреме одноступеневе призначення плану формування поїздів, згідно з [1] є така

$$NT_{\text{ек}} \geq cm_{\text{енН}}, \quad (1)$$

де  $N$  – середньодобовий вагонопотік, вагони; загальна приведена економія на 1 вагон потоку  $N$  у разі пропуску його без переробки, год.

$$T_{\text{ек}} = t_{\text{ек}} + t_{\text{ек}}^{\text{лок}} + t_{\text{ек}}^{\text{бр}}$$

де  $t_{\text{ек}}, t_{\text{ек}}^{\text{лок}}, t_{\text{ек}}^{\text{бр}}$  – економія часу від пропуску без переробки, відповідно вагоно-годин, локомотиво-годин, бригадо-годин.

Користуючись формулами, за якими розраховуються складові виразу (1), та які наведені у [1] та [2], цей вираз можна розгорнути так

$$N \left[ \sum_{i=1}^{i=K} (t_{\text{ек}} e_{\text{нН}} + e_{\text{пер}}^{\text{зал}} - e_{\text{тр}}^{\text{зал}})_i + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{i=K} (t_{\text{ек}}^{\text{лок}} e_{\text{МН}} + t_{\text{ек}}^{\text{бр}} e_{\text{Мн}})_i \right] \geq cm_{\text{енН}}, \quad (2)$$

де  $K$  – кількість станцій на шляху проходження вагонопотоку, що розглядається;  $t_{\text{ек}}$  – норма економії часу, що припадає на один вагон потоку  $N$ , при проходженні попутної технічної станції в транзитному поїзді без переробки, год;  $e_{\text{нН}}, e_{\text{МН}}, e_{\text{Мн}}$  – одиничні витратні ставки відповідно вагоно-години, локомотиво-години та бригадо-години, грн;  $e_{\text{пер}}^{\text{зал}}, e_{\text{тр}}^{\text{зал}}$  – частки вартості відповідно переробки одного вагона та пропуску одного транзитного вагона без переробки, що залежать від розміру вагонопотоку;  $t_{\text{ек}}^{\text{лок}}, t_{\text{ек}}^{\text{бр}}$  – скорочення простою локомотива та часу роботи бригади при слідуванні з транзитним поїздом у порівнянні з поїздом що надходить у розформування, год;  $C$  – параметр накопичення;  $m$  – величина складу поїзда.

Однак складові цієї формули не відповідають умовам, що склалися на залізничному транспорті, в умовах ринку транспортних послуг.

Наприклад слід зазначити, що як в [1], так і в [2] для усіх напрямків вагонопотоків прийнята однакова витратна ставка вагоно-часу  $e_{nH}$ . У сучасних умовах це не відповідає дійсності. Оскільки все більше розповсюдження набуває використання різних режимів перевезень, таких як прискорена доставка вантажів, перевезення за договірними тарифами або прискорене повернення вагонів власнику, то можуть скластися ситуації за яких в одному струмені будуть вагони з різними строками доставки, та відповідно вагони які перевозяться за різними тарифами (наприклад вагони що перевозяться за підвищеною ставкою для пріоритетного просування цих вагонів). Тому витратна ставка вагоно-часу  $e_{nH}$  повинна враховуватися окремо для кожного струменю вагонопотоку  $N$ .

Виконавши перетворення, нерівність (2) можна привести до такого вигляду

$$N \sum_{i=1}^{i=K} (t_{ek} + r_{\text{л}} + r_{\text{в}}) \geq cm, \quad (3)$$

де  $r_{\text{л}}$  – еквівалент економії ломотиво- та бригадо-годин, тобто приведена до вартості вагоно-години економія від скорочення простою локомотива та часу роботи бригади під час ліквідації на станції перечепки локомотива від одного поїзда до іншого, в зв'язку з виділенням в окреме призначення вагонопотоку  $N$ ;  $r_{\text{в}}$  – еквівалент переробки вагонів (приведена до вартості вагоно-години економія від скорочення переробки одного вагона).

Якщо подивитись на формули (1) та (3), можна зробити висновок, що у формулі (3) сума  $(t_{ek} + r_{\text{л}} + r_{\text{в}})$  дорівнює економії часу  $T_{ek}$  що припадає на один вагон потоку  $N$ , при проходженні попутної технічної станції в складі транзитного поїзда без переробки в годинах.

Як видно з формули (3) еквівалент економії локомотиво- та бригадо-годин та еквівалент переробки вагонів мають велике, якщо не вирішальне значення при розрахунку необхідної умови виділення вагонопотоку  $N$  в окреме призначення плану формування поїздів.

Еквівалент переробки вагонів, приведених вагоно-годин, характеризує скорочення витрат на утримання постійних пристроїв та виконання операцій з поїздами та вагонами. Він залежить від типу станції (одно- або двостороння, сортувальна, дільнична чи вантажна), розташування в

ній парків та типу сортувальних пристроїв. Згідно з [1] він розраховується за формулою

$$r_{\text{в}} = \frac{e_{\text{пер}}^{\text{зал}} + e_{\text{тр}}^{\text{зал}}}{e_{nH}}, \quad (4)$$

де  $e_{\text{пер}}^{\text{зал}}$  – залежна від розміру вагонопотоку доля вартості переробки одного вагона, яка визначається за формулою

$$e_{\text{пер}}^{\text{зал}} = \frac{E_{\text{пер}}^{\text{зал}}}{N_{\text{пер}}},$$

де  $E_{\text{пер}}^{\text{зал}}$  – сума залежних від розміру вагонопотоку станційних витрат на переробку вагонів, грн;  $N_{\text{пер}}$  – кількість транзитних вагонів, що переробляється станцією;  $e_{\text{тр}}^{\text{зал}}$  – залежна від розміру вагонопотоку доля вартості пропуску одного транзитного вагона без переробки,

$$e_{\text{тр}}^{\text{зал}} = \frac{E_{\text{тр}}^{\text{зал}}}{N_{\text{тр}}},$$

де  $E_{\text{тр}}^{\text{зал}}$  – сума залежних від розміру вагонопотоку станційних витрат на пропуск транзитних вагонів без переробки;  $N_{\text{тр}}$  – кількість транзитних вагонів, що проходять станцію без переробки.

Значення  $E_{\text{пер}}^{\text{зал}}, E_{\text{тр}}^{\text{зал}}, N_{\text{пер}}, N_{\text{тр}}$  приймають за один і той же період часу – місяць, квартал або рік. Методика їх визначення викладена в [1; 2].

Порядок визначення вищезазначеного нормативу, розроблений багато років тому, та призначений для розрахунку плану формування поїздів виходячи з критерію оптимальності, який виражався в приведених вагоно-годинах. В умовах ринку транспортних послуг більш доцільно використовувати замість приведених вагоно-годин безпосередньо вартість, пов'язану з організацією вагонопотоків у гривнях. Тому еквівалент переробки вагонів можна навести у вигляді норми економії витрат на маневрову роботу:

$$r_{\text{в}} = \frac{E}{n}, \quad (5)$$

де  $E$  – витрати на маневрову роботу, які включають в себе витрати окремо станції та локомотивного депо;  $n$  – кількість вагонів в струмені вагонопотоку.

Цей варіант заміни еквівалента переробки вагонів вартісним показником може наблизити значення цього еквівалента до реальних витрат, пов'язаних з переробкою вагонів на станціях.

Еквівалент економії локомотиво- та бригадо-годин або економія від перепечки поїзних локомотивів відображає скорочення витрат локомотиво- та бригадо-годин при пропуску вагонопотоків в транзитних поїздах, що проходять через сортувальні та дільничні станції, які розташовані всередині подовжених ділянок обороту. Ця економія згідно з [2] розраховується за формулою

$$r_{\text{л}} = \frac{\Delta t_{\text{тр.л}} e_{\text{MH}} + \Delta t_{\text{ек.бр}} e_{\text{Mh}}}{m e_{\text{нH}}}, \quad (6)$$

де  $\Delta t_{\text{ек.л}}, \Delta t_{\text{ек.бр}}$  – скорочення часу знаходження локомотивів та тривалість роботи бригад при проходженні з транзитними поїздами у порівнянні з поїздами, що надходять у розборку;  $e_{\text{MH}}, e_{\text{Mh}}$  – вартість відповідно 1 год простою локомотива без бригади та 1 бригадо-години локомотивної бригади, грн;  $m$  – склад поїзда, вагонів;  $e_{\text{нH}}$  – витратна ставка вартості 1 вагоно-години з врахуванням капіталовкладень, грн.

Цей еквівалент залежить від технічного оснащення ліній, що примикають до станції (кількості головних колій, пристроїв СЦБ та зв'язку), типа станції, кількості пасажирських поїздів, розмірів вантажного руху (загального вагонопотоку), частки вагонопотоку, що переробляється, типа локомотива, довжини складу поїзда та розташування приймально-відправних колій. У сучасних умовах роль цих еквівалентів під час розрахунку плану формування поїздів значно зменшена, а частіше за все вони просто не враховуються.

Еквіваленти, якими користуються у теперешній час, були встановлені на базі даних про перегони та ділянки, а також спираючись на паспорти станцій, які були складені вже більше 10 років тому. Через це ці розрахунки не відповідають реальним умовам, які склалися на залізниці, особливо в умовах, коли обсяги перевезень значно зменшилися. Наслідком цього зменшення стало скорочення кількості маневрових локомотивів, що працюють на станціях, зменшення кількості маневрових районів, зниження класності станцій або навіть закриття деяких з них.

Через ці зміни безперечно буде значне відхилення нових показників вищезазначених еквівалентів від тих, що використовувалися за часів більших обсягів перевезень.

Також необхідно враховувати вплив на ці нормативи умов сучасного транспортного ринку. Як вже було зазначено, зараз все частіше має місце перевезення по договірних тарифах або по умовних підвищених тарифах. З наведених вище формул видно, що ці еквіваленти мають у своїй складовій витрати залежні та незалежні від обсягу переробки вагонів. Перевезення, які здійснюються за нестандартними тарифами, звичайно будуть змінювати залежну частину витрат як в більшу (договірні та підвищені тарифи), так і в меншу (пільгові тарифи), що в свою чергу буде впливати і на розмір еквівалента.

Отже, з всього вищенаведеного можна зробити такі висновки: нормативи, на базі яких виконується розрахунок плану формування поїздів застарілі та не відображають картини, що склалася на мережі залізниць. Необхідно виконати перерахунок еквівалентів переробки вагонів та економії від перепечки поїзних локомотивів з урахуванням змін, які сталися у схемах станцій, кількості локомотивів та в технічному оснащенні перегонів під час спаду обсягів перевезень. Також потрібно враховувати вплив, який має на розмір залежних від обсягів перевезень витрат сучасна тарифна політика, тобто перевезення окремих груп вагонів та вантажів за договірними тарифами та, в окремих випадках за підвищену плату.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України. – К., 2005. – 99 с.
2. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР. – М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
3. Архангельский Е. В. Нормативы расчета оптимального плана формирования однопутных поездов из груженых вагонов // Вестник ВНИИЖТ, 2/99.

Надійшла до редколегії 22.05.2006.

## ЕЛЕМЕНТИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПЛАНУ ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ

На підставі досліджень існуючих методик розрахунку плану формування поїздів, пропонується створення нової методики розрахунку плану формування одногрупних наскрізних поїздів на полігоні виділених станцій дороги, а також оптимальної організації вагонопотоків у межах районів місцевої роботи, обмежених виділеними станціями.

На основании исследований существующих методик расчета плана формирования поездов, предлагается создание новой методики расчета плана формирования одногруппных сквозных поездов на полигоне выделенных станций дороги, а также оптимальной организации вагонопотоков в пределах районов местной работы, ограниченных выделенными станциями.

Basing on the studies of existing methods of train formation plans calculation, the authors have proposed creating a new method of calculating the plan of forming the single-group through trains within the section of pre-determined railway stations, and also of optimal carflow organization within the local operational limits between the pre-determined stations.

З багатьох задач вдосконалення перевізного процесу на залізничному транспорті найважливішим у даний час є розрахунок плану формування поїздів. Оптимальність останнього дозволить зменшити обсяг переробки вагонів, прискорити їх оборот, що набуває великого значення у зв'язку з переходом залізниць до ринкових відносин.

У сучасних умовах на мережі залізниць можна визначити не тільки регулярні поїздопотоки, але й враховувати їх нерівномірність по періодах часу (доба, декада, місяць, квартал, рік). Практично безперервний потік даних про кожен вагон, що скоплюється в пунктах формування, створює передумови для відміни або введення тих або інших призначень поїздів залежно від розмірів вагонопотоку.

Практика розрахунку плану формування наскрізних і дільничних поїздів показує, що одержані варіанти організації вагонопотоків, як правило, не можуть бути використані без корегування розподілу сортувальної роботи між станціями, яке виконується експертним методом працівниками залізниць. Слід також врахувати, що зміна плану формування на одній сортувальній станції викликає зміну його на інших станціях. Це визначає велику складність експертного корегування плану формування і не дозволяє оптимально розподілити сортувальну роботу між станціями.

Відсутність на полігоні залізниці достатнього для реалізації оптимального варіанта плану формування поїздів, призводить до додаткових переробок вагонів на технічних станціях і затримок поїздів на підходах.

Винятково важливого значення набувають питання єдиного інформаційного забезпечення для всього комплексу задач, пов'язаних з організацією вагонопотоків на всіх рівнях і технічному нормуванні експлуатаційної роботи.

Завдяки введенню в дію передових засобів обчислювальної техніки і комунікацій з'явилася можливість максимально деталізувати кореспонденції внутрішньодорожніх вагонопотоків і звести їх до симетричної матриці постанційних кореспонденцій, базовим елементом якої є будь-яка станція залізниці, що має код ЄСР і відкрита для вантажних операцій. Також з'явилася можливість щодоби одержувати звітні кореспонденції вагонопотоків і на основі їхньої ретроспекції скласти прогноз надходження вагонів на станції залізниці.

Вищенаведені чинники дозволяють вдосконалити існуючі методики розрахунку плану формування поїздів на полігоні обраних станцій залізниці, а також оптимізувати вагонопотоки в межах районів місцевої роботи, які обмежені обраними станціями, на першому етапі розрахунку.

До обраних станцій на полігоні залізниці на першому етапі розрахунків рекомендується [1] включати: сортувальні; дільничні; великі вантажні; стикові пункти з іншими залізницями; найближчі сортувальні та вузлові дільничні станції, які належать суміжним залізницям. Кількість обраних станцій залежить від структури мережі залізниці. Ця кількість може приймати значення 20...100 станцій.

92

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАЗОГРЕВА ГРУЗОВ В КОНВЕКТИВНЫХ ГАРАЖАХ РАЗМОРАЖИВАНИЯ

Розглянуто процес розігрівання мерзлого вантажу. Розроблена методика визначення тривалості розігрівання залежно від величини мерзлого шару.

Рассмотрен процесс разогрева смерзшегося груза. Разработана методика определения продолжительности разогрева в зависимости от величины смерзшегося слоя.

The process of warming-up of a frozen load has been considered. A method is developed to determine duration of the warming-up process depending on the size of the frozen layer.

В зимний период при смерзании сырья, прибывающего в адрес аглофабрики, возникает необходимость включения в технологическую схему работы грузовой станции гаражей размораживания, что существенно осложняет работу станции и обуславливает значительное (в 2,5...3 раза) увеличение продолжительности обработки вагонов с сырьем [1–3].

Важным фактором совершенствования процесса обработки вагонов в зимний период является синхронизация работы станции и гаражей размораживания по их перерабатывающим возможностям. Однако для этого необходимо иметь достаточно надежную методику определения продолжительности разогрева груза, как основного фактора, определяющего перерабатывающую способность гаражей размораживания.

Согласно существующей технологии продолжительность разогрева груза определяется по нормативным данным, установленным с учетом температуры окружающей среды и продолжительности нахождения вагонов с грузом в пути следования. Проведенный сопоставительный анализ нормативной и фактической продолжительности разогрева показал существенные расхождения этих величин. Только в 25 % случаев нормативная и фактическая продолжительность разогрева совпадают, в 63 % случаев расхождение составляет 1...6 часов, а в 12 % случаев расхождение 6 часов и более.

Это обусловлено тем, что при установлении нормативов принимались усредненные данные не соответствующие конкретным условиям эксплуатации. Поэтому возникает необходимость определения продолжительности разогрева применительно к конкретным эксплуатационным условиям промышленных предприятий.

Из вышесказанного следует, что традиционный метод не дает возможности точно определить перерабатывающую способность гаражей размораживания и оптимально планиро-

вать оперативную работу грузовой станции в зимний период.

Анализ отечественных и зарубежных источников показал, что известны способы размораживания сырья в железнодорожных вагонах, в гаражах с конвективным теплообменом, в которых используются различные методы определения продолжительности его разогрева [4–7].

В [4] определение продолжительности разогрева угля в железнодорожных вагонах основывается на следующих факторах: среднесуточная температура воздуха ( $t$  °C), продолжительность транспортирования ( $T$ ), прочность смерзания груза ( $P_{\text{ср}}$ ), влажность груза ( $W$ ) и объемная плотность груза ( $K$ ).

В [5] продолжительность разогрева угля в железнодорожных вагонах основывается на температуре наружного воздуха ( $t_{\text{нв}}$  °).

Известен способ разогрева рудосодержащего сырья в железнодорожном вагоне струями пара с большой скоростью истечения [6]. Для этого предварительно просверливаются каналы вглубь массива, а продолжительность разогрева основывается на следующих показателях: диаметр отверстия сопла ( $d$ ) и давление пара ( $P$ ) на различной глубине ( $h$ ) промерзшего слоя.

Проведенный анализ [4–6] показал, что все рассмотренные способы характеризуются общим недостатком: расчетные показатели продолжительности разогрева смерзшегося груза существенно отличаются от фактических результатов.

Это обусловлено тем, что, в одном случае, [4; 5] способы основываются на сложных математических моделях прогнозирования продолжительности разогрева, принимающих в основу большое число переменных факторов, значительно различающихся по физической сущности и степени влияния на конечный результат. Поэтому вероятность получения надежных результатов невелика.

В другом случае [6] способ определения продолжительности разогрева ориентирован на наиболее неблагоприятные условия, в связи с чем расчетная продолжительность разогрева груза существенно увеличивается по сравнению с нормативной, действующей в настоящее время, что обуславливает значительный рост энергозатрат на разогрев.

Известен способ разогрева смерзшихся углей в железнодорожных вагонах, в котором продолжительность разогрева основана на определении температуры в самом слое угля специальными устройствами [7]. С этой целью необходимо выполнение нескольких замеров температуры груза – перед постановкой в гараж и в процессе разогрева, поскольку температура в массе груза распределена неравномерно. Кроме того, для измерения температуры используется достаточно сложное устройство. Все указанное усложняет применение данного способа и не обеспечивает получение досто-

верных результатов. Вместе с тем данный способ привлекает тем, что предварительно оценивается состояние самого смерзшегося груза, хотя температуру груза нельзя считать достаточно надежным показателем восстановления сыпучести груза.

На основании вышеизложенного возникает необходимость в разработке способа определения продолжительности разогрева смерзшегося груза. При этом весьма важным фактором становится оценка состояния груза перед постановкой в гаражи размораживания. Указанное может быть реализовано за счет введения входного контроля состояния груза перед постановкой в гаражи размораживания (рис. 1). Следовательно, в первую очередь, необходимо выбрать такой показатель, который в полной мере учитывал бы основные влияющие факторы, характеризовал степень смерзания груза и позволял достаточно точно определять продолжительность разогрева.



Рис. 1. Организация обработки вагонов со смерзшимся грузом перед подачей на вагоноопрокидыватель

Анализ показал, что теоретический путь решения поставленной задачи является весьма сложным. Поэтому в основу ее решения принимается экспериментальный метод с использованием методологии планирования эксперимента. Для изучения факторов, влияющих на продолжительность разогрева смерзшегося железорудного концентрата и аглоруды, наиболее целесообразно применение статистических методов планирования, которые значительно повышают эффективность экспериментальных исследований и позволяют при минимальном числе опытов получить экспериментально статистическую модель [8–11].

В качестве выходного параметра принята – продолжительность разогрева, ч. Входные факторы:  $x_1$  – время в пути, ч;  $x_2$  – температура окружающей среды, °C;  $x_3$  – влажность груза, %. При этом в качестве верхнего и нижнего уровней принято: время в пути – 30...60 часов; температура окружающей среды – –2...–20 °C; влажность груза – 3...5 %, а общее количество опытов определялось исходя из количества факторов и количества уровней.

Основной объем разогрева смерзшегося груза приходится на железорудный концентрат и аглоруду. Так как эти грузы различаются между собой по физико-механическим свойствам, фракции и влажности, то экспериментальные исследования проведены отдельно для каждого груза.

При многофакторном эксперименте реализуются все возможные сочетания уровней факторов. Общее количество опытов  $N$  в матрице планирования определяется по выражению:

$$N = 2^k, \quad (1)$$

где  $k$  – число факторов; 2 – число уровней.

Условия проведения эксперимента заданы в виде матрицы планирования, в которой указано число опытов, которое необходимо выполнить, и значение факторов в каждом опыте, причем каждый фактор варьируется на двух уровнях +1 и –1 (для простоты записи единицы опустим).

Опыты реализуются в случайной последовательности, устанавливаемой с помощью таблицы случайных чисел. Условия проведения эксперимента и результаты опытов представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Планирование эксперимента  
при изучении факторов влияющих  
на продолжительность разогрева смерзшегося  
железородного концентрата и аглоруды**

Изучаемые факторы	Время в пути, ч	Температура окружающей среды	Влажность груза	Результаты опытов	
Основной уровень (0)	45	–10	7	$t, \text{ч}$	
Верхний уровень (+)	60	–2	3		
Нижний уровень (–)	30	–20	11		
Интервал варьирования	15	–11	4		
Кодовое обозначение	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y_{\text{т}}^{\text{конц}}$	$y_{\text{т}}^{\text{руда}}$
Опыт № 1 (7)	–	–	–	9	7
Опыт № 2 (3)	+	–	–	10	9
Опыт № 3 (1)	–	+	–	2	1
Опыт № 4 (2)	+	+	–	2	2
Опыт № 5 (8)	–	–	+	10	8
Опыт № 6 (4)	+	–	+	11	10
Опыт № 7 (6)	–	+	+	2	2
Опыт № 8 (5)	+	+	+	3	2
Опыт № 9	0	0	0	6	6
Опыт № 10	0	0	0	4	6
Опыт № 11	0	0	0	5	4

На первом этапе планирования эксперимента для предсказания направления градиента, т. е. направления, в котором величина выходного параметра оптимизации улучшается быстрее, чем в любом другом направлении, используется алгебраический полином первой степени – линейная модель.

Такая модель позволяет избежать полного перебора состояний объекта и тем самым уменьшить количество опытов, необходимых для отыскания оптимума. При этом нужно получить адекватную модель.

Поверхность отклика описана уравнением:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (2)$$

Правильность расчета коэффициентов проверяется путем введения в уравнение (2) их числовых значений вместо  $b_i$ , а вместо  $x_i$  – соответствующих знаков из какой-либо строки матрицы планирования. При этом значение выходного параметра, подсчитанное по уравнению, должно соответствовать его экспериментальной величине.

Значимость коэффициентов определяется путем сравнения их абсолютной величины с доверительными интервалами [11]. Результаты расчетов коэффициентов регрессии и доверительных интервалов приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты расчетов коэффициентов регрессии и доверительных интервалов**

Род груза	Доверительный интервал, $ b_i $	Коэффициенты регрессии							
		$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{123}$
Концентрат	0,812	6,13	0,38	–3,88	–0,38	0,13	0,13	–0,13	0,13
Руда	0,938	5,13	0,63	–3,38	0,38	–0,38	–0,13	–0,13	–0,13

Анализ результатов расчета коэффициентов регрессии и доверительных интервалов показал, что как для железородного концентрата, так и для аглоруды значимыми оказались коэффициенты регрессии  $b_0$  и  $b_2$ , следовательно, продолжительность разогрева железородного концентрата  $y_{\text{т}}^{\text{конц}}$  и аглоруды  $y_{\text{т}}^{\text{руда}}$  связана с температурой окружающей среды  $x_2$  следующими уравнениями:

$$y_{\text{т}}^{\text{конц}} = 6,13 - 3,9 \cdot x_2, \quad (3)$$

$$y_{\text{т}}^{\text{руда}} = 5,13 - 3,4 \cdot x_2. \quad (4)$$

Причем в данных формулах значение положительной температуры не может быть использовано, исключение составляет температура  $+1 \dots +1,5$  °С при условии, что груз на основной части маршрута следовал при температуре ниже 0 °С. Из уравнений (3) и (4) видно, что с повышением температуры сокращается продолжительность разогрева железородного концентрата и аглоруды.

После вычисления коэффициентов и проверки их значимости, проверяется адекватность уравнений регрессии, т. е. устанавливается, достаточно ли хорошо данное уравнение описывает поверхность отклика или необходима другая модель.



Адекватность уравнений регрессии проверена с использованием  $F$  – критерия Фишера:

- для железорудного концентрата

$$F_{\text{расч}} = 2,87; F_{\text{табл}} = 19,33;$$

- для аглоруды

$$F_{\text{расч}} = 2,13; F_{\text{табл}} = 19,33.$$

Так как условие  $F_{\text{расч}} \leq F_{\text{табл}}$  выполняется, следовательно, уравнения (3) и (4) адекватно описывают исследованные области факторного пространства.

Согласно уравнениям регрессии (3) и (4) в практических условиях была определена продолжительность разогрева груза, т. е. с учетом температуры окружающей среды. Проведенный сопоставительный анализ продолжительности разогрева, рассчитанной по уравнениям регрессии (3) и (4) и фактической продолжительности разогрева показал существенные расхождения этих величин. Только в 19 % случаев фактическая продолжительность разогрева и рассчитанная по уравнениям регрессии (3) и (4) совпадают, в 67 % случаев расхождение составляет 1...6 часов, а в 14 % случаев расхождение 6 часов и более.

Такое расхождение обусловлено тем, что температура окружающей среды значительно колеблется в пункте погрузки, по маршруту следования груза и в пункте выгрузки. Так, при движении маршрутов концентрата и руды со

Стойленского месторождения в Мариуполь средняя температура по 40 маршрутам составляла в пункте погрузки  $-22...18$  °С, по маршруту следования груза  $-16...12$  °С, а в пункте выгрузки  $-10...8$  °С. Кроме того в пункте выгрузки в связи с перешихтовкой аглофабрики маршруты с концентратом и рудой могут простаивать до 80 часов и более, в течение которых температура тоже изменяется как в сторону снижения, так и в сторону повышения, что в итоге осложняет определение точного времени разогрева груза.

Таким образом, экспериментальными исследованиями установлено, что определение продолжительности разогрева на основании температуры окружающей среды практически не может быть использовано. Проведенные исследования ставят новую задачу нахождения оценочного показателя для определения продолжительности разогрева, который учитывал бы совокупное влияние нескольких факторов.

На основе оценки совокупного влияния факторов интегративным показателем, влияющим на продолжительность разогрева, принимается прочность смерзания. Из вышеизложенного следует, что обязательной операцией перед постановкой подачи в гаражи размораживания является входной контроль прочности смерзания груза (рис. 2). Под прочностью понимается сопротивление материала (сырья) местной пластической деформации, возникающей при внедрении в него более твердого тела – индентора.

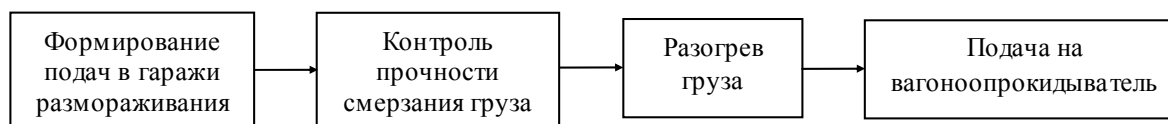


Рис. 2. Технологическая последовательность обработки вагонов внешнего парка в зимний период на этапе разогрева

Следовательно, смерзшееся сырье может быть представлено материалом различной прочности, а продолжительность размораживания ( $t_p$ ) может определяться прямым расчетом по величине показателя прочности ( $h_n$ ) в соответствии с функциональной зависимостью

$$t_p = f(h_n). \quad (5)$$

Такая функциональная зависимость требует сбора и обработки большого объема статистических данных, которые были получены на основании комплексных экспериментальных исследований, проведенных на станции Рудная ММК им. Ильича в зимний период 2005–2006 гг.

Исследовались вагоны с железорудным концентратом и аглорудой, прибывшие от различных поставщиков, при температуре  $-1...-20$  °С с различной продолжительностью транспортирования.

При проведении исследований величина ( $h_n$ ) измерялась металлическим стержнем с масштабной разметкой (в сантиметрах) при движении вагонов. Необходимое число опытов определяется по известному методу [9].

Для определения числа опытов по расчету продолжительности разогрева железорудного концентрата было произведено 4 предварительных опыта, которые дали следующие результаты – при вхождении измерительного

стержня на 10 см в смерзшийся железорудный концентрат, вагоны размораживали 6, 7, 6, 6 часов соответственно. При этом  $a_{cp} = 6,25$ ;  $\sigma^2 = 0,25$ ;  $\varepsilon = 0,13$ .

Расчет необходимого количества опытов показал, что для обеспечения достоверности и обоснованности результатов необходимо произвести 26 опытов. Кроме того, было определено минимальное количество вагонов в каждом эксперименте, на которых необходимо проводить измерения глубины слоя смерзшегося груза и продолжительности разогрева.

Для установления количества вагонов задавались надежностью  $H = 0,95$  и ошибкой  $\Delta$ , взятой в долях стандарта  $\sigma$ : при ошибке  $\pm 0,5\sigma$  необходимо 18 измерений. Перед подачей на

разогрев состав делится на 2–3 части, т. к. вместимость секции гаражей размораживания составляет 22 вагона. Поэтому в каждом эксперименте производили 22 измерения.

Для каждой группы вагонов вычисляли среднее значение величины слоя смерзшегося груза, что обеспечило достоверность результатов [8]. Результаты экспериментальных исследований по железорудному концентрату приведены в табл. 3.

Аналогично были произведено 4 предварительных опыта по аглоруде, которые дали следующие результаты: при вхождении измерительного стержня на 20 см в смерзшуюся аглоруду, вагоны размораживали 4, 4, 3, 5, 4 часов соответственно. При этом  $a_{cp} = 3,87$ ;  $\sigma^2 = 0,06$ ;  $\varepsilon = 0,19$ .

Таблица 3

**Продолжительность разогрева в зависимости от глубины вхождения измерительного стержня в смерзшийся железорудный концентрат**

№ группы вагонов	Температура окружающей среды, °С	Время в пути с учетом простоя в ПОП, ч	Глубина вхождения изм. стержня, см	Время разогрева, ч	№ группы вагонов	Температура окружающей среды, °С	Время в пути с учетом простоя в ПОП, ч	Глубина вхождения изм. стержня, см	Время разогрева, ч
1	–18	103,0	1,7	12	14	–4	28,95	8,0	5
2	–15	39,9	2,1	9	15	–5	35,40	19,0	2
3	–6	23,9	22,0	3	16	–1	29,50	23,0	2
4	–4	63,4	7,6	4	17	–2	28,50	47,0	1
5	–2	30,2	8,2	6	18	–5	31,95	40,0	2
6	–5	52,6	11,2	4	19	–4	29,4	25,0	4
7	–3	41,5	50,0	2	20	–4	42,9	35,0	4
8	–3	24,6	15,0	3	21	–16	26,9	9,0	6
9	–15	25,6	4,0	6	22	–12	36,6	3,0	7
10	–20	27,5	2,0	11	23	–20	26,3	1,0	21
11	–7	35,0	5,0	10	24	–5	29	7,8	6
12	–12	32,0	4,0	4	25	–3	26	45,0	1
13	–2	28,0	48,0	1	26	–5	30,1	43,0	2

Расчет необходимого количества опытов показал, что для обеспечения достоверности и обоснованности результатов необходимо произвести 17 опытов. Результаты экспериментальных исследований по аглоруде приведены в табл. 4.

Для установления функциональной зависимости  $t_p = f(h_n)$  использован метод наименьших квадратов. По результатам математической обработки статистических данных функция  $f(h_n)$  представлена в виде гиперболы, которая описывается следующей формулой (час.)

$$t_p = a/h_n + b, \quad (6)$$

где  $a$  – коэффициент, характеризующий род груза и температурный режим разогрева;  $b$  – коэффициент, характеризующий климатические условия.

Коэффициенты  $a$  и  $b$  определяются из системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} b \cdot n + a_1 \sum_{j=1}^n \frac{1}{h_j} &= \sum_{j=1}^n t_j; \\ b \cdot \sum_{j=1}^n \frac{1}{h_j} + a \sum_{j=1}^n \frac{1}{h_j^2} &= \sum_{j=1}^n \frac{t_j}{h_j}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Решение системы уравнений относительно неизвестных коэффициентов  $a$  и  $b$  – позволили найти искомую гиперболу. Для определения

коэффициентов формулы (6) были рассчитаны параметры уравнений и решена система (7) относительно неизвестных  $a$  и  $b$ .

Таблица 4

**Продолжительность разогрева в зависимости от глубины вхождения измерительного стержня в смерзшуюся аглоруду**

№ группы вагонов	Температура окружающей среды, °С	Время в пути с учетом простоя в ПОП, ч	Глубина вхождения изм. стержня, см	Время разогрева, ч	№ группы вагонов	Температура окружающей среды, °С	Время в пути с учетом простоя в ПОП, ч	Глубина вхождения изм. стержня, см	Время разогрева, ч
1	–3	30,1	50,0	2,0	10	–4	23,2	60	2
2	–5	44,0	40,0	3,0	11	–4	30,3	40	3
3	–5	56,4	2,9	10,2	12	–16	26,5	12	4
4	–5	28,3	17,0	4,0	13	–15	27,3	7	6
5	–7	23,5	47,0	2,0	14	–12	28,3	35	4
6	–4	24,0	55,0	1,0	15	–20	22,5	30	5
7	–5	26,5	45,0	3,0	16	–5	27,5	12	8
8	–7	30,0	13,0	10,0	17	–3	22,0	60	1
9	–4	29,3	31,25	3,5	–	–	–	–	–

В итоге получены формулы для определения продолжительности разогрева в зависимости от глубины вхождения измерительного стержня в смерзшийся груз (для диапазона изменения  $h_{\text{п}}$  1...60 см):

- для железорудного концентрата

$$t_p = 18,11/h_{\text{п}} + 2,05, \quad (8)$$

- для аглоруды

$$t_p = 26,43/h_{\text{п}} + 2,59, \quad (9)$$

где  $h_{\text{п}}$  – глубина вхождения измерительного стержня в смерзшийся груз, см.

Соответствующие им графики функциональной зависимости  $t_p = f(h_{\text{п}})$  представлены на рис. 3. На основе теоретических и фактических значений найдено их корреляционное отношение:

- для железорудного концентрата  $\eta = 0,927$  (гарантийные границы  $0,889 \leq \eta \leq 0,981$ ),
- для аглоруды  $\eta = 0,937$  (гарантийные границы  $0,897 \leq \eta \leq 0,979$ ).

Полученные формулы позволяют рассчитывать продолжительность разогрева груза для климатических условий Приазовья.

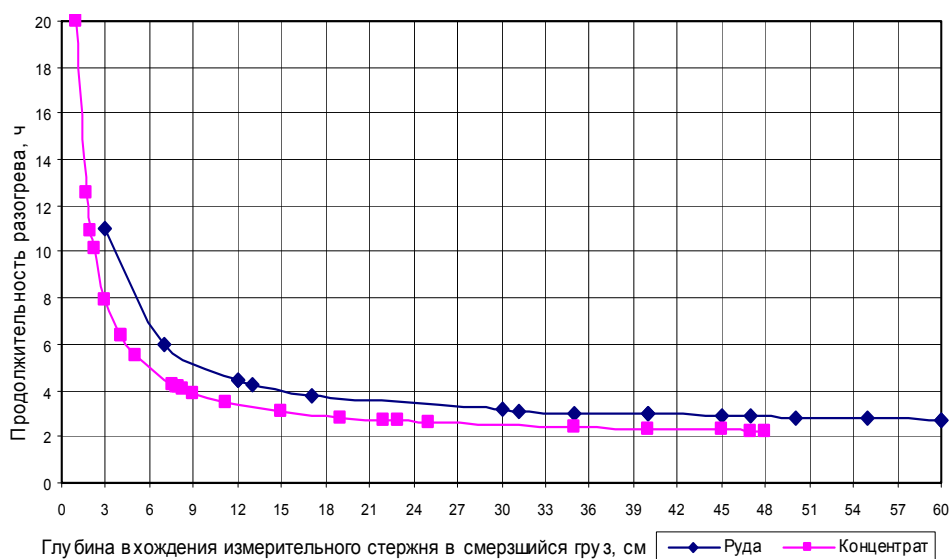


Рис. 3. Теоретические зависимости продолжительности разогрева от глубины вхождения измерительного стержня в смерзшийся груз

Контрольные проверки предложенных формул были проведены в январе 2006 года и показали сходимость на уровне 0,95, что подтверждает правомерность и целесообразность их практического использования. Наличие методики позволяет уточнить расчеты перерабатывающей способности гаражей размораживания.

### Выводы

Проведенные исследования позволили разработать методику определения продолжительности разогрева груза в зависимости от глубины вхождения измерительного стержня в смерзшийся груз для конкретных условий Приазовья. Контрольная проверка показала достаточно высокую надежность ее применения.

Полученная методика рекомендуется для производственного использования и позволяет уточнить расчеты перерабатывающей способности гаражей размораживания.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Парунакян В. Э. Исследование процесса обработки вагонопотока с сырьем грузовой станции металлургического завода в переходные периоды. // Вестник ПГТУ: Сб. науч. тр. – Мариуполь, 2001. – Вып. 11. – С. 353.
2. Парунакян В. Э. Совершенствование процесса приема и обработки вагонопотока с сырьем грузовой станции металлургического завода в зимний период / В. Э. Парунакян, В. Г. Дженчако //

Вестник ПГТУ: Сб. науч. тр. – Мариуполь, 2003. – Вып. 13. – С. 355

3. Парунакян В. Э. Методика определения продолжительности разогрева грузов в конвективных гаражах размораживания // В.Э. Парунакян, В. Г. Дженчако // Вестник ПГТУ: Сб. науч. тр. – Мариуполь, 2004. – Вып. 14. – 367 с.
4. Виноградов В. К. Комбинированное воздействие на смерзшийся груз / В. К. Виноградов, Э. П. Северинова // Промышленный транспорт, – 1981. – № 2. – С. 9.
5. Михайлов Н. М. Комбинированный способ разогрева смерзшегося угля / Н. М. Михайлов, П. Я. Кузнецов // Промышленный транспорт. – 1980. – № 2. – С. 23–26.
6. Ялоха-Коха Х. Исследование способов размораживания и предупреждения смерзаемости сыпучих грузов в ПНР // Промышленный транспорт, – 1972. – № 9. – С. 14–15.
7. Наумов С. С. Углеразмораживающий гараж / С. С. Наумов, Г. Г. Наумов // Промышленный транспорт. – 1974. – № 2. – С. 12.
8. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. – М.: Колос, 1983. – 196 с.
9. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента. – М.: Металлургия, 1969. – 158 с.
10. Налимов В. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
11. Ч. Хикс. Основные принципы планирования эксперимента. – М.: Мир, 1967. – 217 с.

Поступила в редколлегию 22.05.2006.

## ПРОБЛЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТА УКРАИНЫ

Розглядаються економічні та правові аспекти взаємодії залізничного та морського транспорту. Пропонуються заходи щодо підвищення економічної ефективності залізничних перевезень.

Рассматриваются экономические и правовые аспекты взаимодействия железнодорожного и морского транспорта. Предлагаются мероприятия по повышению экономической эффективности железнодорожных перевозок.

In the paper the economic and legal aspects of interaction between railway and sea transport modes are considered. The measures for improving the economic efficiency of combined transportation are proposed.

В начале административной реформы в области управления транспортным комплексом Украины под контролем Министерства транспорта Украины как единого органа исполнительной власти функций государственного регулирования и контроля за деятельностью всех видов транспорта создаются предпосылки для успешного решения задач по ускорению товародвижения через украинские морские и речные порты, созданию равноконкурентных условий для различных участников перевозочно-го процесса в смешанном железнодорожно-водном сообщении, в эффективной координации их деятельности и повышению взаимной экономической ответственности.

В настоящее время из-за несогласованности подвода судов под погрузку или недостаточных перерабатывающих способностей отдельных портов, а также по другим причинам железнодорожные подходы к ним занимают большим количеством «брошенных» поездов, что приводит к «омертвлению» товарной массы, замедлению оборачиваемости капитала, а также к непроизводительному увеличению расходов Украинизации. Таким образом, решение проблемы скоординированной работы портов, морских перевозчиков, железных дорог имеет большое государственное значение. Решение этой проблемы позволит значительно ускорить товародвижение, снизить стоимость товарной массы на «колесах», повысить привлекательность международных транспортных коридоров, проходящих по территории Украины, ускорить ее интеграцию в Евроазиатскую транспортную систему [1].

В сложившихся условиях именно Минтранс Украины призван устранить межотраслевые барьеры и возглавить деятельность по регулированию и синхронизации работы морских и речных портов, судоходных компаний и железнодорожных перевозчиков, созданию

благоприятных экономических условий для развития единой транспортной системы Украины на основе минимизации совокупных издержек представителей всех видов транспорта без ущемления интересов украинских предприятий и предприятий – участников внешнеэкономической деятельности.

Переключение части экспортно-импортных грузопотоков с погранпереходов на украинские порты, вызванное первым этапом унификации тарифов в 1999 г., создало экономически благоприятные условия для развития отечественного портового комплекса. По истечении трех лет с момента первого этапа унификации можно констатировать, что преференции, оказанные украинским портам, обеспечили достижение поставленной цели – роста перерабатывающей способности украинских портов и объемов перевозок в смешанном железнодорожно-водном сообщении. Вместе с тем надо признать, что в течение этого периода времени наблюдалась ориентация многих украинских портов на экстенсивный путь развития, что выразилось в нежелании администрации портов внедрять новые технологии переработки грузов (например, использование вагоноопрокидывателей вместо грейферов). Это приводит к замедлению перевалки грузов «на воду», а в некоторых случаях – к порче и увеличению износа и повреждений железнодорожного подвижного состава. Дополнительные финансовые средства, полученные портами от значительного прироста объемов переработки, не были в полной мере направлены на развитие перерабатывающих способностей и внедрение новых перегрузочных технологий.

Следует отметить непропорциональность грузопотоков в направлении морских портов, выразившуюся в переориентации грузопотоков с одного порта на другой, а в некоторых случаях – с одного водного бассейна на другой в течение корот-

кого периода времени (с Черного моря в Азовское и на Дунай). Непропорциональная загрузка портов приводит к тому, что в некоторых портах перевалка грузов «на воду» может вообще не вестись в течение одного–двух месяцев, вследствие чего создается избыток невостребованных перерабатывающих способностей, а на подходах к другим морским портам наблюдается скопление «брошенных» поездов вследствие полного истощения перерабатывающих мощностей.

Проблему улучшения координации работы в транспортных узлах, объединяющих грузо-владельцев, экспедиторов, порты, судоходные, стивидорные и другие компании, а также железные дороги, следует рассматривать в разрезе экономических и правовых аспектов [1].

При отсутствии скоординированного подхода судов и вагонов порты минимизируют свои издержки, предпочитая задерживать вагоны, прибывшие в адрес припортовых станций, так как платы за простой судов и за хранение груза на складе порта значительно превышают плату за пользование вагонами. В связи с этим портам выгоднее замедлять оборот железнодорожных вагонов, чем увеличивать непроизводительные простои морских судов или использовать собственные складские мощности.

В некоторых случаях портовики стремятся использовать прямой вариант перевалки грузов «на воду» по схеме «вагон-судно», минуя складские мощности, что минимизирует их расходы на погрузочно-разгрузочные операции. Это удовлетворяет Укрзализныцю только в том случае, если за период накопления судовой партии и ожидания вагонами подачи под разгрузку на предпортовых станциях порт платит железной дороге за вагоно-часы простоя под накоплением и ожиданием подачи дополнительный сбор по отдельному договору.

Зачастую украинские порты, на территории которых имеется большое количество стивидорных организаций, превращаются в своего рода биржи, осуществляющие торговлю перевозимыми на экспорт грузами. Это приводит к тому, что в случае колебания цен на международных товарных рынках трейдеры, дожидаясь благоприятной ценовой конъюнктуры, не заинтересованы в ускорении товародвижения. При этом они замедляют торги доставленными в адрес порта грузами и приостанавливают отгрузку в порту.

Дополнительным фактором, замедляющим движение грузов через порт, является то, что в течение постсоветского периода значительно увеличилась доля поставки товара на условиях FOB (франко-борт судна) по сравнению с условиями CIF (стоимость товара, страхование и фрахт без выгрузки) [2].

При этом под условиями FOB очень часто скрываются условия FAS (франко вдоль борта судна). Эти условия поставки обеспечивают продажу товаров без погрузки на судно (FAS) – либо с погрузкой на него (FOB), но не продажу товара на условиях, гарантирующих его доставку морским транспортом в порт назначения.

Использование поставки на условиях CIF позволяет значительно ускорить товарооборот в порту и грузооборот порта, так как стивидоры будут заинтересованы в том, чтобы как можно раньше доставить груз в пункт назначения. Частично можно эту проблему решить путем возврата украинских морских и речных судов под украинские флаги (в настоящее время практически все или многие из них осуществляют плавание под флагами офшорных государств, что минимизирует налоговые отчисления судоходных компаний).

В соответствии со ст. ст. 41, 46, 116, 119 Устава железнодорожного транспорта Украины за непроизводительные задержки и простои, хранение груза в вагонах по вине грузоотправителей, грузополучателей и владельцев путей необщего пользования перевозчиком взимается плата за пользование вагонами «...при условии, что задержка ... привела к нарушению сроков доставки грузов».

В случае доставки груза в адрес припортовой станции раньше срока и его последующего непринятия портом Укрзализныця не имеет юридических оснований начислять плату за пользование вагонами. Таким образом, ускорение оборота вагона на всем пути следования к порту теряет свой экономический эффект и даже может вызывать убытки из-за непроизводительного использования инфраструктуры и локомотивов в районе примыкания к портам.

Ст. 121 Устава железнодорожного транспорта Украины освобождает грузоотправителей, грузополучателей и владельцев путей необщего пользования от платы за пользование вагонами в случае действия обстоятельств непреодолимой силы. При этом многие климатические обстоятельства, которые, как правило, относятся к форс-мажорным, являются предсказуемыми, что позволяет представителям портов и судоходных компаний, а также грузоотправителям планировать свою работу при организации перевозок в международном смешанном железнодорожно-водном сообщении по обеспечению разгрузки железнодорожных вагонов, заблаговременно резервируя складские помещения, емкости и территории. Однако на деле это не практикуется.

Наличие на территории порта большого числа стивидорных, складских, экспедиторских, лоцманских, буксировочных и других компаний значительно усложняет производительное использование складских мощностей порта, так как при перевозке грузов в адрес получателя, исчерпавшего свои возможности по складированию, может возникнуть ситуация, когда выгрузка вагонов в порту приостановлена при наличии незанятых складских помещений других получателей. При этом сам порт, имеющий договорные отношения с железной дорогой, не может повлиять на вышеперечисленные субъекты транспортного рынка с целью оперативного маневра в продуктивном использовании складских территорий порта.

Предложения по усилению взаимной экономической ответственности участников перевозок в международном смешанном железнодорожно-водном сообщении

Для увеличения доходности Укрзализныци за счет развития логистических услуг, в том числе на базе крупных терминальных комплексов, целесообразно проведение следующих мероприятий:

1. В договорах о взаимной экономической ответственности между Укрзализныцей (или железными дорогами) и портами необходимо предусмотреть штрафные санкции за задержку вагонов в гораздо большем размере, чем существующая плата за пользование вагонами. Тарифную ставку за простой вагонов (либо арендную плату за складирование груза в вагоне) следует определять на основе себестоимости и рентабельности, рассчитанных по приведенным затратам.

2. В договорах о взаимной экономической ответственности необходимо предусмотреть более высокие размеры штрафов за порчу железнодорожного подвижного состава, вызванную применением устаревшей технологии разгрузки вагонов в портах (разгрузка грейферами и т. п.).

3. Необходимо предусмотреть возможность внесения поправок в Устав железных дорог Украины, обеспечивающих повышение экономической ответственности грузоотправителей, грузополучателей и владельцев путей необщего пользования в случае неправильного планирования своей работы, а также непроизводительного использования железнодорожных вагонов.

4. Очевидно, следует внести изменения в Устав железных дорог Украины в следующем виде: «Момент прибытия груза на предпортовые станции Укрзализныци до истечения срока доставки является окончанием ответственности

железнодорожной за обеспечение доставки груза в установленный срок и началом ответственности порта за использование железнодорожного подвижного состава». При этом порт принимает решение: либо накапливать судовую партию (по схеме перегрузки «вагон-судно»), либо осуществлять выгрузку на складские территории, либо использовать вагоны как «склады на колесах» с адекватной оплатой сверхнормативного простоя.

Критерием оптимизации работы экономической системы, в которую входят участники внешнеэкономической деятельности и представители различных видов транспорта, является минимизация затрат всех участников перевозочного процесса. Поэтому Минтранс Украины, как орган государственной власти, должен разработать типовый договор о взаимной экономической ответственности между Укрзализныцей, железными дорогами и представителями портов.

Портовая инфраструктура должна развиваться в соответствии с согласованной Минтрансом Украины оптимальной схемой капитальных вложений в транспортную инфраструктуру, исключающей диспропорции в развитии отдельных видов транспорта, отставание развития одного вида транспорта от другого.

Также необходимо предусмотреть механизмы воздействия Минтранса Украины (или его подведомственных органов исполнительной власти) на владельцев портов и представителей портовых администраций с целью оптимизации количества стивидорных организаций, осуществляющих деятельность в одном порту, а также координации их работы по наиболее эффективному использованию территории порта.

Возврат морских грузов судов под украинские флаги позволит ускорить товарооборот в порту за счет увеличения поставок товаров на условиях CIF и формирования своеобразного «сквозного тарифа», включающего не только стоимость груза в порту погрузки, но и стоимость его доставки в пункт назначения и стоимость страхования. Для этого надо пересмотреть законодательную базу для морских перевозок.

Портам Украины целесообразно рассмотреть возможность применения технологии скользящей специализации складских емкостей, чтобы не допускать задержки выгрузки груза одному клиенту из-за заполнения выделенной ему складской территории при наличии свободных площадей и другого клиента.

Перевозка большинства грузов, находящихся в простаивающих на подходах к портам вагонах, осуществляется в дефицитном в настоящее время подвижном составе – полувагонах.

Поэтому их исключение на длительный период из обращения приводит не только к значительному сокращению перевозочных мощностей железнодорожного транспорта, но и к невозможности завоза угля на электростанции для обеспечения данной продукцией отопительного периода. В то же время мощности других портов: Херсон, Белгород-Днестровский, Жовтневая, Рени и др. – используются не более чем на 50 %. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность перевалки данных грузов и провести специализацию всех портов Украины.

Также Укрзализныци целесообразно рассмотреть вопрос оказания традиционных для моряков и нетрадиционных для железнодорожников услуг. Для этого необходимо:

- строительство собственных причалов и терминальных комплексов для перевалки внешнеторговых грузов;

- выкуп, приобретение и строительство складских емкостей, перегрузочного оборудования;

- приобретение лицензий на право заниматься декларированием, экспедированием и другими видами деятельности в области транспортного бизнеса;

- приобретение в лизинг собственных морских и речных судов, а также судов смешанного «река-море» плавания;

- приобретение акций при приватизации портов.

Право на оказание услуг по передаче внешнеторговых грузов с железнодорожного транспорта на морской (речной) и обратно позволит снизить суммарную сквозную ставку за счет оказания соответствующих услуг по более низким ценам, что повысит доходность и устойчивость функционирования Укрзализныци на транспортном рынке.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левицкий И. Е. Оценка качества транспортного обслуживания грузовладельцев // Экономические инновации: Современные трансформации производственных, транспортных и коммуникационных систем. – Одесса, 2004. – Вып. 18. – С. 127–133.
2. Официальные правила интерпретации торговых терминов МТП «Инкотермс 2000» (ICC Publication № 560 / Russian-English version: ISBN 952-9815-23-9) – [Вводятся в действие 01.01.2000]. – К., 2001. – 231 с.

Поступила в редколлегию 16.02.2006.



## ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ И КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ГРУЗОНАПРЯЖЕННЫХ УЧАСТКАХ

Розглянуто питання виділення «вікон» як складна комплексна задача, під час вирішення якої повинні враховуватися протилежні вимоги і умови роботи всіх підрозділів залізничного транспорту.

Рассмотрен вопрос выделения «окон» как сложная комплексная задача, при решении которой должны учитываться противоположные требования и условия работы всех подразделений железнодорожного транспорта.

The paper tackles the problem of the time «gaps» in a train schedule. The solution of this complex task needs consideration of the conflicting requirements and working conditions of all the divisions and services of railway transport.

В настоящее время на железнодорожном транспорте Украины к числу наиболее актуальных проблем, связанных с освоением существующих и перспективных объемов перевозок, относятся вопросы организации текущего содержания путевого развития и контактной сети.

Возрастающие объемы перевозок, рост грузонапряженности на главных направлениях железных дорог, увеличение скорости движения поездов вызывают дополнительные расходы на ремонт путевых устройств и контактной сети, на содержание и другие, связанные с этим расходы. Такое положение требует безотлагательного принятия мер, которые обеспечат нормальные условия работы по ремонту пути.

В работе рассматриваются варианты наиболее эффективного решения вопросов организации движения поездов, которые смогут обеспечить минимальные расходы, связанные с содержанием пути и контактной сети.

1. Возможность увеличения массы поездов при изменении типа локомотива или введения двойной тяги с целью уменьшения размеров движения.

2. Возможности соединения технологических «окон» в графике движения поездов, позволяющих последовательно, укрупненными бригадами с максимальной механизацией труда, вести работы по текущему содержанию пути и контактной сети.

3. Возможность использования технологических резервов в организации эксплуатационной работы для выделения «окон».

Цель этих исследований заключалась в том, чтобы наряду с увеличением массы поездов достигнуть уменьшения числа этих поездов и, следовательно, увеличения интервалов между поездами, позволяющих увеличить реальное время работы в пути.

Уменьшение размеров движения за счет двойной тяги более чем достаточно для компенсации потерь пропускной способности, вызванных предоставлением «окон». Одновременно будет достигнуто и увеличение провозной способности.

Выделение «окон» – это сложная комплексная задача, при решении которой должны учитываться часто противоположные требования и условия работы всех подразделений железнодорожного транспорта.

Для текущего содержания пути и контактной сети, по мере увеличения размеров движения, возникают взаимно противоречащие условия, заключающиеся в том, что интервалы между поездами уменьшаются и в связи с этим усложняется возможность рациональной организации работ по текущему содержанию. Объем же этих работ непрерывно возрастает по мере роста числа пассажирских и грузовых поездов.

Взаимнопротиворечащие требования возникают также из-за продолжительности «окна» между условиями наилучшего использования механизмов и производительного труда ремонтников, с одной стороны, и условиями обеспечения эксплуатационной работы на участках и станциях с другой.

Возможности предоставления «окон» на разных направлениях сети должны решаться применительно к местным условиям с учетом очень большого числа факторов.

К числу основных данных следует отнести: наличную пропускную способность, размеры грузовых и пассажирских перевозок, число главных путей, массы поездов, длины станционных путей на сортировочных, участковых и промежуточных станциях, мощность устройств энергоснабжения и др.

Очевидно, что при предоставлении постоянных технологических «окон» в графике все поезда будут следовать с установленными скоростями.

Если принять протяженность участка следования с уменьшенной скоростью 1 км и скорость следования поездов по месту производства работ 25 км/ч вместо 55 км/ч, то на каждый километр затрачивается лишняя 1 мин. При потерях на разгон и замедления 1 мин суммарные потери времени составляют 2 мин.

На участке со скоростным движением потери в пропускной способности будут большие. Поэтому там еще более целесообразно выделение «окон» для текущего содержания.

При закладке «окна» для производства работ по капитальному и среднему ремонту пути возможно их совмещенное использование для текущего содержания пути и контактной сети. Для этого в «окне» для капитального и среднего ( $T_{\text{окн}}$ ) должно выделяться «малое окно» продолжительностью 1 час для текущего содержания (рис. 1). Как показывает опыт, «окно» для капитального и среднего ремонта используется примерно 2 раза в неделю. Поэтому через «окно» должны лежать резервные нитки, которые в дни отсутствия работ могут занимать поездами.

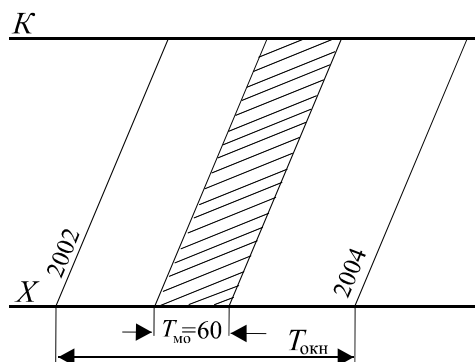


Рис. 1

В тех случаях, когда предоставляются «окна» для капитального ремонта, этим одновременно создаются и условия для текущего содержания пути. Когда этот ремонт не производится и «окна» для этой цели не выделяются, то текущее содержание пути обеспечивается за счет постоянного «малого окна».

При выделении «окон» следует использовать фактически сложившуюся внутрисуточную неравномерность и посуточные колебания размеров движения. Выделение «окон» целесообразно производить в периоды некоторого спада перевозок.

Для облегчения возможности выделения «окон» необходимо уменьшение числа групп пассажирских поездов на сетке графика, что одновременно отвечает и условиям оптимального размещения грузовых поездов.

На однопутных линиях выделение «окон» для текущего содержания пути не вызывает сложностей, так как конфигурация размещения поездов на графике позволяет производить работы между нечетными и четными поездами (рис. 2).

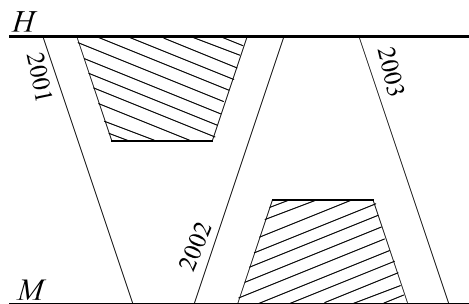


Рис. 2

Для работ по текущему содержанию контактной сети должны быть предусмотрены «окна» продолжительностью 1 час в светлое время суток на различных перегонах, в зависимости и от их неидентичности и взаимного размещения на графике пассажирских и грузовых поездов.

Наибольшие трудности в представлении «окон» возникают на двухпутных электрифицированных линиях, характерных весьма большими размерами движения грузовых и пассажирских поездов.

На двухпутных линиях предоставление «окон» вызывает потерю времени на всем направлении между станциями оборота локомотивов, причем такое «окно» вызывает самопроизвольное «окно» и по другому главному пути в противоположном направлении (рис. 3).

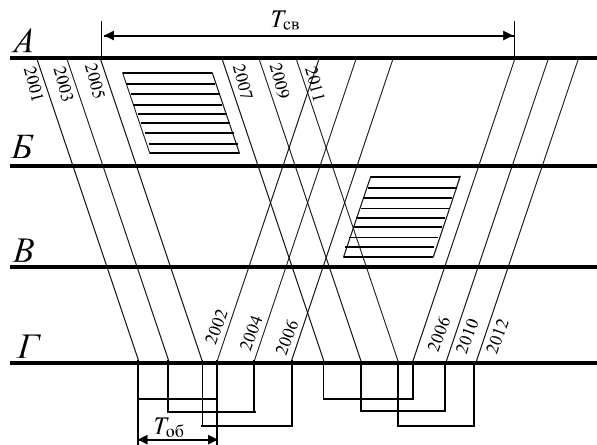


Рис. 3

Полоса, вызванная предоставлением «окна» и полоса в обратном направлении, кроме пропуска местных поездов должна быть использована для выполнения работ и по другому главному пути. Возможность использования полосы только в одном направлении либо туда и обратно определяется светлым временем суток, которое может быть использовано для выполнения работ (см. рис. 3).

Максимальная длина полосы, которая может быть использована для работы в светлое время суток в одном направлении, определяется условием:

$$T_{\text{св}} = \frac{L}{V} + T_{\text{ок}}; \quad L = (T_{\text{св}} - T_{\text{ок}})V.$$

Максимальная длина полосы, которая может быть использована для работы в светлое время суток в обоих направлениях, определяется условием:

$$T_{\text{св}} = 2\frac{L}{V} + T_{\text{об}} + T_{\text{ок}};$$

$$L = \frac{(T_{\text{св}} - T_{\text{об}} - T_{\text{ок}})V}{2},$$

где  $L$  – максимальная длина полосы;  $V$  – участковая скорость следования поездов;  $T_{\text{об}}$  – простой локомотивов в пункте оборота;  $T_{\text{ок}}$  – величина «окна» между поездами с учетом подготовительных и заключительных работ (выдача и получение приказа, установка и снятие сигналов, постановка и уборка механизмов);  $T_{\text{св}}$  – светлое время суток.

Приняв  $T_{\text{св}} = 12$  ч,  $T_{\text{об}} = 1$  ч,  $T_{\text{ок}} = 1$  ч,  $V = 50$  км/ч, получим, что при этих исходных данных длина возможной полосы составит 250 км.

Так как локомотивы обычно работают на длинных участках обслуживания, полученная длина в большинстве случаев окажется недостаточной. В связи с этим, возможно использование для работ в обратном направлении по всей полосе, а только части (в пределах светлого времени суток).

Величину искомой полосы в обратном направлении  $\ell_x$  можно определить из условия:

$$\frac{L}{V} + T_{\text{св}} + \frac{\ell_x}{V} + T_{\text{ок}} = T_{\text{св}}$$

откуда

$$\ell_x = (T_{\text{св}} - T_{\text{ок}} - T_{\text{об}})V - L.$$

При  $\ell_x = L$  получим найденное выше условие. Приняв приведенные выше исходные данные и  $L = 400$  км, получим длину полосы в обратном направлении  $\ell_x$ , на которой можно обеспечить ремонтные работы в светлое время суток, равную 100 км.

Взаимосвязь между «окнами» в одном и другом направлении выражается условием:

$$\frac{\ell_1}{V} + T_{\text{об}} + \frac{\ell_2}{V} + T_{\text{ок}} = T_{\text{св}};$$

$$\ell_1 + \ell_2 = (T_{\text{св}} - T_{\text{об}} - T_{\text{ок}})V,$$

где  $\ell_1$  – расстояние от места производства работ до станции оборота локомотива;  $\ell_2$  – максимально-возможное расстояние от станции оборота локомотивов до места производства работ в обратном направлении в пределах светлого времени.

Полученные расчетом «окна» в одном и другом направлении должны закладываться на сетке графика при его построении. Исходя из времени возникновения «окна» на отдельных перегонах, может возникать необходимость в разное время суток начинать производство работ.

В силу специфических особенностей современной конструкции пути на шпально-балластном основании, наибольший объем (до 75 %) падает на работы по выправке пути по уровню и по ликвидации толчков и просядок.

Все остальные работы вместе составляют около 25 % всего объема работ по текущему содержанию (ликвидация отступлений по ширине колеи, рихтовка пути, текущее содержание стрелочных переводов, затеска заусениц, замена графитовой смазки, комплексное оздоровление стыков, одиночная смена шпал, замена дефектных рельсов, разгонка и регулировка зазоров, подрезка балласта под подошвой рельсов).

В этой связи именно выправка пути является главным видом работ, которые должны выполняться в технологических «окнах».

Имеется полная возможность выделения плановых «окон» для текущего содержания пути и контактной сети:

а) за счет увеличения массы поездов и соответственного снижения размеров движения (количества поездов);

б) за счет рационального построения и использования резервов графика движения поездов.

Внедрение предлагаемых мероприятий обеспечит:

- увеличение участковых скоростей движения поездов и улучшение эксплуатационных показателей работы железных дорог;

- повышение производительности труда при текущем содержании пути и контактной сети, а также наилучшее использование «окон» в графике движения поездов.

Необходимыми условиями успешного внедрения предлагаемых мероприятий являются:

- тесная оперативная связь в работе между подразделениями служб движения, пути и электрификации;

- работа этих подразделений по взаимно увязанным планам – графикам.

Предлагаемые мероприятия дают наибольший эффект на линиях с высокой грузонапряженностью.

Поступила в редколлегию 19.01.2006.

А. М. БАБАЕВ, Н. В. БОДНЯ, Н. Я. ГАРКАВИ (ДИИТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ АВТОНОМНОГО РЕЛЬСОВОГО ЭКИПАЖА

Теоретично та експериментально визначені величини питомого опору руху і порівняні з залежностями, які використовуються залізницями СНД, Великобританії, Польщі.

Теоретически и экспериментально определены величины удельного сопротивления движению и сопоставлены с зависимостями, используемыми железными дорогами СНГ, Великобритании, Польши.

The article provides theoretical and experimental determination of the values of specific resistance to movement, which have been compared with the dependencies, used by the railways of CIS, UK and Poland.

На тяговые и тормозные свойства единицы подвижного состава существенное значение оказывает величина удельного сопротивления движению рельсового экипажа [1]. Этому вопросу уделено внимание в ряде работ [2–4] применительно к подвижному составу отечественного производства прошлых лет. Новый подвижной состав, поступающий на железные дороги Украины, требует оценки фактических сил сопротивления движению. Наряду с эксплуатационно-техническими аспектами, сопротивление движению экипажей имеет также важнейшее энергетическое значение.

Целью этой статьи является:

1. Установление фактических величин основного (полного и удельного) сопротивления движению автономного подвижного состава (автомотрисы, рельсовые автобусы) в условиях эксплуатации.

2. Сравнение полученных результатов с расчетным сопротивлением движению аналогичного подвижного состава отечественного производства также Великобритании, Польши. При этом искомые зависимости в целях наглядности представляются в таблично-графической форме.

Научные результаты. Из-за большого многообразия факторов, влияющих на величины удельных сил сопротивления движению, определение их значений предпочтительно производить

путем экспериментальных (ходовых) поездок. При решении задач подобного рода применяют классические методы. К ним относятся метод скатывания и динамометрический метод [3].

При экспериментах использовался первый метод, сущность которого заключается в том, что на движущийся экипаж воздействует только сила сопротивления движению. В этом случае двигатель выключается, а движение происходит за счет ранее накопленной кинетической энергии. Равнодействующая сила определяется величиной полного сопротивления движению. Под действием последней скорость движения, естественно, замедляется, при этом замедление пропорционально действующей силе сопротивления. Следовательно, если в процессе эксперимента измерить замедление, то тогда можно вычислить величину силы сопротивления движению экипажа. Ходовые испытания выполнялись на сухих чистых рельсах в безветренную погоду.

Полную силу сопротивления движению рельсового автобуса определяли из выражения

$$R = k_{\text{вв}} a_{\text{ср}} M,$$

где  $k_{\text{вв}}$  – коэффициент влияния вращающихся масс на силу инерции порожнего рельсового автобуса;  $a_{\text{ср}}$  – среднее замедление машины на выбеге;  $M$  – масса порожнего автобуса.

Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица

Полное основное сопротивление движению, кН

Показатели	Интервалы скоростей, км/ч				
	0...10	13,9...19,8	31,7...38,1	52,24...58,35	70,56...77,64
$R$ (ДИИТ)	0,56	0,88	1,25	2,10	3,63
$R$ (CNTK)	1,35	1,62	1,89	2,70	3,51
$V$ , км/ч	10,00	20,00	40,00	60,00	70,00

Прямое сравнение этих величин (см. таблицу) затруднительно, так как оно правомерно лишь при одинаковых осевых нагрузках, типу и состоянию рельсового пути, ветровой нагрузке.

Однако представляет интерес сопоставление результатов эксперимента с расчетными значениями сил сопротивления движению, вычисленными по формулам разных стран.

Так, для железных дорог СНГ основное удельное сопротивление движению тепловозов (прототип автобуса) на холостом ходу определяем на звеньевом пути по формуле [6]

$$W_x = 2,4 + 0,011 \cdot V + 0,00035 \cdot V^2.$$

Декларированные заводом-изготовителем аналогичные величины рассчитывались по зависимости [7]

$$W_x = \frac{0,36 \cdot V_0 - 6}{100}.$$

Для экипажей Британских железных дорог удельное сопротивление движению находилось из выражения [8]

$$W_x = 0,7 + \frac{7 + 0,0025 \cdot V^2}{2Q},$$

где  $2Q$  – нагрузка от оси на рельсы.

Результаты расчетов представлены на рисунке графическими зависимостями.

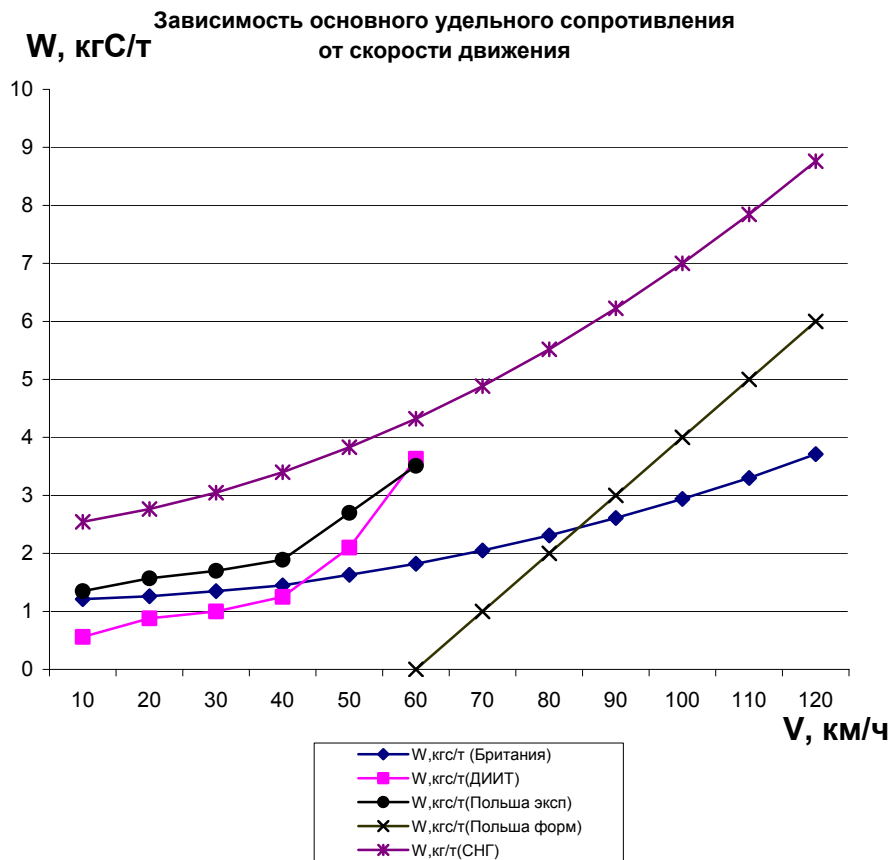


Рис.

### Выводы

Таким образом, в статье обосновано, что:

1. В зоне начальных скоростей движения сопротивление движению, полученное экспериментально ДИИТом (Украина), значительно меньше, чем те же величины, полученные CNTK (Польша). С увеличением скорости движения силы сопротивления выравниваются.

2. Из сопоставленных величин наиболее близки к экспериментальным значения основ-

ного удельного сопротивления тепловоза на холостом ходу.

3. Из сравниваемых между собой, наименьшие значения основного удельного сопротивления получены по формулам Британских железных дорог.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабичков А. М. Тяга поездов и тяговые расчеты / А. М. Бабичков, А. А. Гурский, А. П. Новиков. – М.: Транспорт, 1971. – 280 с.

2. Астахов П. Н. Сопротивление движению железнодорожного подвижного состава // Труды ВНИИЖТ– М.: Транспорт, –1966. – Вып. 311. – 178 с.
3. Стромский П. П. Сопротивление движению пассажирских поездов при скоростях до 200 км/ч // Вестник Всесоюзн. научно-исслед. ин-та ж.-д. транспорта, – 1971, – № 4. – С. 26–30.
4. Бабичков А. М. Тяга поездов: теория, расчеты, испытания / А. М. Бабичков, В. Ф. Егорченко. – М.: Трансжелдориздат, 1947. – 487 с.
5. Отчет № 18.02/04. Испытания рельсового автобуса типа 610 М-УЗ. Определение тяговых характеристик. Варшава, CNTK. Laboratorium badan tabogu. 2004. – 16 с.
6. Гребенюк П. Т. Тяговые расчеты: Справочник / П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганова, А. И. Скворцова. – М.:Транспорт, 1987. – 272 с.
7. Laboratorium badan taboru: Prakownia Hamulkow. Obliczenia hamulkow awtobusu szynowego typu 610M. Krakow, CNTK, 2003. – 183 с.
8. Koffman J. I. Disc brake design and performance. «Rail Eng. Int», – 1972, – vol. 2, № 6. – P. 243–246.

Поступила в редколлегию 03.03.2006.

А. М. БАБАЕВ, М. А. ЯКОВЕНКО (ДИИТ)

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЗОВ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ УСТАНОВКИ КОЛОДОК

Проаналізована ефективність гальм вагона при обладнанні його як композиційними, так і чавунними колодками з урахуванням і без урахування опору руху підвагонного генератора.

Проанализирована эффективность тормоза вагона при оборудовании его как композиционными, так и чугунными колодками с учетом и без учета сопротивления движению подвагонного генератора.

The authors have analyzed the efficiency of a car brake, being equipped by either compositional or cast-iron shoes, with and without consideration of the under-car generator movement resistance.

Важнейшими показателями эффективности фрикционных тормозных систем рельсового подвижного состава являются расчетный коэффициент силы нажатия тормозных колодок, проверка отсутствия юза колесных пар при торможении и величина тормозного пути [1]. Их расчет для различных условий эксплуатации производился рядом авторов [2–4]. Так обоснована установка разнотипных по материалу колодок на одном вагоне при скоростях движения до 120 км/ч [5]. Создание и освоение производства современных пассажирских вагонов для ускоренных поездок [6] требует переоценки такого обоснования как для заполнения справки о тормозах ф. ВУ-45, так и с точки зрения обеспечения безопасности движения.

Выпуск на магистральные линии пассажирских вагонов отечественного производства [7], отличающихся по линейным и весовым параметрам, обусловил пересмотр эффективности тормозных систем новых вагонов с целью их адаптации к нормативным требованиям.

Задачей этой работы является оценка нажатий тормозных колодок на колеса, проверка вероятности их заклинивания, расчет тормозного пути при оборудовании вагона:

- только композиционными тормозными колодками (ТИИР-303);
- только чугунными колодками;
- одновременно чугунными (приводная ось) и композиционными тормозными колодками (смешанный вариант).

Стандартные характеристики этих вариантов установок тормозных колодок определялись как с учетом, так и без учета сопротивления движению от подвагонного генератора.

Методикой исследований явились основные положения нормативно-технической документации [8–10] с учетом специфики конструкции нового вагона для корректировки расчетных зависимостей.

Оценка тормозной эффективности первых двух вариантов установок тормозных колодок без учета сопротивления движению подвагонного генератора производилась традиционным способом. Расчет смешанной установки тормозных колодок на вагоне выполнялся с учетом того положения, что суммировать между собой можно только те расчетные тормозные нажатия, которые определены по формулам коэффициента трения с одинаковой зависимостью от скорости движения. Переход от одной системы расчетных нажатий к другой (от чугунных колодок к композиционным) осуществлялся с помощью коэффициента эффективности, зависящего от скорости.

Критерием обеспечения требуемой тормозной эффективности вагона является выполнение условия для расчетного коэффициента силы нажатия тормозных колодок, который не должен превышать его минимального допустимого значения.

При оценке безюзового торможения было принято сравнение расчетного значения коэффициента сцепления колеса с рельсом с его допускаемым значением, полученным путем вычислений для конкретного типа пассажирского вагона.

Оценка длины тормозного пути производилась по общепринятой методике для железных дорог стран СНГ. В связи с установкой на вагоне мощных генераторов [11] производилась корректировка формулы для расчета дополнительного сопротивления движению от их действия. Особенностью расчетов является корректировка средней за рейс условной мощности генератора, приходящейся на один вагон, вызванная увеличением средней номинальной мощности генератора до 32 кВт, которая обуславливает величину дополнительного удельного сопротивления движению от подвагонных генераторов.

Расчетная формула была выведена из равенства выражений мощности подвагонного генератора и эквивалентной мощности на ободе колеса. Удельное сопротивление движению поезда от подвагонных генераторов

невелико и, особенно, в зоне больших скоростей движения [9].

Результаты расчетов основных характеристик тормоза вагона при равномерной осевой нагрузке сведены в таблицу.

Таблица

**Основные характеристики тормоза вагона при равномерной осевой нагрузке**

Расчетные параметры тормозной рычажной передачи	Первый вариант	Второй вариант	Третий вариант
	Материал колодок		
	Композиция ТИИР-303	Чугун	Одна ось чугун и три оси композиция
Передаточное число ТРП	5,3	12	1,33 + 4
Расчетный коэффициент силы нажатия тормозных колодок	0,288	0,655	0,29
Расчетный коэффициент сцепления ко- лес с рельсами:			
для вагона с противоюзным устройством			
– 40 км/ч	$0,106 \leq [0,126]$	$0,0612 \leq [0,126]$	$0,07 \leq [0,126]$
– 120 км/ч	$0,0897 \leq [0,0976]$	$0,065 \leq [0,102]$	$0,055 \leq [0,102]$
– 140 км/ч	$0,0896 \leq [0,0976]$	$0,096 \leq [0,0976]$	$0,063 \leq [0,0976]$
для вагона без противоюзного устройства			
– 40 км/ч	$0,106 \leq [0,107]$		$0,07 \leq [0,107]$
– 120 км/ч	$0,089 \geq [0,0867]$		$0,055 \leq [0,0867]$
– 140 км/ч	$0,084 \geq [0,0829]$		$0,063 \leq [0,0829]$
Полный тормозной путь, м:			
с учетом сопротивления движению по- двагонного генератора	1 089	1 293	1 105
без учета сопротивления движению по- двагонного генератора	1 101	1 307	1 117

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующее заключение:

1. Так как большинство тормозных колодок на вагоне композиционные, то при переходе к расчету по этим колодкам передаточное число для приводной оси уменьшится в 2,25 раза.

2. При действии электропневматического тормоза в диапазоне скоростей 140...160 км/ч обеспечиваются нормативные значения коэффициентов сил нажатия тормозных колодок при установке на вагоне всех композиционных или смешанных тормозных колодок и не выполняется для чугунных тормозных колодок.

3. Отсутствие противоюзных устройств на вагоне не исключает возможность заклинивания колесных пар при торможении композиционными тормозными колодками при скоростях движения 120 и 140 км/ч, что лимитирует тормозное нажатие по условиям сцепления колес с рельсами при высокой скорости движения;

4. Влияние дополнительного сопротивления движению от подвагонного генератора на длину тормозного пути невелико и находится в пределах 10...15 м, при этом эффективность тормозов уменьшится при переходе в направлении от композиционных к чугунным тормозным колодкам.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ДСТУ 4049–2001 Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Вимоги безпеки. – К.: Держстандарт України, 2001.
2. Гребенюк П. Т. Тормозные расчеты поездов при разнотипных колодках // Вестник Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 1972, – № 4. – С. 41–43.
3. Казаринов В. М. Тормозные расчеты для пассажирских поездов с композиционными колодками / В. М. Казаринов, П. Т. Гребенюк // Железнодорожный транспорт. – 1961, – № 5, – С. 42–44.



4. Казаринов А. В. Сравнительная оценка эффективности тормозных средств // Вестник Всесоюзного исследовательского института железнодорожного транспорта. – 1979, – № 1, – С. 38–41.
5. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України, 2002.–145 с.
6. Федюшин Ю. М. Створення та впровадження пасажирських вагонів для швидкісних перевезень / Ю. М. Федюшин, Л. М. Лобойко, О. М. Пшінько, С. В. Мямлін, и др. // Залізничний транспорт України. – 3/2005. – С. 3–13.
7. Федюшин Ю. М. Розробка, створення, освоєння виробництва та впровадження сімейства моделей вітчизняних сучасних пасажирських вагонів для швидкісних перевезень // Ю. М. Федюшин, Л. М. Лобойко, О. М. Пшінько, С. В. Мямлін, и др. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2005, – Вип. 7, – С. 5–24.
8. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных): Изменения и дополнения от 23.12.1999 г. – М.: ГосНИИВ. – ВНИИЖТ, – 1996. – 319 с.
9. Методика расчета тормозов пассажирских вагонов колеи 1520 мм. Памятка ОСЖД Р. – 549/2 от 10.11.2005 г. – 13 с.
10. Типовой расчет тормоза грузовых и рефрижераторных вагонов. М.: ВНИИЖТ, – 1996. – 76 с.
11. Бабаев А. М. О сопротивлении движению подвагонных генераторов / А. М. Бабаев, Ю. А. Куприян, А. С. Белявский // Проблемы та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління: Тези доповідей другої науково-практичної конф. 4.1. Техніка, технологія. К.: 2004, – С. 4–5, 243–245.

Поступила в редколлегию 27.03.2006.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕМПФИРОВАНИЯ В РЕССОРНОМ ПОДВЕШИВАНИИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Розглянуто питання визначення характеристики параметрів демпфірування екіпажа залізничного транспортного засобу. Одержані в результаті теоретичних й експериментальних досліджень робочі формули визначення відносного коефіцієнта демпфування для ресорного підвішування залізничного транспортного засобу.

Рассмотрены вопросы определения характеристики параметров демпфирования экипажа ж.-д. транспортного средства. Получены в результате теоретических и экспериментальных исследований рабочие формулы для определения относительного коэффициента демпфирования для ресорного подвешивания ж.-д. транспортного средства.

The article considers the issues of determining specific parameters of rail vehicle damping. As a result of theoretical and experimental research working formulas for determination of the relative damping coefficient for vehicle spring suspension have been obtained.

Приведены результаты определения параметров демпфирования в ресорном подвешивании тягового подвижного состава. Приведены зависимости относительного коэффициента демпфирования от параметров ресорного подвешивания и проведена экспериментальная оценка демпфирования опытного экипажа локомотива.

Тенденция повышения динамических и эксплуатационных качеств подвижного состава выдвигает высокие требования к его техническому совершенству. В настоящее время идет разработка новых, а также модернизация существующих тепловозов с применением эффективных систем ресорного подвешивания, обеспечивающих высокую плавность хода благодаря эффективному демпфированию колебаний. Однако, например, фрикционные гасители колебаний имеют известные недостатки, обусловленные наличием зоны нечувствительности, приводящей к плохой фильтрации высокочастотных возмущений со стороны пути и повышенным их износом, что усложняет их эксплуатацию. Более совершенными являются гидравлические гасители колебаний, но остается проблемой выбор таких характеристик демпфирования и размещения их на экипаже, чтобы обеспечивалось гашение колебаний как вертикальных, так и боковых, а также галопирования кузова, имеющих разные частоты.

В связи с вышеизложенным представляют интерес исследования, направленные на разработку инженерного метода оценки демпфирования колебаний и проверку этого метода путем эксперимента. Теоретическими исследованиями демпфирования в ресорном подвешивании тягового

подвижного состава занимались известные научные школы, созданные: А. Л. Голубенко, С. М. Куценко, В. А. Лазаряном и другими учеными.

Большие успехи по созданию эффективных систем ресорного подвешивания достигнуты во Франции, Германии, Японии при создании тягового и скоростного подвижного состава. Однако до настоящего времени не удалось создать конструкцию ресорного подвешивания с параметрами, удовлетворяющими всем требованиям и приемлемыми для всего многообразия рельсовых транспортных средств.

Целью данной работы является анализ вопросов определения параметров демпфирования в ресорном подвешивании тягового подвижного состава и разработка инженерного метода для теоретической оценки относительного коэффициента демпфирования.

Ходовые качества ж.-д. транспортного средства обеспечиваются стабильностью колебательного процесса (ресорного подвешивания) системой рессора-демпфер. Оценку эффективности системы с гидродемпфером рассмотрим на примере работы его параллельно с винтовой пружиной.

Ходовые качества ж.-д. транспортного средства обеспечиваются стабильностью колебательного процесса (ресорного подвешивания) системой рессора-демпфер. Оценку эффективности системы с гидродемпфером рассмотрена на примере его работы с винтовой пружиной.

Для определения основных параметров системы демпфирования (декремент затухания относительный коэффициент демпфирования), рассмотрим собственные колебания системы пружина-демпфер (рис. 1) с подрессоренной массой « $m$ ».

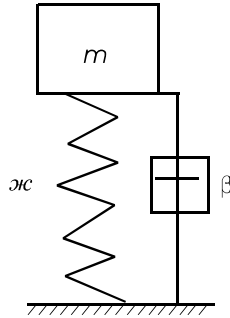


Рис. 1

Дифференциальное уравнение колебаний груза « $m$ » на пружине « $Ж$ » с демпфером –  $\beta$  (см. рис. 1) имеет вид

$$mz'' + \beta z' + \mathcal{K}z = 0, \quad (1)$$

где  $m$  – инерционный параметр;  $\beta z$  – сила сопротивления демпфера;  $\mathcal{K}z$  – сила сопротивления пружинного комплекта;  $\beta$  – параметр вязкого сопротивления.

Решение этого уравнения ищем в виде (1)

$$Z = Ce^{St}, \quad (2)$$

где  $C, S$  – постоянные величины;  $e$  – основание натурального логарифма;  $t$  – время.

Возьмем первую и вторую производные от выражения (2)

$$z' = CSe^{St}, \quad z'' = CS^2e^{St},$$

подставив в уравнение (1) и сократив на общий множитель  $Ce^{St}$ , тогда общее уравнение будет иметь вид

$$mS^2 + \beta S + \mathcal{K} = 0, \quad (3)$$

где  $S$  принимает два значения

$$S_{1,2} = -\frac{\beta}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{\beta}{2m}\right)^2 - \left(\frac{\mathcal{K}}{m}\right)}. \quad (4)$$

При малом сопротивлении в системе демпфирования ж.-д. транспортного средства подкоренное выражение (4) представляет собой мнимое число, т. е.

$$\left(\frac{\beta}{2m}\right)^2 < \frac{\mathcal{K}}{m},$$

тогда получим пару комплексно сопряженных значений и

$$S_{1,2} = -\frac{\beta}{2m} \pm i\sqrt{\left(\frac{\mathcal{K}}{m}\right) - \left(\frac{\beta}{2m}\right)^2} = a \pm ib, \quad (5)$$

где круговая частота колебаний системы с учетом сопротивления гасителя

$$a = -\frac{\beta}{2m}, \quad b = \sqrt{\left(\frac{\mathcal{K}}{m}\right) - \left(\frac{\beta}{2m}\right)^2} = p.$$

При граничном значении, когда подкоренные выражения одинаковы, т. е.

$$\frac{\mathcal{K}}{m} = \left(\frac{\beta}{2m}\right)^2. \quad (6)$$

Назовем граничное значение параметра вязкого сопротивления «критическим», т. е: когда  $\beta = \beta_{кр}$  – коэффициент вязкого сопротивления возрастает, достигая критической величины.

Из формулы (6) следует, что

$$\beta_{кр} = \sqrt{4\mathcal{K}m} = 2\sqrt{\mathcal{K}m}. \quad (7)$$

Критическое (**величина вязкого сопротивления**) сопротивление гидродемпфера так велико, что движение системы не будет колебательным, т. е. отношение

$$\mathcal{D} = \frac{\beta}{\beta_{кр}} = 1. \quad (8)$$

Это отношение принято называть коэффициентом демпфирования, который (для системы подвешивания на ж.-д.) согласно (4) принимается 0,25...0,3.

Формулу (8) можно представить в другом виде, например, через действительную и мнимую часть **характеристического** уравнения (5)

$$S_{1,2} = a \pm bi;$$

$$a = -\frac{\beta}{2m}; \quad b = \sqrt{\left(\frac{\mathcal{K}}{m}\right) - \left(\frac{\beta}{2m}\right)^2}$$

отсюда получаем  $\beta = 2ma$

$$a^2 + b^2 = \frac{\mathcal{K}}{m};$$

$$\sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{\frac{\mathcal{K}}{m}}. \quad (9)$$

Преобразуем формулу (7) к виду

$$\beta_{кр} = 2m\sqrt{\frac{\mathcal{K}}{m}} \quad (10)$$

используем формулы (9) и (10), получим

$$\begin{aligned} \mathcal{D} = \frac{\beta}{\beta_{кр}} &= \frac{2ma}{2\sqrt{m\mathcal{K}}} = \frac{2ma}{2m\sqrt{\frac{\mathcal{K}}{m}}} = \\ &= \frac{a}{\sqrt{\frac{\mathcal{K}}{m}}} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}. \end{aligned} \quad (11)$$

Дифференциальное уравнение колеблющейся массы системы (пружина-демпфер) уравнение (1) имеет решение

$$z = z_0 e^{-at} \quad (12)$$

и представляет собой затухающие колебания, закон движения показан на рис. 2.

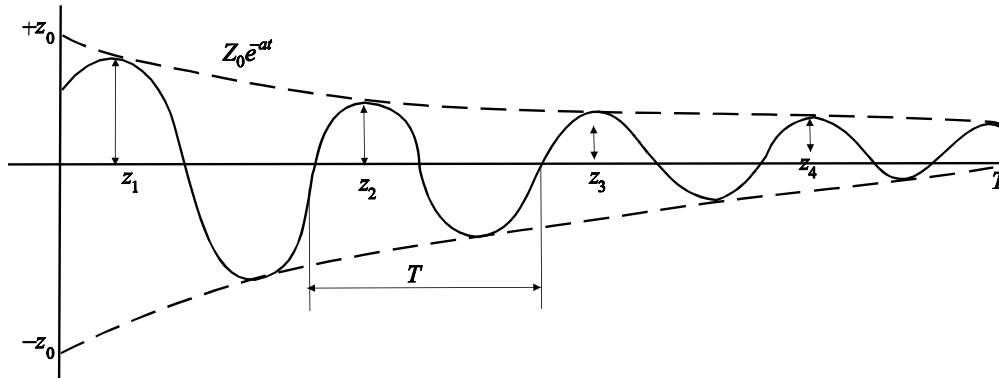


Рис. 2

Отношение двух последовательных амплитуд остается неизменным в течение всего процесса т. е.

$$\frac{z_i}{z_{i+1}} = \frac{z_0 e^{-at}}{z_0 e^{-a(t+T)}} = e^{aT} = \text{const}, \quad (13)$$

где  $T$  – период колебания (условный)

$$T = \frac{2\pi}{b} = \frac{2\pi}{p},$$

где  $p$  – круговая частота систем с учетом сопротивления гасителя, величина

$$\delta = f(T) = \ln \frac{z_i}{z_{i+1}} \quad (14)$$

характеризует темп затухания и называется логарифмическим декрементом колебания (или логарифмическим декрементом). Из формулы

$$a = \frac{\delta}{T} \text{ и } b = \frac{2\pi}{T}$$

подставляем в формулу (11) и получим

$$D = \frac{\delta/T}{\sqrt{(\delta/T)^2 + (2\pi/T)^2}} = \frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 + 4\pi^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi/\delta)^2}}. \quad (15)$$

Изложенная методика оценки демпфирования колебаний ж.-д. транспортных средств

Произведение  $z_0 e^{-at}$  представляет огибающую кривую затухающих колебаний, где коэффициент, зависящий от вязких свойств системы (коэффициент затухания)

$$a = -\frac{\beta}{2m}.$$

применяется на стадии проектирования – параметры демпфирования подсчитываются по формуле (8). Критический коэффициент сопротивления демпферов

$$\beta_{кр} = 2\sqrt{m\mathcal{K}} = 2m\omega, \quad (16)$$

где  $\omega$  – круговая частота свободных колебаний массы

$$\omega_k = \sqrt{\frac{\mathcal{K}}{m}}.$$

### Экспериментальная оценка демпфирования колебаний локомотива

Изложенную методику оценки степени демпфирования экипажей применяли на стадии проектирования и перед ходовыми динамическими испытаниями новых тепловозов 2ТЭ121, ТЭП150.

Для возбуждения колебаний подпрыгивания, галопирования и боковой качки тепловоза на рессорах осуществляется его «сброс» с клиньев высотой 30 мм всеми колесными парами. «Сброс» локомотива с клиньев осуществляется как с гасителями колебаний в рессорном подвешивании, так и без них. Испытания проводились на прямом участке пути с нулевым уклоном, рельсы типа Р50 на деревянных шпалах в количестве 1 840 шт/км.

На ленте осциллографа регистрировались вертикальные деформации пружин крайних осей тележек. Осциллограмма колебаний подпрыгивания приведена на рис. 3.

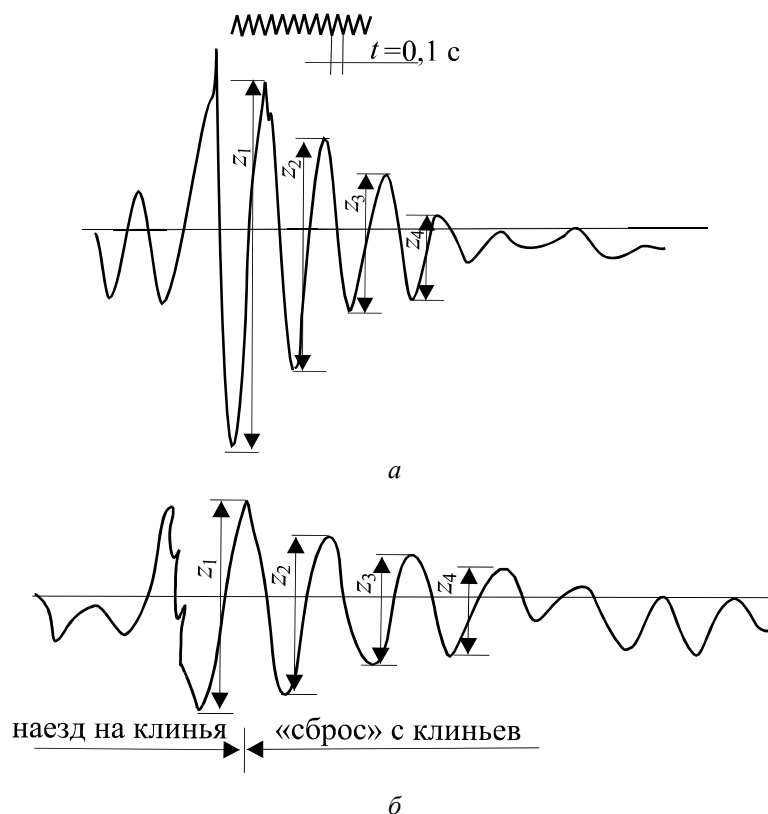


Рис. 3. Осциллограммы записи колебаний подпрыгивания для тепловоза 2ТЭ121:  
а – с гасителями колебаний; б – без гасителей колебаний

Полученные значения собственных частот колебаний приведены в табл. 1.

Коэффициент относительного демпфирования тепловоза рассчитывался по формулам (14),

(15) из отношений амплитуд по осциллограмме затухающих колебаний (см. рис. 3).

Результаты обработки опытных данных приведены в табл. 2.

Таблица 1

Собственные частоты колебаний тепловоза на рессорах

Тип рессорного подвешивания I ступени	Вид колебаний, Гц		
	Подпрыгивание	Галопирование	Боковая качка
Сбалансированное без гидравлических гасителей колебаний	1,8...1,86	1,86...1,93	0,63...0,73
Сбалансированное с гидравлическими гасителями колебаний	1,6...1,8	1,8...1,9	—

Таблица 2

Результаты обработки опытных данных

Тип рессорного подвешивания I ступени	Значения амплитуд, мм				Отношение амплитуд $\eta_n = \frac{z_n}{z_{n+1}} \quad n = 1, 2, 3$			Среднее значение отношения амплитуд $n = 3$ $\eta_{cp} = \frac{\sum \eta_n}{3}$	Коэффициент относительного демпфирования
	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$\eta_1$	$\eta_2$	$\eta_3$		
Сбалансированное без гидравлических гасителей колебаний	83,0	52,0	31,0	18,0	1,595	1,675	1,720	1,665	0,0806
Сбалансированное с гидравлическими гасителями колебаний	38,5	27,5	19,5	14,5	1,400	1,41	1,35	1,385	0,0514

Коэффициенты относительного демпфирования для колебаний галопирования и боковой качки определены только для сбалансирован-

ного рессорного подвешивания с гидравлическими гасителями колебаний. Значения этих коэффициентов приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Коэффициент относительного демпфирования для колебаний галопирования и боковой качки для тепловоза 2ТЭ121**

Тип рессорного подвешивания I-й ступени	Значения амплитуд в мм				Отношение амплитуд $\eta_n = \frac{z_n}{z_{n+1}} \quad n=1,2,3$			Среднее значение отношения амплитуд $n=3 \quad \eta_{cp} = \frac{\sum \eta_n}{3}$	Коэффициент относительного демпфирования
	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$\eta_1$	$\eta_2$	$\eta_3$		
Галопирование	12	7	4,0	2,3	1,715	1,750	1,735	1,735	0,0872
Боковая качка	30	7	1,5	—	4,280	4,670	4,475	4,475	0,2310

Примечание.  $\delta$  – логарифмический декремент затухания подсчитывают по формуле (18)

### Результаты испытаний при сбросе с клиньев тепловоза ТЭП150

В результате обработки записей затухающих колебаний определены частоты собствен-

ных видов колебаний и коэффициента относительного демпфирования.

На рис. 4 приведены образцы осциллограмм собственных колебаний тепловоза, результаты обработки осциллограмм приведены в табл. 4.

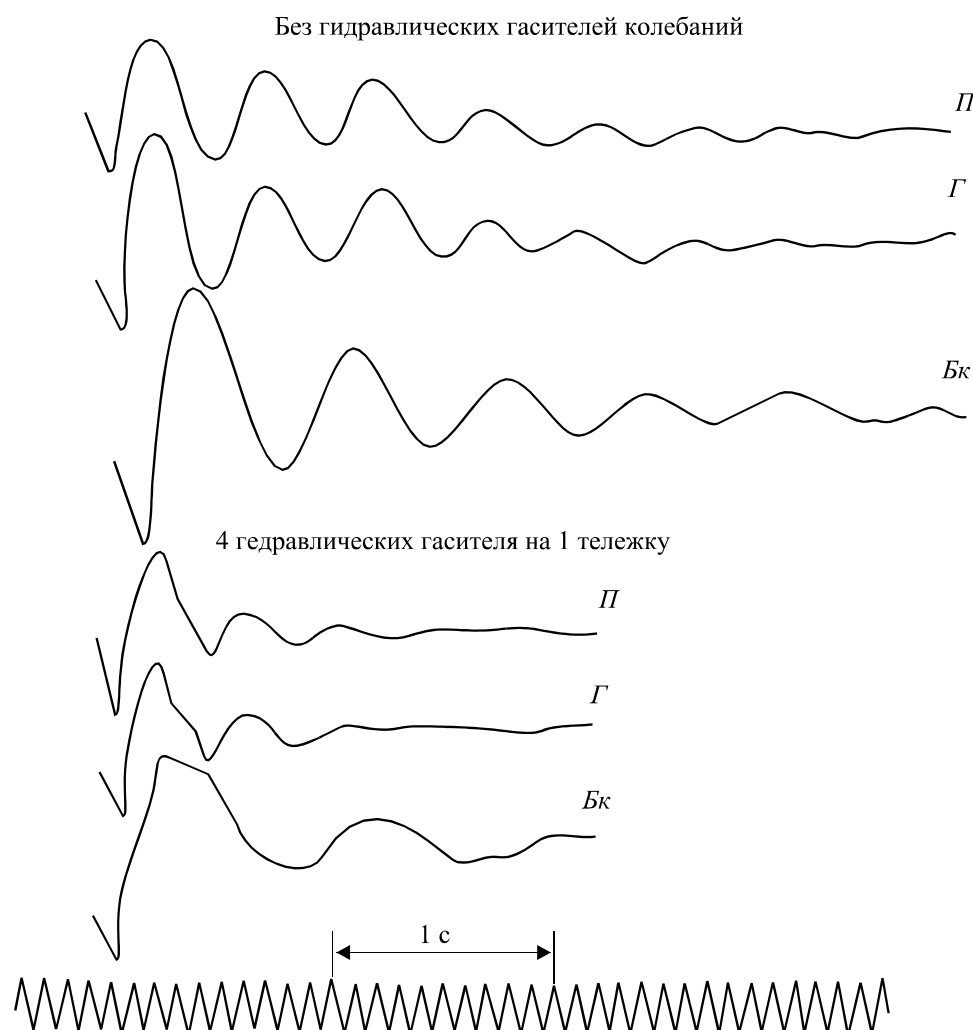


Рис. 4. Образец осциллограммы свободного колебания тепловоза:  
П – подпрыгивания; Г – галопирования; Бк – боковая качка

Частоты собственных колебаний и коэффициенты относительного демпфирования

Вид колебаний	Тип гасителей	Буксовое рессорное подвешивание				Коэффициент относительного демпфирования
		4 гасителя		Без гасителей		
	Гидродемпфер условный № 680	$N$ периодов до затухания	$f$ , Гц	$N$ периодов до затухания	$f$ , Гц	
Подпрыгивание	Гидравлический двухстороннего действия	2,0...2,5	1,84	6...7	1,95	0,29...0,30
Галопирование кузова		2,0...1,5	1,95	5	2,00	0,28...0,30
Боковая качка		1,5...2,0	0,05	7	0,85	0,27...0,3
Галопирование тележки		—	8,35	—	—	0,25

### Выводы

1. Полученные экспериментальные значения коэффициентов относительного демпфирования вертикальных колебаний (0,0806) и галопирования (0,0872) меньше рекомендуемых на практике экспериментальных исследований железнодорожного подвижного состава (0,2...0,25).

2. Коэффициент относительного демпфирования колебаний боковой качки находится в пределах нормы.

3. Для увеличения коэффициентов относительного демпфирования вертикальных колебаний и галопирования рекомендуется уста-

новка на тепловоз дополнительных гидравлических гасителей колебаний во второй ступени рессорного подвешивания.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Халфман Р. Л. Динамика / Пер. с англ. В. А. Космодемьянского. – М.: Наука, 1972.
2. Голубенко А. Л. Теоретические и экспериментальные исследования системы рессорного подвешивания вагона дизель-поезда / А. Л. Голубенко, А. С. Петров, К. П. Мищенко и др. // 36. наук. пр. Луганськ: СЛУ ім. В.Даля, – 2003. – Спец. Випуск. – С. 56–61.

Поступила в редколлегию 16.01.2006.

Е. П. БЛОХИН, М. Л. КОРОТЕНКО, С. В. МЯМЛИН, Р. Б. ГРАНОВСКИЙ,  
В. Л. ГОРОБЕЦ, Н. Я. ГАРКАВИ, Е. Ф. ФЕДОРОВ, В. В. КЛЮЕВСКИЙ (ДИИТ),  
Ю. М. ЧЕРКАШИН (ВНИИЖТ, Россия),  
Л. А. МАНАШКИН (Mechanical Engineering Department, NJIT, США)

## К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Запропоновано методику експериментальної оцінки втомлювальної міцності конструкції за допомогою трьохелементної розетки деформацій.

Предлагается методика экспериментальной оценки усталостной прочности конструкции при помощи трехэлементной розетки деформаций.

A method of experimental assessment of anti-fatigue strength of a structure with the use of three-element fork of deformations has been offered.

Для оценки усталостной прочности деталей из малоуглеродистых и низколегированных сталей достаточно часто [1–3] пользуются кривой Велера, которая строится в предположении, что

$$N\sigma^m(N) = \text{const}, \quad (1)$$

где  $\sigma(N) \geq \sigma_{-1}$  – амплитуда приведенных циклов колебаний напряжения [3; 4];  $\sigma_{-1}$  – предел усталости по нормальным напряжениям при изгибе;  $N$  – количество полных циклов изменения напряжения в диапазоне

$$-\sigma(N) \leq \sigma \leq +\sigma(N) \quad (2)$$

до полного разрушения образца; показатель степени  $m$  А. С. Гусев [2] называет параметром циклической трещиностойкости металла.

Для сварных и литых рам и балок в зависимости от материала Нормы [5] предлагают принимать:  $m \approx 4$  для малоуглеродистых сталей,  $m \approx 4,5$  для низколегированных сталей.

В условиях эксплуатации механических конструкций А. С. Гусев [2] предлагает плоское напряженное состояние на поверхности детали в каждый момент времени определять при помощи трехэлементной розетки деформаций, где деформации  $\varepsilon_1(t)$  и  $\varepsilon_2(t)$  измеряются датчиками, ориентированными во взаимно перпендикулярных направлениях, а  $\varepsilon_3(t)$  – датчиком, ориентированным вдоль биссектрисы угла между направлениями измерения  $\varepsilon_1(t)$  и  $\varepsilon_2(t)$ .

Нормальные и касательные напряжения плоского напряженного состояния в плоскости розетки согласно [2] определяются зависимостями:

$$\sigma_x(t) = A(\varepsilon_1(t) + \mu\varepsilon_2(t)); \quad (3)$$

$$\sigma_y(t) = A(\varepsilon_2(t) + \mu\varepsilon_1(t)); \quad (4)$$

$$\tau_{x,y}(t) = B(2\varepsilon_3(t) - \varepsilon_1(t) - \varepsilon_2(t)), \quad (5)$$

где

$$A = E/(1 - \mu^2); \quad B = 0,5E/(1 + \mu);$$

$E$  – модуль Юнга;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Очевидно, что при  $\sigma_z = \tau_{x,z} = \tau_{y,z} = 0$  нормальные и касательные напряжения ( $\sigma_v$  и  $\tau_v$ ) в площадках, определяемых перпендикулярным к этим площадкам вектором

$$\vec{v} = \begin{bmatrix} \cos(v, x) \\ \cos(v, y) \\ \cos(v, z) \end{bmatrix},$$

определяются зависимостями [2]

$$\begin{aligned} \sigma_v(t) &= \vec{v}' \cdot \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{x,y} & 0 \\ \tau_{x,y} & \sigma_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \vec{v} = \\ &= \sigma_x(t) \cos^2(v, x) + \sigma_y(t) \cos^2(v, y) + \\ &+ 2\tau_{x,y}(t) \cos(v, x) \cos(v, y), \quad (6) \end{aligned}$$



$$\bar{\tau}_v(t) = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{x,y} & 0 \\ \tau_{x,y} & \sigma_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \bar{v} - \sigma_v(t) \bar{v}. \quad (7)$$

Здесь  $\bar{v}'$  – матрица-строка (транспонированная матрица-столбец  $\bar{v}$ );  $(v, x)$  и  $(v, y)$  – углы между вектором  $\bar{v}$  и положительными направлениями осей датчиков, фиксирующих процессы  $\varepsilon_1(t)$  и  $\varepsilon_2(t)$ ;  $(v, z)$  – угол между вектором  $\bar{v}$  и перпендикуляром к плоскости розетки [6; 7]; нормальное напряжение  $\sigma_v$  – скаляр, касательное напряжение  $\bar{\tau}_v$  – вектор;

$$\cos^2(v, x) + \cos^2(v, y) + \cos^2(v, z) = 1. \quad (8)$$

Для определения циклограммы нагружения в каждой площадке А. С. Гусев [2] предлагает пользоваться условным напряжением

$$\sigma_p(t) = (2 - \lambda)\sigma_v(t) + (\lambda - 1)|\bar{\tau}_v(t)|, \quad (9)$$

где

$$1 \leq \lambda = \frac{\sigma_{-1}}{\tau_{-1}} \leq 2;$$

$\tau_{-1}$  – предел усталости по касательным напряжениям. При этом А. С. Гусев [2] отмечает, что усталость металла обычно определяется только нормальными напряжениями (т. е.  $\lambda = 1$ ).

На рис. 1 приведен усталостный излом цилиндрического образца, испытывавшего циклический изгиб.

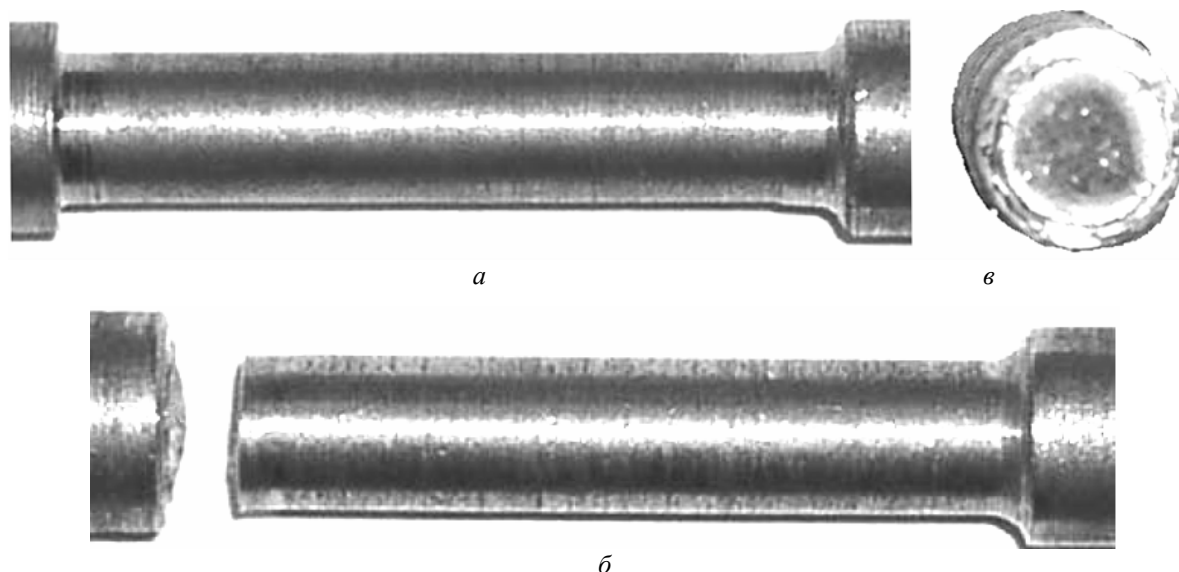


Рис. 1. Усталостное разрушение горизонтально расположенного вращающегося вала вертикальной силой (циклический изгиб,  $\approx 6000$  циклов до разрушения):  
а – вал до разрушения; б – вал после разрушения; в – усталостный излом вала (плоский излом, перпендикулярный продольной оси вала)

На рис. 1, в заметна концентричная боковой поверхности вала окружность, являющаяся границей развивавшейся усталостной трещины.

На рис. 2 и 3 приведены усталостные изломы цилиндрических образцов, испытывавших циклические изгиб и кручение. На рис. 2 показано усталостное разрушение образца № 1 из низколегированной стали диаметром 8 мм циклическими изгибно-крутильными колебаниями (чередующиеся 82 цикла крутильных колебаний и 21 цикл изгибных колебаний; амплитудные нормальные напряжения превышали предел упругости по нормальным напряжениям, амплитудные касательные напряжения превышали предел упругости по касательным напряжениям).

На рис. 2 и рис. 3, а, б, хорошо заметны продольные и преимущественно продольные усталостные трещины. На рис. 3, в приведен вид сверху на один из обломков, изображенных на рис. 2. Зарождающиеся трещины – радиальные или близкие к радиальным. Развиваются трещины не только в радиальном направлении.



Рис. 2

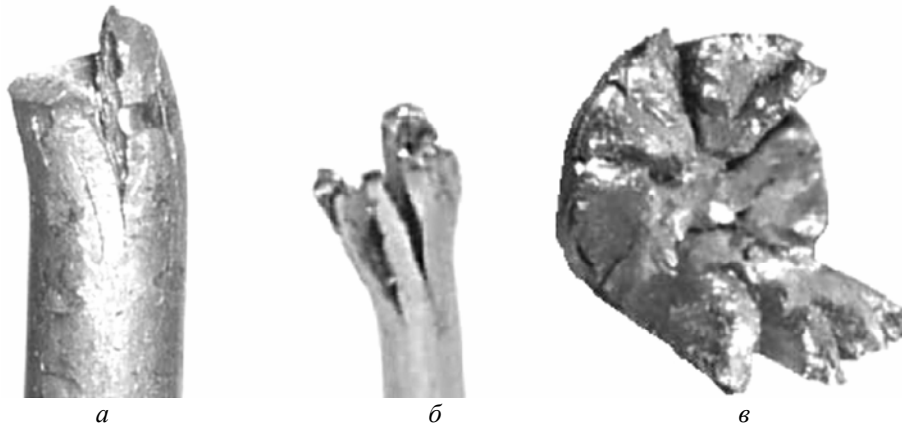


Рис. 3. Усталостное разрушение образца циклическими изгибно-крутильными колебаниями (амплитудные нормальные напряжения превышали предел упругости по нормальным напряжениям, амплитудные касательные напряжения превышали предел упругости по касательным напряжениям): *а* – усталостный излом образца № 2 из стали Ст3 диаметром 4 мм (чередующиеся 14 циклов крутильных колебаний и 3 цикла изгибных колебаний); *б* – усталостный излом образца № 3 из стали Ст0 диаметром 0,8 мм (чередующиеся 17 циклов крутильных колебаний и 3 цикла изгибных колебаний); *в* – усталостный излом образца № 1 (см. рис. 2)

Как видно из рис. 2, 3, усталостный излом не всегда приурочен к направлению, перпендикулярному наибольшему нормальному циклическому напряжению (так при циклическом крутильном нагружении наибольшие нормальные напряжения соответствуют площадке, расположенной под углом  $45^\circ$  к продольной оси образца, а усталостные трещины при циклическом кручении – продольные).

Отметим, что нормативная для вагоностроения документация [1] предписывает определять усталостную прочность несущих конструкций железнодорожных вагонов из выражения

$$\sigma_{\text{экв}} < [\sigma],$$

где допустимое напряжение  $[\sigma] = \sigma_{-1}/n$ ;  $n$  – коэффициент запаса усталостной прочности. Согласно кривой Велера  $\sigma_{\text{экв}}$  определяется [1]

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt[m]{\frac{\sum_{i=1}^I \sigma_i^m N_i}{N_0}}, \quad (10)$$

где  $N_0$  – базовое число циклов (количество полных циклов амплитудой  $\sigma_{-1}$  до разрушения образца);  $I$  – количество значений амплитуд (классов) в циклограмме;  $i$  – номер класса [4] (порядковый номер амплитуды  $\sigma_i$  в циклограмме);  $N_i$  – количество циклов, в которых амплитуда нормальных напряжений была  $\sigma_i$ . При этом согласно [1] в выражении (10) учитываются и те циклы, у которых  $\sigma_i < \sigma_{-1}$ .

В каждый момент времени  $t$  главные напряжения действуют в конкретной площадке с направляющим перпендикуляром  $\vec{v}(t)$ . В остальных площадках в этот момент времени имеют место как нормальные, так и касательные напряжения. В каждой площадке с направляющим перпендикуляром  $\vec{v}$  по реализациям  $\sigma_p(t)$  достаточно просто построить циклограммы нормальных напряжений и определить критерий усталости

$$G(v) = \sum_{i=1}^I \sigma_i^m N_i.$$

По циклограммам несложно выявить площадку с направляющим перпендикуляром  $\vec{v}_A$ , в которой критерий усталости окажется наибольшим (так называемое «опасное сечение»). Таким образом, в опасном сечении имеет место отношение

$$G(v_A) = \max_v G(v).$$

Оценка опасного сечения только по нормальным напряжениям (без учета касательных напряжений) несколько противоречит критерию, описанному в [2]. При этом предложенный в [2] способ построения  $\sigma_p(t)$  при помощи выражения (9) можно критиковать по двум причинам:

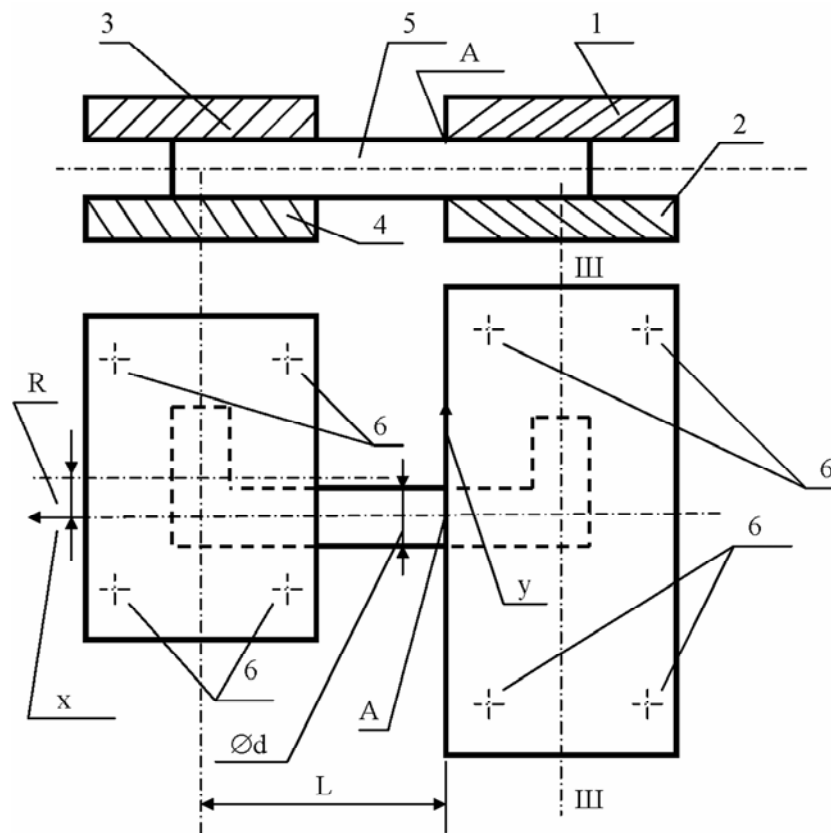
–  $|\vec{\tau}_v(t)|$  не фиксирует направление вектора  $\vec{\tau}_v(t)$ , поэтому не может учитывать полные циклы касательных напряжений;

$$\sigma_p(T_1 \leq t \leq T_2) < \sigma_v(T_1 \leq t \leq T_2)$$

Поскольку сопротивляемость металла разрушения нормальными и касательными напряжениями различна, представляет интерес оценка усталостной прочности с использованием условного напряжения, определенного по отличающейся от (9) эмпирической формуле

$$\sigma_{p,2}(t) = \vec{v}' \cdot \begin{bmatrix} \sigma_x & \lambda \tau_{x,y} & 0 \\ \lambda \tau_{x,y} & \sigma_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \vec{v}. \quad (11)$$

Все эксперименты проводились с холодно-тянутыми круглыми в поперечном сечении образцами из сталей Ст0-Ст3. Образцы испытывали одновременно циклические изгиб и кручение. Для экспериментов образец одним концом зажимался в поворотное устройство, а вторым концом – в грузило (рис. 4).



Расстояние  $L$  от стенок деталей 1 и 2 до продольной оси симметрии груза 3, 4 является плечом изгибающего момента. Расстояние  $R$  от центра масс груза с зажатой в него частью образца до продольной оси симметрии цилиндрической части образца является плечом крутящего момента. Масса груза с зажатой в него частью образца –  $M$ . Диаметр образца –  $d$ . Напряжения, действующие в точке  $A$  образца (около поворотного устройства) в положении, соответствующем рис. 4, согласно [8]

$$\sigma_x \approx \frac{32MgL}{d^3}, \quad (12)$$

$$\tau_{x,y} = \frac{16MgR}{d^3} \quad (13)$$

(на рис. 4 ось  $x$  расположена вдоль продольной оси образца, ось  $y$  – вдоль стенки поворотного устройства). При повороте поворотного устройства относительно горизонтальной оси IIII на  $180^\circ$  знаки напряжений в точке  $A$

поменяются на противоположные. Таким образом, при повороте поворотного устройства на  $360^\circ$  точка  $A$  испытает полный цикл напряжений (нормальных, обусловленных изгибающим моментом, и касательных, обусловленных крутящим моментом).

При определении условного напряжения по формуле (9) наибольшие нормальные напряжения в положении, соответствующем рис. 4, будут зафиксированы в площадках с направляющим перпендикуляром

$$\vec{v} = \begin{bmatrix} \cos(v, x) \\ \cos(v, y) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (14)$$

где

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{R}{L}. \quad (15)$$

При этом согласно (6) амплитуды полуциклов нормальных напряжений в площадках

$$\begin{aligned} \sigma_v &= Mg \left( \frac{32L}{d^3} \cos^2 \alpha + \frac{16R}{d^3} \sin 2\alpha \right) = \\ &= \frac{32Mg}{d^3} (L \cos \alpha + R \sin \alpha) \cos \alpha = WL_{\text{пр}}, \end{aligned} \quad (16)$$

где

$$W = \frac{32Mg}{d^3},$$

$$L_{\text{пр}} = (L \cos \alpha + R \sin \alpha) \cos \alpha.$$

Выражения (14) и (15) получены из (6), (8) и (16) на основании следующих соображений [9].

$$\begin{aligned} & \left( \forall_t \sigma_v(t) = \max \right) \wedge \\ & \wedge \left( \cos^2(v, x) + \cos^2(v, y) + \cos^2(v, z) = 1 \right) \Rightarrow \\ & \Rightarrow \left( \cos^2(v, z) = 0 \right) \Rightarrow \left( \cos^2(v, x) + \cos^2(v, y) = 1 \right) \Rightarrow \\ & \Rightarrow \left( \cos(v, y) = \sin(v, x) \right) \end{aligned} \quad (17)$$

и с точностью до обозначения  $(v, x) = \alpha$

$$\left( \frac{d\sigma_v}{d\alpha} = 0 \right) \Rightarrow \left( \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{R}{L} \right). \quad (18)$$

Эксперименты проводились с образцами трех типов, изготовленными из холодноотянутой

проволоки разных марок малоуглеродистой стали. Отличались образцы диаметром, маркой стали и условиями изготовления проволоки.

В табл. 1–3 проведено сравнение величин  $(L_{\text{пр},j}^m N)$ , полученных для различных значений  $M$ ,  $L$  и  $R$ . Согласно выражению (16) величина  $(L_{\text{пр},j}^m N)$  пропорциональна критерию усталости  $(\sigma_v^m N)$ . Здесь величина  $L_{\text{пр},j}$  определяется выражениями

$$L_{\text{пр},1} = \frac{M_k}{M_0} [L \cos \alpha + R \sin \alpha] \cos \alpha, \quad (19)$$

$$L_{\text{пр},2} = \frac{M_k}{M_0} (L \cos \alpha_2 + \lambda R \sin \alpha_2) \cos \alpha_2, \quad (20)$$

где  $M_0 = 0,5$  кг – масса одного из грузил;  $M_k$  – масса того грузила, с которым экспериментировали в опыте  $k$ ;  $\alpha$  определяется из выражения (15);  $N$  – количество циклов (поворотов поворотного устройства на  $360^\circ$ ) до разрушения образца,  $m = 4$ ,

$$\operatorname{tg} 2\alpha_2 = \frac{\lambda R}{L}, \quad (21)$$

согласно рекомендациям [2]

$$\lambda = \frac{1}{0,6} = 1,67.$$

В табл. 2, 3 двойными линиями разделены опыты с различными образцами, изготовленными из проволоки одного типа, но, возможно, разных плавов.

В каждой из табл. 1–3 определим

$$G_{\text{max},j} = \max_k (L_{\text{пр},j}^m N), \quad G_{\text{min},j} = \min_k (L_{\text{пр},j}^m N),$$

$$L_{\text{экв,max},j} = \sqrt[m]{G_{\text{max},j}}, \quad L_{\text{экв,min},j} = \sqrt[m]{G_{\text{min},j}},$$

$$L_{\text{экв,ср},j} = 0,5 (L_{\text{экв,max},j} + L_{\text{экв,min},j})$$

и относительную ошибку определения  $\sigma_{\text{экв}}$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{экв},j} &= \frac{L_{\text{экв,ср},j} - L_{\text{экв,min},j}}{L_{\text{экв,ср},j}} = \\ &= \frac{L_{\text{экв,max},j} - L_{\text{экв,ср},j}}{L_{\text{экв,ср},j}}. \end{aligned} \quad (22)$$

Таблица 1

## Серия экспериментов с образцами из отожженной проволоки диаметром 1,7 мм

$k$	$R$ , мм	$L$ , мм	$M_k$ , кг	$N$	$2\alpha$	$L_{np,1}$ , мм	$2\alpha_2$	$L_{np,2}$ , мм	$L_{np,1}^m N$	$L_{np,2}^m N$
1	0	60	0,50	29	0°	60	0°	60	$37,6 \cdot 10^7$	$37,6 \cdot 10^7$
2	0	37	0,50	108	0°	37	0°	37	$20,2 \cdot 10^7$	$20,2 \cdot 10^7$
3	0	24	0,50	854	0°	24	0°	24	$28,3 \cdot 10^7$	$28,3 \cdot 10^7$
4	0	52	0,50	67	0°	52	0°	52	$49,0 \cdot 10^7$	$49,0 \cdot 10^7$
5	3	30	0,50	384	5°45'	≈30	9°26'	30,0	$31,1 \cdot 10^7$	$31,1 \cdot 10^7$
6	54	53	0,50	30	45°30'	64,0	59°30'	79,0	$50,3 \cdot 10^7$	$116,9 \cdot 10^7$
7	38	25	0,50	96	56°40'	35,2	68°20'	46,8	$14,7 \cdot 10^7$	$46,0 \cdot 10^7$
8	34	33	0,50	170	46°	40,2	59°30'	49,1	$44,4 \cdot 10^7$	$98,8 \cdot 10^7$
9	30	15	0,50	408	63°30'	23,8	73°20'	34,0	$13,1 \cdot 10^7$	$54,5 \cdot 10^7$
10	10	30 <sup>1</sup>	0,50	452	≈18°	31,0	29°30'	32,0	$41,7 \cdot 10^7$	$47,4 \cdot 10^7$
11	27	20	0,50	214	53°30'	26,9	66°	34,7	$11,2 \cdot 10^7$	$31,0 \cdot 10^7$
12	14	22	0,50	425	32°30'	24,0	46°20'	27,0	$14,1 \cdot 10^7$	$22,6 \cdot 10^7$

Таблица 2

## Серия экспериментов с образцами из холоднотянутой проволоки диаметром 1,2 мм

$k$	$R$ , мм	$L$ , мм	$M_k$ , кг	$N$	$2\alpha$	$L_{np,1}$ , мм	$2\alpha_2$	$L_{np,2}$ , мм	$L_{np,1}^m N$	$L_{np,2}^m N$
13	0	38	0,50	46	0°	38	0°	38	$95,9 \cdot 10^6$	$95,9 \cdot 10^6$
14	0	30	0,50	151,5	0°	30	0°	30	$122,7 \cdot 10^6$	$122,7 \cdot 10^6$
15	22	17	0,50	109	52°25'	22,5	65°10'	28,7	$27,9 \cdot 10^6$	$74,0 \cdot 10^6$
16	3	28	0,50	47,5	6°	28,2	10°5'	28,2	$30,0 \cdot 10^6$	$30,0 \cdot 10^6$
17	28	15	0,50	119	61°50'	23,4	72°	32,1	$35,7 \cdot 10^6$	$126,3 \cdot 10^6$
18	17	25	0,50	172	56°	26,4	41°20'	31,2	$83,5 \cdot 10^6$	$163,0 \cdot 10^6$
19	47 <sup>2</sup>	13	0,50	22	74°30'	27,8	80°35'	46,0	$13,1 \cdot 10^6$	$98,5 \cdot 10^6$
20	0	12	0,50	1731	0°	12	0°	12	$35,9 \cdot 10^6$	$35,9 \cdot 10^6$
21	37 <sup>2</sup>	12	0,50	57	72°	25,6	79°	37,2	$24,5 \cdot 10^6$	$109,2 \cdot 10^6$
22	13	14	0,50	226	43°	16,6	57°	19,8	$17,2 \cdot 10^6$	$34,7 \cdot 10^6$
23	18 <sup>3</sup>	23	0,50	163	38°	26,2	52°30'	30,5	$76,8 \cdot 10^6$	$141,0 \cdot 10^6$
24	2	36	0,50	68	≈0°	36	5°18'	35,9	$114,2 \cdot 10^6$	$113,0 \cdot 10^6$
25	11	17	0,50	277	32°50'	18,7	47°10'	21,1	$33,9 \cdot 10^6$	$54,9 \cdot 10^6$
26	0	18	0,50	696	0°	18	0°	18	$105,0 \cdot 10^6$	$105,0 \cdot 10^6$
27	20	18	0,35	1175	48°	15,8	61°40'	19,6	$73,2 \cdot 10^6$	$173,4 \cdot 10^6$
28	42	13	0,35	257	72°45'	20,1	79°30'	28,5	$41,9 \cdot 10^6$	$169,6 \cdot 10^6$
29	50	8	0,35	472	80°55'	22,2	84°30'	32,4	$114,6 \cdot 10^6$	$520,1 \cdot 10^6$

Таблица 3

## Серия экспериментов с образцами из холодноотянутой проволоки диаметром 0,8 мм

$k$	$R$ , мм	$L$ , мм	$M_k$ , кг	$N$	$2\alpha$	$L_{пр,1}$ , мм	$2\alpha_2$	$L_{пр,2}$ , мм	$L_{пр,1}^m N$	$L_{пр,2}^m N$
30	0	20	0,50	73,5	0°	20	0°	20	11,8·10 <sup>6</sup>	11,8·10 <sup>6</sup>
31	10	15	0,50	97	33°40'	16,4	48°	20	7,0·10 <sup>6</sup>	15,5·10 <sup>6</sup>
32	18	20	0,50	30	42°	23,6	56°20'	28,2	9,3·10 <sup>6</sup>	19,0·10 <sup>6</sup>
33 <sup>4</sup>	13	13	0,50	224	45°	14,5	59°10'	19,1	11,7·10 <sup>6</sup>	32,8·10 <sup>6</sup>
	13	20		8	33°	21,8	42°30'	24,7	4,9·10 <sup>6</sup>	14,7·10 <sup>6</sup>
34	25 <sup>3</sup>	17	0,50	15,5	≈56°	23,7	66°	31,2	17,1·10 <sup>6</sup>	92,4·10 <sup>6</sup>
35	33 <sup>3</sup>	12	0,50	55	70°	23,6	77°45'	36	11,9·10 <sup>6</sup>	11,9·10 <sup>6</sup>
36	0	18	0,50	26	0°	26	0°	26	1,4·10 <sup>6</sup>	2,2·10 <sup>6</sup>
37	10	16	0,50	15	32°	17,4	46°10'	19,6	1,0·10 <sup>6</sup>	2,5·10 <sup>6</sup>
38	12	12	0,50	32	45°	13,4	59°	16,8	10,1·10 <sup>6</sup>	10,1·10 <sup>6</sup>
39	0	12	0,50	485	0°	12	0°	12	2,1·10 <sup>6</sup>	8,0·10 <sup>6</sup>
40	20	10	0,35	131	63°30'	11,3	73°20'	15,7	1,4·10 <sup>6</sup>	6,7·10 <sup>6</sup>
41	14	14	0,35	152	45°	9,8	59°	14,5	7,4·10 <sup>6</sup>	7,4·10 <sup>6</sup>
42	0	15	0,50	145,5	0°	15,0	0°	15,0	0,5·10 <sup>6</sup>	1,4·10 <sup>6</sup>
43	17	12	0,35	27	55°	11,6	67°10'	15	7,5·10 <sup>6</sup>	7,5·10 <sup>6</sup>
44 <sup>4</sup>	0	19	0,50	40	0°	19	0°	19	0,8·10 <sup>6</sup>	3,3·10 <sup>6</sup>
	0	23		8	0°	23	0°	23	11,8·10 <sup>6</sup>	11,8·10 <sup>6</sup>
45	17	10	0,35	72	59°30'	10,3	70°35'	14,6	7,0·10 <sup>6</sup>	15,5·10 <sup>6</sup>
46	0	33	0,50	16	0°	33	0°	33	9,3·10 <sup>6</sup>	19,0·10 <sup>6</sup>
47	10	17	0,50	12	30°30'	18,5	44°30'	20,8	11,7·10 <sup>6</sup>	32,8·10 <sup>6</sup>
48	2	13	0,50	212	≈0°	≈13	13°	13,3	4,9·10 <sup>6</sup>	14,7·10 <sup>6</sup>
49	12	11	0,50	94,5	57°30'	13,5	61°20'	16,9	17,1·10 <sup>6</sup>	92,4·10 <sup>6</sup>
50	0	20	0,50	40	0°	20,0	0°	20,0	11,9·10 <sup>6</sup>	11,9·10 <sup>6</sup>
51	23	29	0,35	69	38°30'	23,1	53°	27,1	1,4·10 <sup>6</sup>	2,2·10 <sup>6</sup>

Примечание для табл. 1–3: 1. Величина  $L$  в конце опыта оказалась меньше, чем в начале опыта.

2. С первого же цикла отмечается пластическая деформация образца.

3. После некоторого количества циклов отмечается пластическая деформация образца.

4.  $\Sigma$  – было осуществлено  $N_{(1)}$  циклов с нагружением при  $R_{(1)}$ ,  $L_{(1)}$  и  $N_{(2)}$  циклов с нагружением при  $R_{(2)}$ ,  $L_{(2)}$ ;

таким образом,  $L_{пр,j}^m N = L_{пр,j(1)}^m N_{(1)} + L_{пр,j(2)}^m N_{(2)}$ .

При  $j=1$  и  $j=2$  учтем только опыты на изгиб и кручение (чистый изгиб учитывать не будем). Кроме того, в каждой таблице определим величины  $G_{\max,0}$ ,  $G_{\min,0}$ ,  $L_{\text{экр},\max,0}$ ,  $L_{\text{экр},\min,0}$ ,  $L_{\text{экр},\text{ср},0}$  и  $\varepsilon_{\text{экр},0}$  для опытов с усталостным разрушением образцов чистым изгибом. Для каждой из табл. 1–3 сформируем соответ-

венно табл. 4–6 с величинами  $G_{\max,j}$ ,  $G_{\min,j}$ ,  $L_{\text{экр},\max,j}$ ,  $L_{\text{экр},\min,j}$ ,  $L_{\text{экр},\text{ср},j}$  и  $\varepsilon_{\text{экр},j}$ .

Анализируя табл. 2, можно сказать следующее. Учитывать при обработке опыт  $k=19$ , по-видимому, нельзя, т. к. реально на образцах действовали напряжения, меньшие расчетных. Опыты  $k=21$  и  $k=23$  придется учитывать,

т. к. на последней стадии перед разрушением неразрушенная часть металла не может сопротивляться изгибу и кручению так же, как и все сечение образца до приложения циклических напряжений. Естественно, 46 (опыт  $k = 13$ ) или даже 696 (опыт  $k = 26$ ) циклов до разрушения не соответствуют понятию многоциклового усталости (что справедливо и для результатов, представленных в табл. 1 и 3).

Таблица 4

Отработка результатов, приведенных в табл. 1

$J$	0	1	2
$G_{\max, j}$	$49,0 \cdot 10^7$	$50,3 \cdot 10^7$	$116,9 \cdot 10^7$
$G_{\min, j}$	$20,2 \cdot 10^7$	$11,2 \cdot 10^7$	$22,6 \cdot 10^7$
$L_{\text{экр}, \max, j}$	149	150	185
$L_{\text{экр}, \min, j}$	119	103	123
$L_{\text{экр}, \text{ср}, j}$	134	127	154
$\varepsilon_{\text{экр}, j}$	0,112	0,186	0,201

Таблица 5

Отработка результатов, приведенных в табл. 2

$j$	0	1	2
$G_{\max, j}$	$122,7 \cdot 10^6$	$114,6 \cdot 10^6$	$520,1 \cdot 10^6$
$G_{\min, j}$	$30,0 \cdot 10^6$	$17,2 \cdot 10^6$	$34,7 \cdot 10^6$
$L_{\text{экр}, \max, j}$	105	103	151
$L_{\text{экр}, \min, j}$	74	64	77
$L_{\text{экр}, \text{ср}, j}$	90	84	114
$\varepsilon_{\text{экр}, j}$	0,173	0,234	0,324

Таблица 6

Отработка результатов, приведенных в табл. 3

$J$	0	1	2
$G_{\max, j}$	$19,0 \cdot 10^6$	$19,6 \cdot 10^6$	$92,4 \cdot 10^6$ ( $32,8 \cdot 10^6$ )
$G_{\min, j}$	$6,4 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^6$
$L_{\text{экр}, \max, j}$	66,0	66,5	98,0 (75,7)
$L_{\text{экр}, \min, j}$	50,3	26,6	34,4
$L_{\text{экр}, \text{ср}, j}$	58,1	46,6	66,2 (55,1)
$\varepsilon_{\text{экр}, j}$	0,135	0,430	0,480 (0,375)

Примечание. В скобках приведены результаты для второго по величине значения  $G_{\max, 2}$ .

При формировании табл. 6, как и при обработке табл. 2, результаты опытов  $k = 34$  и  $k = 35$  придется учитывать.

Как видно из табл. 4,  $L_{\text{экр}, \max, 2} > L_{\text{экр}, \max, 0}$  и  $L_{\text{экр}, \max, 1} > L_{\text{экр}, \max, 0}$ ;  $L_{\text{экр}, \min, 2} > L_{\text{экр}, \min, 0}$  в то время, как  $L_{\text{экр}, \min, 1} < L_{\text{экр}, \min, 0}$ .

Как видно из табл. 5,  $L_{\text{экр}, \max, 2} > L_{\text{экр}, \max, 0}$  в то время, как  $L_{\text{экр}, \max, 1} < L_{\text{экр}, \max, 0}$ ;  $L_{\text{экр}, \min, 2} > L_{\text{экр}, \min, 0}$  в то время, как  $L_{\text{экр}, \min, 1} < L_{\text{экр}, \min, 0}$ .

Как видно из табл. 6,  $L_{\text{экр}, \max, 2} > L_{\text{экр}, \max, 0}$  и  $L_{\text{экр}, \max, 1} > L_{\text{экр}, \max, 0}$ ;  $L_{\text{экр}, \min, 2} < L_{\text{экр}, \min, 0}$  и  $L_{\text{экр}, \min, 1} < L_{\text{экр}, \min, 0}$ , но  $L_{\text{экр}, \min, 2} > L_{\text{экр}, \min, 1}$ .

Судя по результатам, приведенным в табл. 4–6, относительная ошибка  $\varepsilon_{\text{экр}}$  определения  $\sigma_{\text{экр}}$  при циклическом изгибе меньше, чем при совместных циклических изгибе и кручении. Возможно, это связано с неудачным выбором величины  $m$ .

Интересно (и это не противоречит [10]), что, если определять критерий усталости по нормальным напряжениям (согласно выражению (9) при  $\lambda = 1$ ), то иногда при циклическом изгибно-крутильном нагружении образец ломается при величинах  $(L_{\text{пр}, 1}^m N)$ , значительно меньших, чем при чистом циклическом изгибе (см., например, опыты  $k = 7$ ,  $k = 9$ ,  $k = 11$ ,  $k = 15$ ,  $k = 19$ ,  $k = 37$ ,  $k = 38$  в табл. 1–3).

При определении критерия усталости согласно выражению (11) случаев, когда при циклическом изгибно-крутильном нагружении образец ломается при величинах  $(L_{\text{пр}, 2}^m N)$ , значительно меньших, чем при чистом циклическом изгибе, практически не бывает.

## Выводы

1. Как следует из табл. 4–6, определение циклограмм нормальных напряжений и опасных сечений, используя зависимость (9) при  $\lambda = 1$ , а затем определение по этим циклограммам величины  $\sigma_{\text{экр}}$  может привести к ошибке, которая в запас усталостной прочности не идет.

2. Почти всегда «в запас» усталостную прочность детали можно определять, рассчитывая условное напряжение по формуле (11).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – 101 с.

2. А. С. Гусев. Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках. – М.: Машиностроение, 1989. – 248 с.
3. Когаев В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. – М.: Машиностроение, 1985. – 223 с.
4. ГОСТ 25.101-83. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов.
5. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
6. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1968. – 720 с.
7. Справочник машиностроителя. Т. 1. / Под ред. Е. А. Чудакова. – М.: Гос. науч. тех. издат. машиностроительной литературы, 1951. – 1036 с.
8. Справочник машиностроителя. Т. 3. / Под ред. Е. А. Чудакова. – М.: Гос. науч. тех. издат. машиностроительной литературы, 1951. – 1098 с.
9. Фор Р. Современная математика / Р. Фор, А. Кофман, М. Дени-Папен. – М.: Мир, 1966. – 272 с.
10. Романив О. Н. Механика разрушения и прочность материалов: Справочное пособие. Том 4. Усталостная и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / О. Н. Романив, С. Я. Ярема, Г. Н. Никифорчин, Н. А. Махутов, М. М. Стадник. – К.: Наук. думка, 1990. – 680 с.

Поступила в редколлегию 09.02.2006.



## ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТОРМОЗНОМ ДИСКЕ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА ПРИ ЭКСТРЕННЫХ ТОРМОЖЕНИЯХ

Наведено результати дослідження температури гальмівного диска пасажирського вагона при екстремних гальмуваннях. Виміри температури диска проводилися на вході, у середній частині і виході з накладки по ходу обертання колеса. Показано, що максимальні температури виникають на виході диска з накладки. Результати дослідження можуть бути використані для оцінки міцності гальмівного диска.

Представлены результаты исследования температуры тормозного диска пассажирского вагона при экстремных торможениях. Замеры температуры диска проводились на входе, в средней части и выходе из накладки по ходу вращения колеса. Показано, что максимальные температуры возникают на выходе диска из накладки. Результаты исследования могут быть использованы для оценки прочности тормозного диска.

The results of temperature measurements in the brake disc of a passenger car within the speed range of the emergency braking (40...120 km/h) are given in the article. The temperature measurements were made at the entrance, mid-range and exit of the disc from the brake lining in the direction of rolling. The diagrams of the temperature changes which depend upon braking time and running speed are presented. It is shown that maximum temperature values are in the area of disc exit from the brake lining during the rolling. The analytical dependences of the disc heating temperature upon the speed at the beginning of the braking operation are obtained.

Принятое направление на создание высоко-скоростного (до 200 км/ч и более) движения пассажирских составов локомотивной тяги невозможно без обеспечения подвижного состава высокоэффективной тормозной системой. К таким системам, в первую очередь, следует отнести тормозные системы с дисковыми тормозами и противоюзным устройством.

Важнейшей составной частью дисковой тормозной системы является тормозной диск, подвергающийся при торможении значительным силовым воздействиям, к основным из которых следует отнести температурные. Поэтому вопросы, связанные с распределением температурных полей в тормозном диске при торможении, являются актуальными.

Исследования распределения температуры в тормозном диске при экстренных торможениях проводились на пассажирском вагоне Крюковского вагоностроительного завода, оборудованного дисковыми тормозами, на магистральных железнодорожных путях путем многократных последовательных экстренных торможений в диапазоне скоростей в начале торможения 40...120 км/ч. Температуры в диске замерялись в области накладки: на входе, средней части и выходе диска из накладки по направлению вращения колеса (рис. 1).

Анализ результатов замеров температуры в диске свидетельствует (рис. 1–3) о неоднородном распределении температуры диска в

зоне накладки. Повышение температуры, в зависимости от скорости в начале торможения, представлено на рис. 4–6.

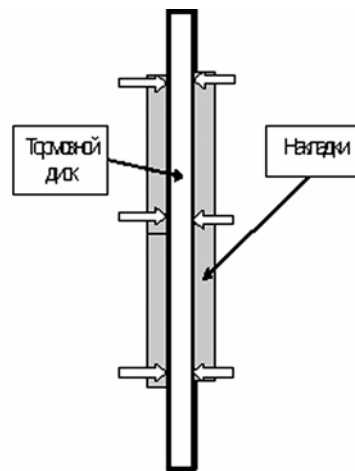


Рис. 1. Схема расстановки термодатчиков

Анализ полученных результатов показывает, что максимальная температура диска при экстренных торможениях возникает на выходе диска из накладки и достигает своего наибольшего значения за время равное половине общего времени торможения, причем максимальная скорость повышения температуры составила 34,67 °C/c; изменения температуры диска в средней части накладки имеет более равномерный характер и характеризуется максимальным градиентом температуры –6,8 °C/c; на входе в наладку градиент температуры составил 2,45 °C/c.

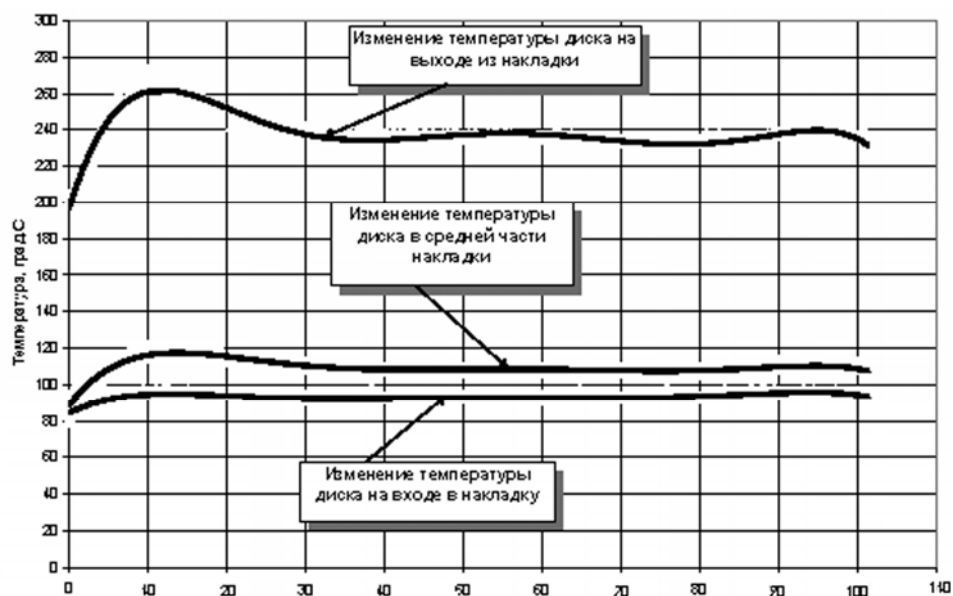


Рис. 2. Изменение температуры диска в зоне накладки при скорости 40 км/ч

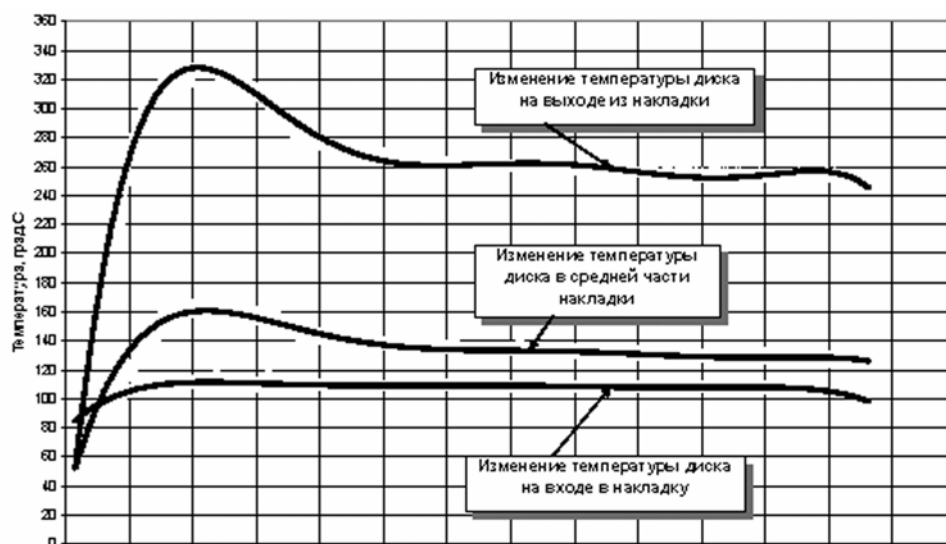


Рис. 3. Изменение температуры диска в зоне накладки при скорости 80 км/ч

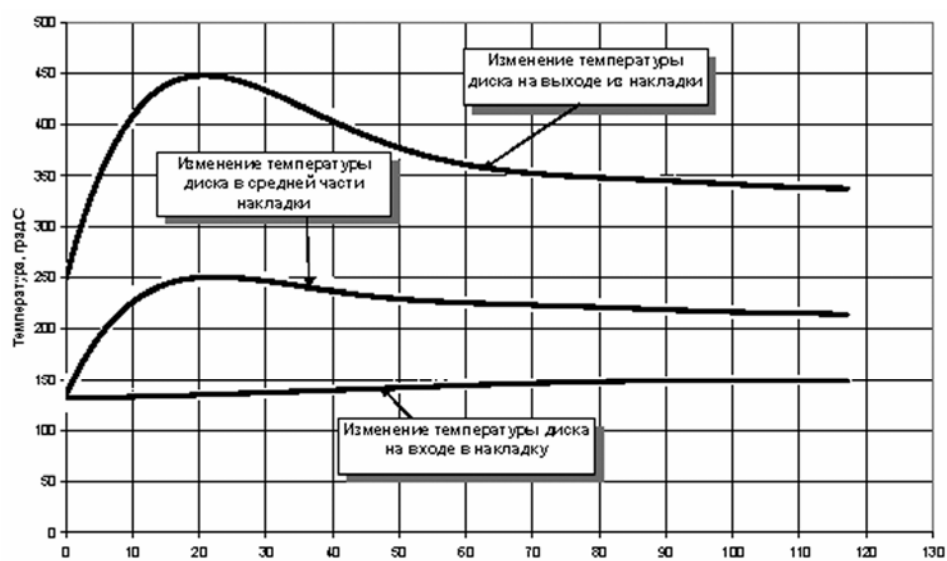


Рис. 4. Изменение температуры диска в зоне накладки при скорости 120 км/ч

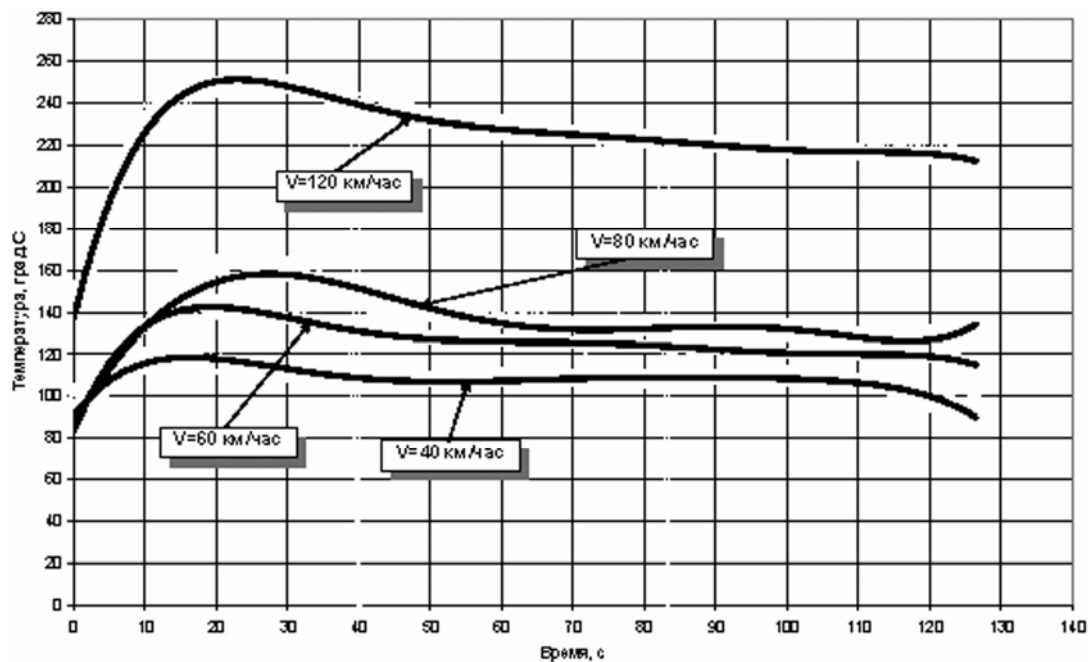


Рис. 5. Изменение температуры диска от скорости в начале торможения в области входа в накладку по направлению вращения колеса

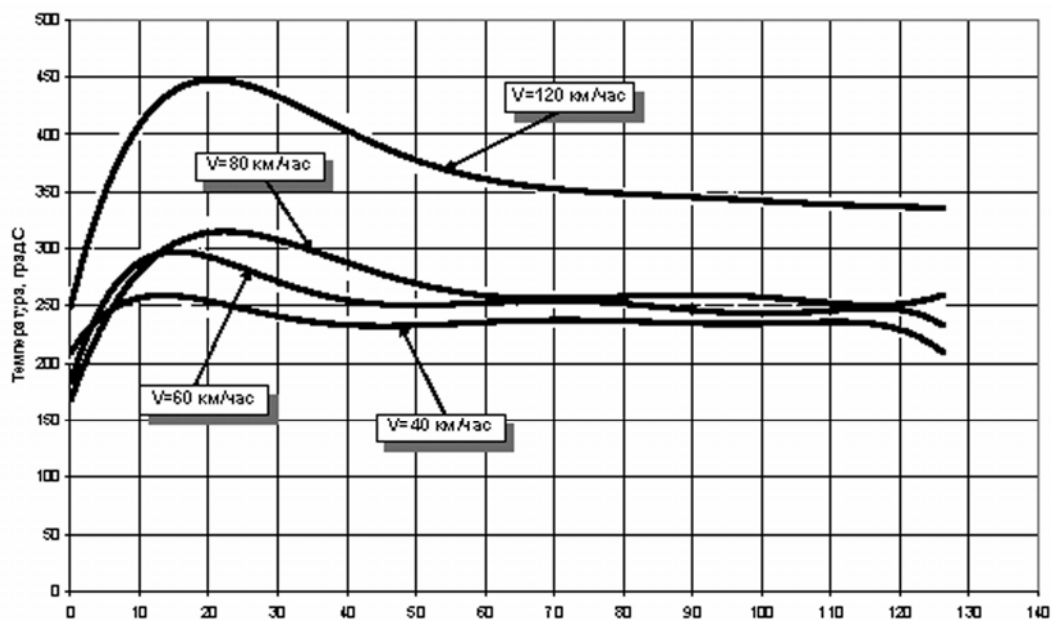


Рис. 6. Изменение температуры диска от скорости в начале торможения в средней части накладки

Данные испытаний подвергались статистической обработке с последующей аппроксимацией аналитическими зависимостями температуры в диске от скорости движения и времени торможения.

Для получения аналитической зависимости изменения температуры в диске от скорости в начале торможения использовался метод наименьших квадратов [1], при этом выбор уравнения проводился по максимальному значению  $R^2$  – достоверности аппроксимации, определяемое по формуле

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [T_i - F(V_i)]^2}{\sum_{i=1}^n T_i^2 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \right)^2}, \quad (1)$$

где  $F(V_i)$  – аналитическая функция, описывающая изменение температуры диска от скорости в начале торможения;  $V_0$  – скорость в начале торможения, км/ч.

Расчеты показали, что изменение температуры в диске от скорости в начале торможения на выходе и в средней части накладки описывается логарифмической зависимостью, а на входе – квадратичной (рис. 7).

Максимальные температуры диска вдоль накладки описываются линейной зависимостью и представлены на рис. 8.

В процессе проведения поездных испытаний проводились замеры температуры диска вне зоны накладки с помощью дистанционного лазерного пирометра непосредственно после остановки вагона, которые показали, что после ряда последовательных торможений методом «бросания» максимальные температуры при скоростях 160 км/ч и выше не превысили 260 °С (рис. 9).

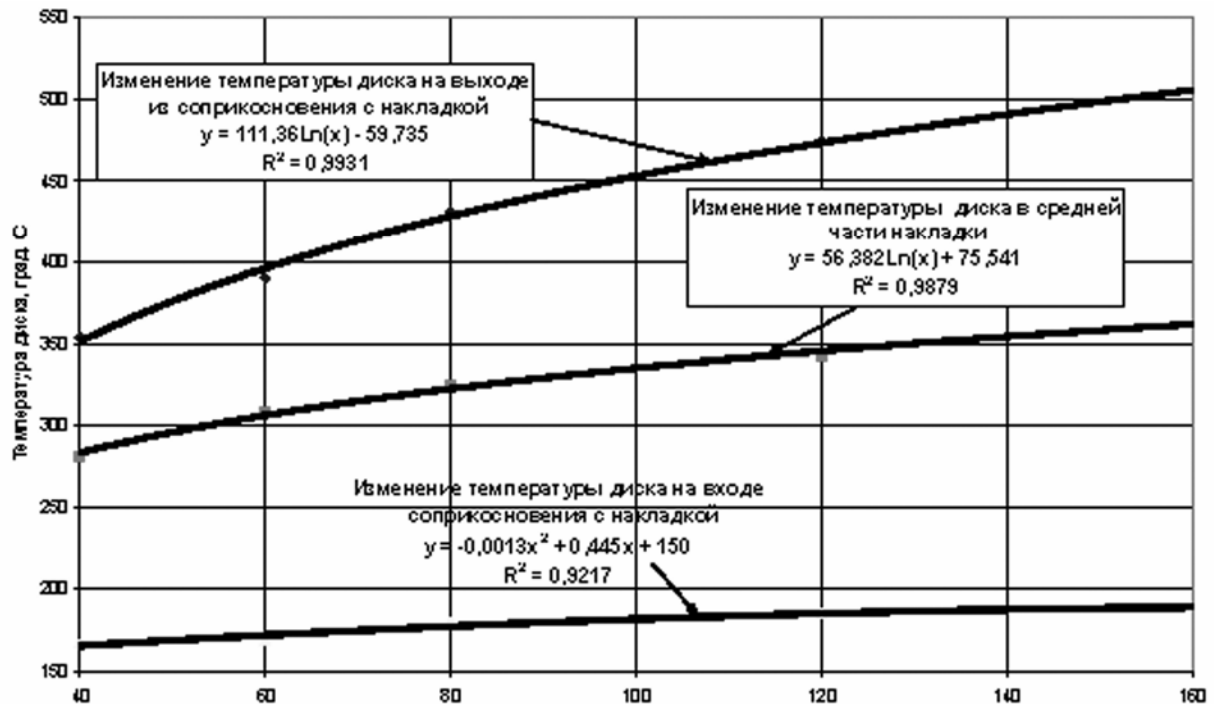


Рис. 7. Изменение температуры диска от скорости в начале торможения на выходе из накладки по ходу движения

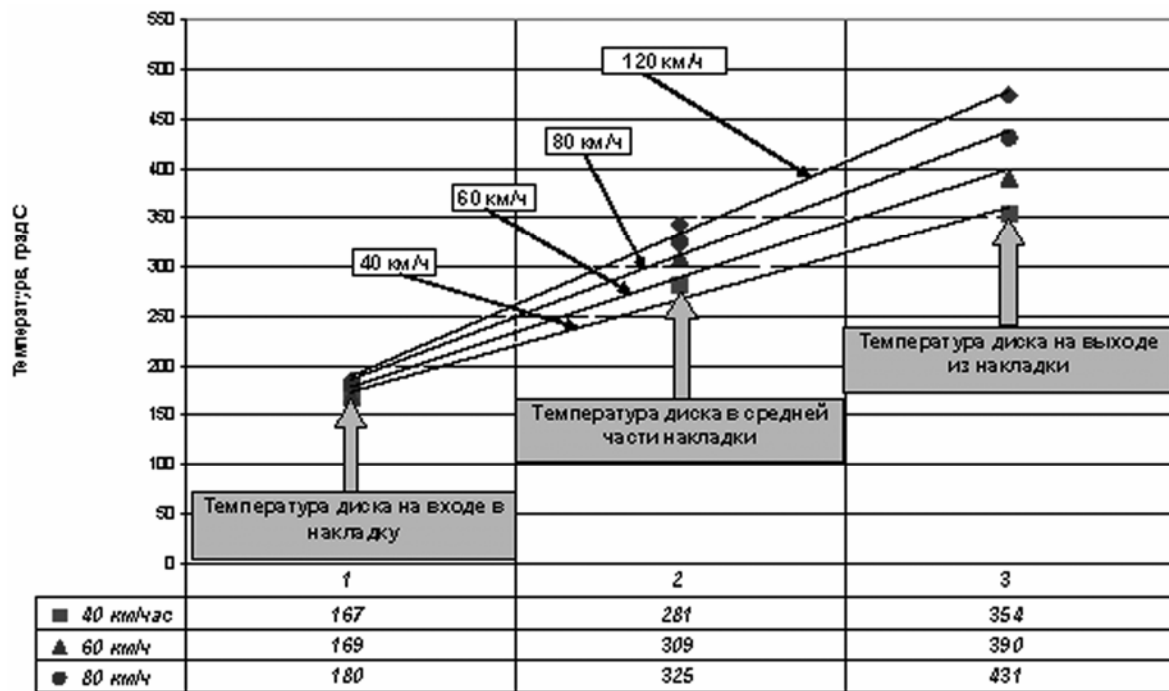


Рис. 8. Максимальные значения температуры в диске, в зависимости от скорости в начале торможения

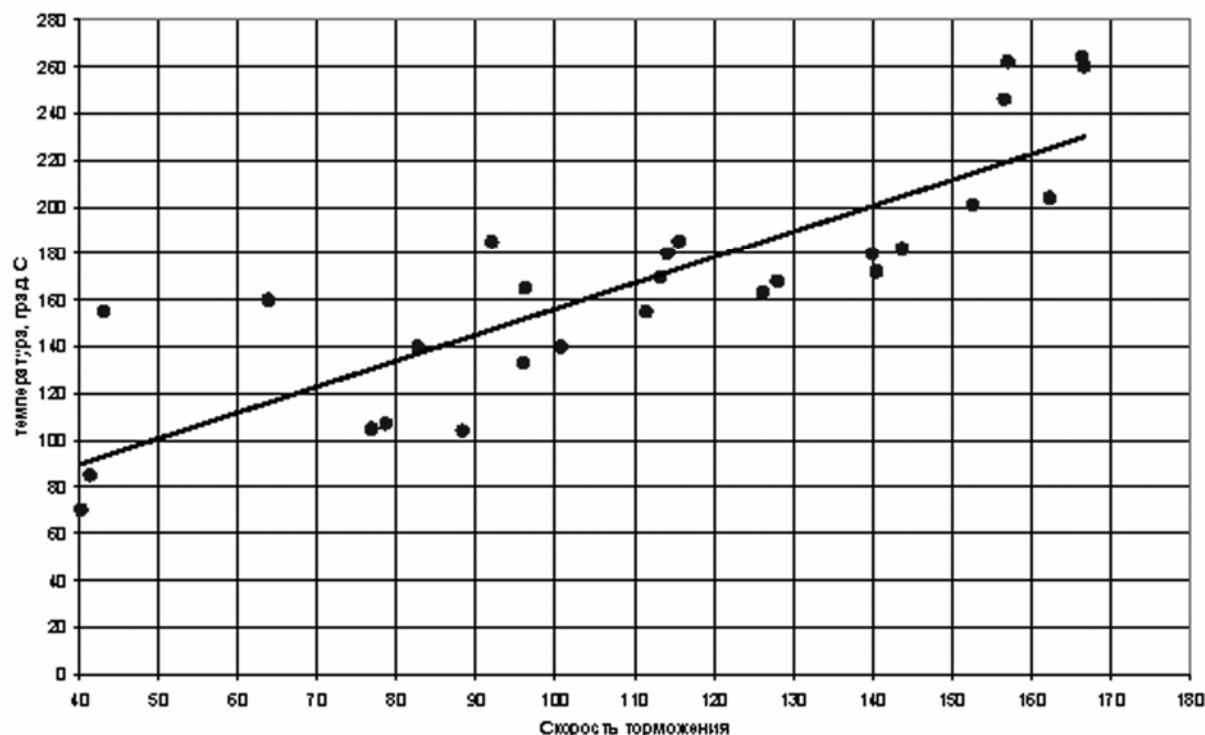


Рис. 9. Изменение температур диска вдоль накладки

На основании выполненных исследований установлено:

1. Температура диска вдоль накладки изменяется по линейному закону от минимального значения на входе до максимального на выходе по ходу вращения колеса.

2. Максимальные значения температуры диска достигаются на выходе из накладки.

3. Изменение температуры диска от скорости в начале торможения в средней части накладки и на выходе из накладки описывается логарифмической зависимостью, на входе в накладку – квадратичной.

4. Максимальная температура диска при скорости 160 км/ч может составить 196, 362 и

505 °С соответственно на входе, в средней части и выходе из накладки.

5. Температуры в диске достигают максимального значения за время равное половине времени от начала торможения до полной остановки вагона.

6. Вне зоны накладки температура диска не превышает 200 °С.

7. Результаты исследования могут быть использованы для оценки прочности диска.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Е. Н. Львовский. Статистические методы построения эмпирических формул. – М.: Высш. шк., 1988.

Поступила в редколлегию 09.02.2006.

А. Н. КИРЕЕВ (ОАО «ХК Лугансктепловоз»)

## ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ КАТАНЫХ КОЛЕСНЫХ ЦЕНТРОВ ЛОКОМОТИВОВ В РАДИАЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ

Наведено результати експериментальних і теоретичних досліджень з застосування АД-діаграм для оцінки припустимості несущільності під час ультразвукового контролю катаних колісних центрів в радіальному напрямку. Застосування цього методу дозволяє позбутися необхідності виготовлення стандартних зразків підприємства та зменшити похибки оцінюючи припустимість несплошностей. Результати дослідження використані у ВАТ «ХК «Лугансктепловоз» в процесі впровадження ультразвукового контролю катаних колісних центрів локомотивів на відсутність неприпустимих несплошностей металу.

Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований по применению АД-диаграмм для оценки допустимости несплошностей при ультразвуковом контроле катанных колесных центров в радиальном направлении. Применение этого метода позволяет избавиться от необходимости изготовления стандартных образцов предприятия и уменьшить погрешность при оценке допустимости несплошностей. Результаты исследования использованы в ОАО «ХК «Лугансктепловоз» при внедрении ультразвукового контроля катанных колесных центров локомотивов на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей металла.

The article presents the results of experimental and theoretical research on application of ADD-diagrams for estimation of admissibility of defects in ultrasonic control of the rolled wheel centers in radial direction. The application of this method will eliminate the need of producing the standard manufacturer's samples and reduce the error in estimation of defects admissibility. The results of the study have been used at OJSC Luganskteplovoy in introduction of ultrasonic control of the rolled locomotive wheel centers for absence of impermissible internal metal defects.

Современная научно-техническая революция, повышение темпов жизни поставили перед железнодорожным транспортом сложную технико-экономическую задачу организации высокоскоростного пассажирского движения. Это в первую очередь связано с созданием более мощных пассажирских локомотивов, с повышенными требованиями к качеству.

Одной из задач при создании скоростных пассажирских локомотивов является уменьшение общей массы локомотива для ослабления динамического воздействия на рельсовый путь, в частности, уменьшение неподрессоренной массы ходовой экипажной части (оси, колеса, буксовые узлы).

Одним из путей уменьшения неподрессоренной массы ходовой экипажной части является замена литых колесных центров при изготовлении составных колес колесной пары катаными [1; 2].

На рис. 1 показан скоростной пассажирский тепловоз ТЭП 150 производства ОАО «ХК Лугансктепловоз», в конструкции ходовой экипажной части которого применены катаные колесные центры. Помимо меньшей массы катаные колесные центры имеют более высокие показатели механических свойств по сравнению с литыми [3].



Рис. 1. Скоростной пассажирский тепловоз ТЭП 150 производства ОАО «ХК «Лугансктепловоз»

Одной из наиболее ответственных операций для обеспечения качества катанных колесных центров является ультразвуковой контроль на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей в соответствии с [4].

Объемные литые несплошности в процессе пластической деформации при изготовлении катанных колесных центров приобретают плоскую форму, что делает их более опасными. Несплошности также имеют различную ориентацию в пространстве (рис. 2), поэтому амплитуда эхо-сигнала от них в различных направле-

ниях при ультразвуковом контроле будет не одинаковой. В связи с этим катаные колесные центры подвергаются ультразвуковому контролю в осевом направлении: обод и ступица, в радиальном направлении: обод и зона перехода от обода к диску.

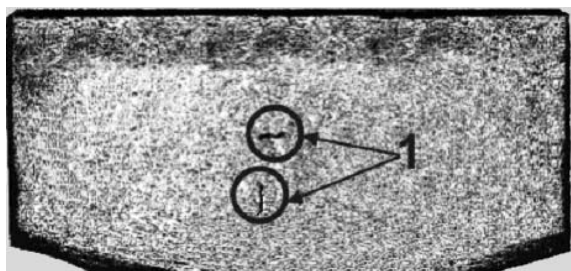


Рис. 2. Фотография макроструктуры катаного колесного центра:

1 – несплошности в обode катаного колесного центра

В ранее существующих методиках ультразвукового контроля катаных колесных центров настройка чувствительности ультразвукового дефектоскопа и оценка допустимости несплошностей производилась по стандартным образцам предприятия (СОП) с выполненными в них глухими сверлениями с плоским дном на разной глубине в контролируемой зоне.

Оценка допустимости несплошностей по эталонным отражателям в стандартных образцах предприятия может быть выполнена только со значительной погрешностью [5].

Основную погрешность вносит разность затухания в изделии и стандартном образце. Для уменьшения погрешности требуется переход к методике оценки допустимости несплошностей без применения СОП, одним из таких способов методики оценки допустимости несплошностей является работа с АРД-диаграммами (амплитуда-расстояние-диаметр). Особенности работы с АРД-диаграммами в осевом направлении при ультразвуковом контроле катаных колесных центров на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей рассмотрены автором ранее в работе [3].

Целью данной работы является исследование возможности применения АРД-диаграмм для оценки допустимости несплошностей при ультразвуковом контроле катаных колесных центров в радиальном направлении.

В радиальном направлении, в отличие от осевого, отсутствует донная поверхность, эхо-сигнал от которой можно использовать для учета затухания ультразвуковой волны в изделии [3]. Помимо ослабления эхо-сигнала от несплошности в радиальном направлении вследствие затухания происходит ослабление за счет ввода ультразвуковой волны через выпуклую цилиндрическую поверхность.

Толщина контактного слоя между ультразвуковым преобразователем и криволинейной поверхностью будет меньше для центральной и больше для краевых точек преобразователя, кроме этого выпуклая цилиндрическая поверхность будет играть роль расфокусирующей линзы для ультразвуковой волны. Влияние кривизны поверхности ввода ультразвуковой волны на амплитуду эхо-сигнала от отражателей было исследовано различными авторами в работах [6–8].

Радиус катаных колесных центров после предварительной механической обработки составляет 455 мм. Как следует из работы [8] пренебрегать кривизной поверхности ввода ультразвуковой волны и пользоваться формулами акустического тракта для плоской поверхности ввода можно при радиусах кривизны больше 500 мм.

Для расчета амплитуды эхо-сигнала от плоскодонных отражателей в дальней зоне (зоне Фраунгофера) преобразователя (в ближней зоне контроль производится раздельно-совмещенными преобразователями) используется формула

$$\left| \frac{A}{A_0} \right| = \frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2}, \quad (1);$$

где  $A$  – амплитуда принятого сигнала;  $A_0$  – амплитуда опорного сигнала, в качестве опорного сигнала принимается эхо-сигнал от донной поверхности (59 мм) в стандартном образце СО-2 [9];  $S_a$  – площадь излучателя;  $S_b$  – площадь отражателя;  $\lambda$  – длина продольной ультразвуковой волны;  $x$  – расстояние до отражателя.

Для учета затухания и ослабления вследствие потерь на кривизне поверхности формула умножается на

$$e^{-2\delta x},$$

где  $\delta$  – коэффициент ослабления ультразвука вследствие затухания и ослабления на кривизне поверхности ввода ультразвуковой волны. Амплитуда эхо-сигнала в дБ равна

$$A_{\text{дБ}} = 20 \lg \left| \frac{A}{A_0} \right|. \quad (2).$$

Для расчета относительного коэффициента ослабления (за счет затухания, расхождения и ослабления при вводе ультразвука через криволинейную поверхность) в дБ используется формула

$$N_{\text{дБ}} = \frac{A_{\text{дБ(дн)}}}{x}, \quad (3);$$

где  $A_{\text{дБ(дн)}}$  – амплитуда донного эхо-сигнала в дБ относительно СО-2.

Для расчета абсолютного коэффициента ослабления (за счет затухания и ослабления при вводе ультразвука через криволинейную поверхность) используется формула

$$\delta = -\frac{\ln\left(\frac{10^{A_{\text{дБ(дн)}/20} 2\lambda x}{S_a}\right)}{2x} = -\frac{\ln\left(\frac{10^{(N_{\text{дБ} \cdot x)/20} 2\lambda x}{S_a}\right)}{2x}. \quad (4)$$

В радиальном направлении отсутствует донная поверхность, для определения коэффициента ослабления ультразвуковой волны в радиальном направлении были проведены экспериментальные исследования.

**Аппаратура и исследуемые образцы.** Для экспериментальных исследований были изготовлены шесть образцов из катаного колесного центра (рис. 3), для получения разного затухания в них ультразвуковой волны они были подвергнуты термической обработке по режимам указанным в табл. 1.

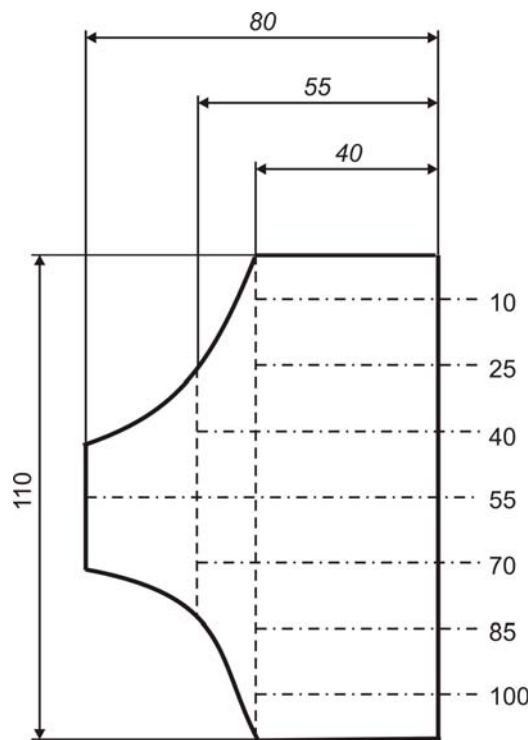


Рис. 3. Образцы из катаного колесного центра: - - - - место реза образцов; — — — место определения коэффициента ослабления

Таблица 1

Режимы термической обработки образцов из катаного колесного центра

№ образца	Режим термической обработки
1	Нормализация от 830 °С, отпуск при 500 °С
2	Нормализация от 850 °С, отпуск при 500 °С
3	Нормализация от 870 °С, отпуск при 500 °С
4	Нормализация от 890 °С, отпуск при 500 °С
5	Нормализация от 910 °С, отпуск при 500 °С
6	Нормализация от 930 °С, отпуск при 500 °С

Шероховатость поверхности ввода ультразвуковой волны и донной поверхности не более  $R_z = 40$  мкм. В качестве контактной жидкости использовалось масло индустриальное И 20 с кинематической вязкостью  $\nu = 66,57$  сСт. Для исследований использовался ультразвуковой дефектоскоп УД 2-70, пьезоэлектрический преобразователь П111-2,5-к12-003.

**Методика и проведение испытаний.** Коэффициент ослабления по координате 55 мм определялся по донному эхо-сигналу на глубине 80 мм, коэффициенты ослабления по координатам 40 и 70 мм определялся по донным эхо-сигналам на глубине 55 мм, коэффициент ослабления по координатам 10, 25, 85 и 100 мм определялся по донным эхо-сигналам на глубине 40 мм.

Также измерялся донный эхо-сигнал в осевом направлении и определялись относительный и абсолютный коэффициенты ослабления. Результаты представлены в табл. 2.

По донным эхо-сигналам в образцах произвели расчет коэффициента ослабления  $N_{\text{дБ}}$  в радиальном направлении, результаты расчета представлены в виде графика на рис. 4.

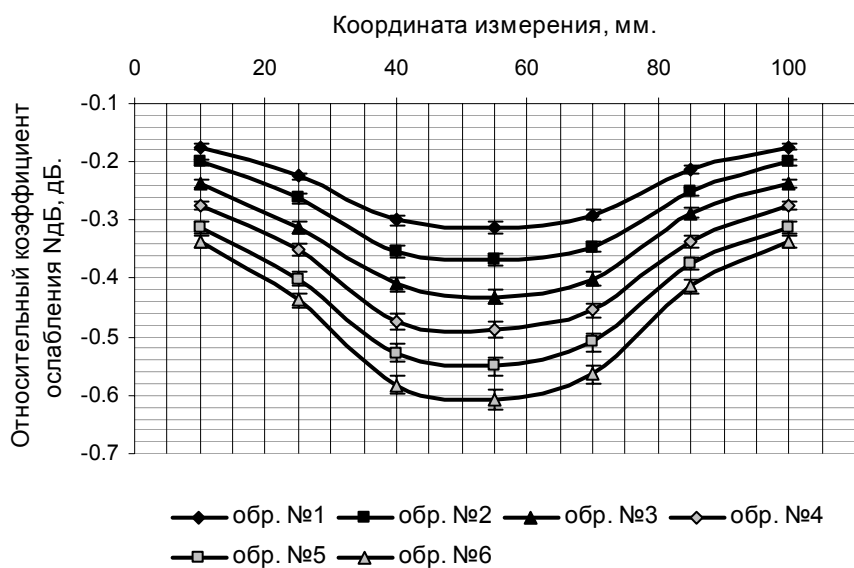
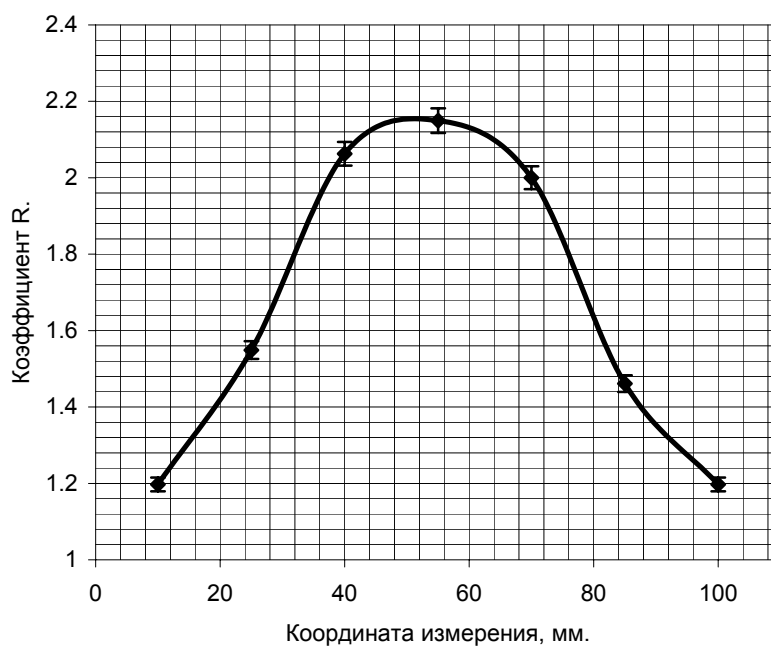
Далее был произведен расчет коэффициента  $R$ , характеризующего отношение относительного коэффициента ослабления в радиальном направлении к относительному коэффициенту ослабления в осевом направлении.

Усредненные результаты расчета показаны в виде графика на рис. 5, погрешность усреднения не более 1,5 %. Расчетная АРД-диаграмма для образца № 1, координата 55 мм, диаметр плоскодонного отражателя 3 мм приведена на рис. 6.



Таблица 2

№ исследуемого образца	Амплитуда донного эхо-сигнала в осевом направлении относительно $CO^{-2}A_{дБ}$ , дБ	Относительный коэффициент ослабления $N_{дБ}$ , дБ/мм	Абсолютный коэффициент ослабления $\delta$ , Нп/мм
1	-16	-0,1454500	0,00140331
2	-19	-0,1727273	0,00297325
3	-22	-0,2000000	0,00454320
4	-25	-0,2272727	0,00611314
5	-28	-0,2545455	0,00768309
6	-31	-0,2818182	0,00925303

Рис. 4. Зависимость относительного коэффициента ослабления  $N_{дБ}$  сигнала от координаты измеренияРис. 5. Зависимость коэффициента  $R$  от координаты измерения

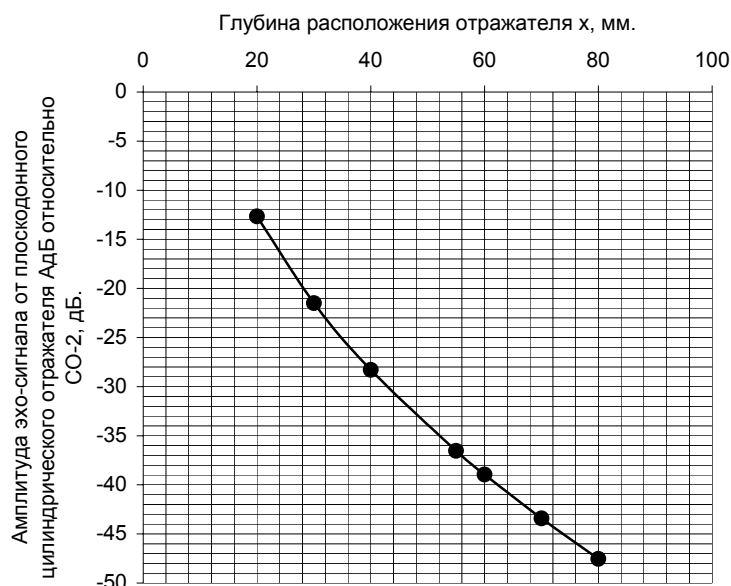


Рис. 6. Расчетная АРД-диаграмма для образца № 1, координата 55 мм, диаметр плоскодонного отражателя 3 мм

### Выводы

В результате проведенных исследований выявилась возможность работы с АРД-диаграммами для оценки допустимости несплошностей при контроле катаных колесных центров в радиальном направлении.

При ультразвуковом контроле катаного колесного центра по донному эхо-сигналу в осевом направлении определяется относительный коэффициент ослабления эхо-сигнала, умножая его на коэффициент  $R$  из графика (см. рис. 5) для разных координат определяется относительный коэффициент ослабления в радиальном направлении и, воспользовавшись формулами (1) и (2), выстраиваются АРД-диаграммы (см. рис. 6) для различных координат контроля, по которым проводится оценка допустимости несплошностей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 4491-86. Центры колесные литые для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия.
2. ТУ У 14-4-497-2001 Центры колесные катаные для тепловозов. Технические условия.
3. Киреев А. Н. Улучшение показателей качества и надежности катаных колесных центров тепловозов путем повышения достоверности ультра-

звукового контроля // Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту. Зб. наук. пр. УКРДАЗТ – 2004. – № 64. – С. 110–117.

4. ГОСТ 11018-2000 Тяговый подвижной состав железных дорог колеи 1520 мм. Колесные пары. Общие технические условия.
5. Ермолов И. Н. Неразрушающий контроль. Кн. 2. Акустические методы контроля / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов. – М.: Высш. шк., 1991. – 283 с.
6. Басов Г. Г. Особенности ультразвукового контроля в радиальном направлении осей колесных пар подвижного состава железных дорог / Г. Г. Басов, В. Л. Марков, А. Н. Киреев, С. А. Волкова // Техническая диагностика и неразрушающий контроль – 2004. – 3. – С. 49–50.
7. Голубев А. С. Расчет акустического тракта эхоскопа при контроле изделий с криволинейной поверхностью контактным способом / А. С. Голубев, С. К. Паврос // Известия Ленинградского электротехнического института. – 1970. – № 89. – С. 122–124.
8. Розина М. В. Некоторые особенности ультразвукового контроля тел вращения // Дефектоскопия. – 1966. – № 4 – С. 16–21.
9. ГОСТ 14782. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.

Поступила в редколлегию 09.02.2006.

## ТЕРМИНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНОГО СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Обґрунтовано можливість і доцільність термінального керування рухом магнітолевитуруючого поїзда з використанням лінійного синхронного двигуна. Проаналізовані вимоги до якості такого руху, а також обмеження його регулятора. Розроблений алгоритм формування позиційного термінального керування системою.

Обоснована возможность и целесообразность терминального управления движением магнитолевитирующего поезда с использованием линейного синхронного двигателя. Проанализированы требования к качеству такого движения, а также ограничения его регулятора. Разработан алгоритм формирования позиционно-терминального управления системой.

The article substantiates practicability and expediency of terminal operation of a magnetic-levitation train with the use of a linear synchronous motor, examines quality requirements to the movement of such train and the limits its controller and also develops an algorithm of positional terminal control of the system.

Результаты теоретико-экспериментальных исследований в области перспективных наземных транспортных технологий [1; 2] свидетельствуют о практической невозможности дальнейшего существенного наращивания их интенсивности без перехода на бесконтактные системы подвешивания, направления и движения экипажей. Весьма перспективным [3; 4] оказалось использование для этих целей электромагнитного поля. Конструктивно реализация первых двух из перечисленных функций (подвешивание и направление единиц транспортных средств) во многих практических случаях возлагается на единый левитационно-направляющий электромагнитный блок и происходит в пассивном режиме, обеспечиваемом за счет соответствующих схемных решений. Для инициации же движения экипажей наиболее приемлемы линейные тяговые двигатели, в частности синхронные [2; 4].

Движение магнитолевитирующего поезда (МЛП), имеющее в качестве основной задачи перемещение пассажиров и грузов, при реализации регламентируется графиком движения, требующим приведения его объекта к назначенным моментам времени в заданную последовательность состояний. Поэтому управление таким движением достаточно корректно и полно может осуществляться терминально [5; 6] с наложением реальных ограничений на пространства фазовых координат  $\Omega_x(t)$ , возмущений  $\Omega_w(t)$  и управлений  $\Omega_u(t)$  [7]. В зависимости от целей и задач исследования эти множества могут быть различными физически интерпретированы.

В то же время в принципиальном плане управление практически любым реальным движением МЛП может рассматриваться как терминальное и, следовательно, синтезироваться как таковое. До настоящего времени в известных авторам публикациях такая задача не решена.

Целями статьи являются:

1. Обоснование возможности и целесообразности терминального управления движением МЛП с использованием линейного синхронного двигателя; анализ требований к качеству такого движения, а также ограничений его регулятора.

2. Разработка алгоритма формирования позиционного терминального управления системой.

Модель управляемого движения механической подсистемы (МП) поезда, как известно, имеет вид

$$\dot{x}(t) = f[x(t), u(t), w(t), t] \quad \forall t \in [t_s, \theta]; \quad x(t_s) = x_s, \quad (1)$$

где  $x(t), u(t), w(t) \quad \forall t \in [t_s, \theta]$  – векторы состояния подсистемы, а также управляющих и возмущающих воздействий на нее;  $t$  – удобная для проведения исследования независимая переменная, например, время;  $[t_s, \theta]$  – интервал управления движением;  $x_s$  – его начальные условия.

В случае терминального управления цель этого движения формализуется программой

$$x(\tau) = x_f, \quad (2)$$

где  $\tau, x_f$  – значения независимой переменной и вектора состояния МП МЛП в конечный на

рассматриваемом терминальном интервале управления момент. При этом, исходя из физического смысла процесса движения, должны быть соблюдены условия:

$$x(t) \in \Omega_x(t), u(t) \in \Omega_u(t) \quad \forall t \in [t_s, \tau]. \quad (3)$$

И, кроме того, известна некоторая априорная информация

$$w(t) \in \Omega_w(t) \quad \forall t \in [t_s, \tau]. \quad (4)$$

Программа (2) накладывает ограничение лишь на конечное (на интервале  $[t_s, \tau]$ ) состояние МП поезда. Поэтому моделью (1) совместно с условиями (2)–(4) определяется ансамбль фазовых траекторий изображающей точки подсистемы в пространстве ее состояний:

$$\begin{aligned} X[u(\bullet), w(\bullet), x_s, x_f] = \\ = \{x[\bullet, u(\bullet), w(\bullet), x_s, x_f] \in \Omega_x(t) : \\ u(\bullet) \in \Omega_u(t), w(\bullet) \in \Omega_w(t), t \in [t_s, \tau]\}; \\ u(\bullet) = \{u(t) \forall t \in [t_s, \tau]\}; w(\bullet) = \{w(t) \forall t \in [t_s, \tau]\}; \\ x[\bullet, u(\bullet), w(\bullet), x_s, x_f] = \\ = \{x[t, u(\bullet), w(\bullet), x_s, x_f] \forall t \in [t_s, \tau]\}, \quad (5) \end{aligned}$$

каждая из которых удовлетворяет краевым условиям

$$\left. \begin{aligned} x(t_s) &= x_s, \\ x(\tau) &= x_f. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Если, помимо удовлетворения этих условий, к движению МП МЛП не предъявляется никаких иных требований, то управление ею синтезируется как чисто терминальное, предполагающее, в зависимости от конкретных значений возмущений (4), возможность реализации любой траектории из ансамбля (5). Таким образом, в данном случае целенаправленное движение определено лишь с точностью до этого возможного ансамбля.

Из изложенного следует, что при чисто терминальной постановке задачи поиска управления движением МП поезда относительно его конкретной реализации имеется существенный конструктивный произвол. Он может быть использован для придания этому движению дополнительных полезных свойств.

Например, если потребовать, чтобы, помимо удовлетворения условий (3) и (6), на реализуемой фазовой траектории подсистемы имело место соотношение

$$\begin{aligned} I = \inf_{u(\bullet)} \sup_{w(\bullet)} \left\{ \int_{t_s}^{\tau} \lambda[u(\bullet), w(\bullet)] dt : \right. \\ \left. u(\bullet) \in \Omega_u(t), w(\bullet) \in \Omega_w(t), t \in [t_s, \tau] \right\}, \quad (7) \end{aligned}$$

где  $I$  – интегральный показатель качества управления;  $\lambda$  – заданная функция своих аргументов, то задача синтеза управления носит игровой минимаксный характер, базирующийся на концепции гарантированного результата [8].

При этом упомянутое управление приобретает свойства, оптимальные по критерию  $I$ , а из ансамбля (5) реализуется единственная траектория, экстремальная по этому критерию. Целенаправленное движение МП МЛП определено однозначно и гарантировано обладает оптимальностью в указанном смысле при любых возможных возмущениях. Такой подход позволяет при необходимости в различных эксплуатационных режимах оптимизировать требуемые характеристики указанного движения.

Итак, путем классификации и параметризации обстановки, в которой происходит движение МП МЛП [8], а также построения для каждой типовой ситуации оптимального, в требуемом смысле, управления этим движением может быть решена задача синтеза абстрактного разомкнутого [9] терминального целенаправленного его принуждения. Однако на практике при разработке конструктивных систем такого принуждения неизбежно возникает проблема необходимости одновременного удовлетворения совокупности инженерных требований, предъявляемых к качеству указанного движения. Одним из способов построения оптимального управления в этом случае является введение векторных критериев, каждый из которых состоит из ряда вторичных критериев, которым одновременно должно удовлетворять движение МП поезда.

Анализ изложенного свидетельствует о двойственности управления, синтезируемого исходя из концепции гарантированного результата, и поэтому, в каждом режиме движения МЛП, оптимального по некоторому в общем случае векторному критерию качества. С одной стороны, такое управление, несомненно, обладает более высоким качеством, по крайней мере в отношении указанного критерия, в сравнении с чисто терминальным принуждением.

Однако, с другой стороны, построение такого оптимального управления требует многократного совмещенного с процессом движения, оперативного решения игровой минимаксной задачи типа (7). Это, усугубляясь, в общем случае, векторностью минимизируемого функционала, а также необходимостью решения подчиненной задачи идентификации объекта движения, предъявляет весьма высокие требования к вычислительному, а также иным устройствам регулятора, осуществляющего синтез искомого управления.

Поэтому окончательное решение относительно наиболее приемлемого, в каждой конкретной ситуации, типа стратегии формирования принуждающего воздействия на движение должно приниматься с обязательным учетом реальных ограничений на характеристики управляющего устройства, определяемых, с одной стороны, уровнем обязательных требований к качеству этого движения и, с другой стороны, техническими, экономическими, временными, а также иными ресурсами, которые возможно и целесообразно затратить на создание этого устройства.

В зависимости от места расположения регулятора системы управления движением поезда, как известно [10], подразделяются на стационарные и бортовые. Несмотря на такие привлекательные свойства стационарных систем, как меньшая критичность к энергопотреблению, вычислительной мощности управляющего компьютера, габаритам и весу, более легкие условия эксплуатации (понижение уровня помех и возмущений, менее острый дефицит оперативной информации) и некоторые иные (менее значимые), бортовые системы, обладая, в свою очередь, автономностью, гораздо меньшей инерционностью и более высокой точностью, а также рядом иных принципиальных преимуществ [7], во многих случаях, очевидно, более предпочтительны в качестве терминальных для управления движением МЛП. На основании этого в дальнейшем изложении возможные подходы к решению задачи синтеза терминального управления указанным движением конкретизируются применительно к системам бортового типа.

При синтезе бортовой терминальной системы управления движением МП МЛП с целью снижения требований по надежности, весу и так далее целесообразным является наложение на свободу выбора управляющего устройства некоторых дополнительных ограничений. Практическая применимость результатов упомянутого синтеза в значительной мере, очевидно, зависит от способа формализации этих ограничений.

Для бортовых терминальных систем в качестве дополнительных ограничений наиболее удобными оказались [7] ограничения по структуре системы, основными из которых являются ограничения по емкости оперативной и долговременной памяти управляющего устройства, а также по виду реализуемых им операций. Из общей теории терминального управления следует, что [7] уменьшение необходимой емкости оперативной памяти требует снижения количества информации, перерабатываемой регулятором при формировании управляющего воздействия. Эффективным средством ограничения потребной емкости долговременной памяти является сокращение общего числа перемен параметров алгоритма управления за все время движения. Наконец, целесообразным является принятие в качестве допустимого типа операций, реализуемых упомянутым управляющим устройством, арифметических операций, число которых заранее ограничено.

Необходимость учета приведенных целесообразных ограничений на структуру используемых регуляторов, а также наличных технических возможностей и экономической целесообразности их создания в современных условиях приводят к заключению о рациональности синтеза чисто терминальной исходной версии таких регуляторов, на основе одностепенной расчетной схемы МП МЛП. Один из возможных подходов к решению задачи такого синтеза, инициированных изложенными соображениями, описан ниже.

В качестве расчетной схемы МП поезда примем материальную точку  $C$ , расположенную, например, в его голове и обладающую массой  $m$ . Тогда естественное движение такой точки однозначно представимо законом  $\eta(t)$  изменения во времени  $t$  расстояния  $\eta$ , пройденного ею от начала движения вдоль линии, параллельно сдвинутой относительно оси пути, под воздействием проекции  $F_n$  – равнодействующей естественных возмущений этого движения – на касательную к упомянутой линии. Такое движение может быть описано с помощью второго закона Ньютона

$$m\ddot{\eta} = F_n. \quad (8)$$

В таком случае любое физически реализуемое управляемое движение моделируемой точки может быть представлено уравнением

$$m\ddot{\eta} = F_n + F_c, \quad (9)$$

где  $F_c$  – проекция управляющих сил на ту же касательную.

Иным, более конструктивным, представлением того же целенаправленного движения является его программа, составленная относительно обобщенной координаты подсистемы  $\eta$ . Физическая сущность изучаемого процесса такова, что закон  $\eta(t)$  всегда является непрерывной действительной функцией своего аргумента. Поэтому согласно теореме Вейерштрасса о приближении функции упомянутая программа любого управляемого движения рассматриваемой системы может быть принята в виде

$$\eta(t) = E_i t^{(i)} \delta^i \forall i \in [0, j], \quad (10)$$

где  $E \forall i \in [0, j]$  – подлежащие определению коэффициенты аппроксимационного полинома;

$$\delta^i = [1, 1, \dots, 1]^T \forall i \in [0, j].$$

Значения  $E_i \forall i \in [0, j]$  должны быть определены, очевидно, исходя из краевых условий движения на его терминальном интервале  $[t_s, \tau]$ . Поэтому для обеспечения однозначности этого определения в (10) примем

$$j = \rho + n - 1,$$

где  $\rho = 2$  – порядок принятого модельного представления исследуемой подсистемы;  $n$  – число ограничений, накладываемых на ее конечное состояние.

Не снижая общности рассмотрения, положим, что  $t_s = 0$ . Тогда из (10) следует, что

$$E_0 = \eta_s; \quad E_1 = \dot{\eta}_s, \quad (11)$$

где  $(\eta_s, \dot{\eta}_s) = x_s$  – исходное состояние подсистемы.

Учет линейности принятого представления объекта движения позволяет при разработке замкнутой системы управления им считать, что

$$\left. \begin{aligned} E_i &= i^{(-1)} E_{i-1}^{(1)} \forall i \in [2, (n+1)]; \\ E_{i-1}^{(1)} &= \frac{d}{dt} E_{i-1}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

В то же время, последовательно дифференцируя (10) и записывая результаты такого дифференцирования для терминального момента  $\tau$ , получим:

$$\begin{aligned} \eta_f^{(i)} &= v! [(v-i)!]^{(-1)} E_v \tau^{(v-i)} \delta^v \\ \forall i &\in [2, (n+1)], \quad v \in [i, (n+1)], \end{aligned} \quad (13)$$

где  $(\eta_f, \dot{\eta}_f) = x_f$  – терминальное состояние подсистемы.

Совокупность же выражений (12) и (13) позволяет после выполнения ряда преобразований записать соотношение

$$\begin{aligned} E_i &= (-1)^{(\xi)} (n-\xi+1)! [i!(n-i-\xi+1)! \xi! \tau^{(i-\xi)}]^{(-1)} \times \\ &\times a_\xi \delta^\xi - (n-\zeta+1)! [(n-i+1)!(i-\zeta)! \tau^{(i-\zeta)}]^{(-1)} \times \\ &\times E_\zeta \delta^\zeta; \quad a_\xi = \eta_f^{((\xi))} \forall i \in [2, (n+1)], \\ \xi &\in [0, (n-i+1)], \quad \zeta \in [0, (i-1)]. \end{aligned} \quad (14)$$

Таким образом, с помощью равенств (11) и (14), исходя из задаваемых  $\eta_s, \dot{\eta}_s$ , а также  $\eta_f^{((\xi))} \forall \xi \in [0, (n-1)]$  могут быть однозначно определены  $E_i \forall i \in [0, (n+1)]$ , входящие в программу движения (10).

Согласно принятому способу преобразования естественного движения МП МЛП (8) в его требуемые рабочие движения, удовлетворяющие программе (10), к системе должно быть приложено аддитивное принуждение  $F_c$ , необходимый закон изменения которого может быть получен путем решения обратной задачи динамики этой подсистемы из (9) в виде

$$F_c(t) = m \ddot{\eta}(t) - F_n(t), \quad (15)$$

где, исходя из (10),

$$\begin{aligned} \ddot{\eta}(t) &= v! [(v-2)!]^{(-1)} \times \\ &\times E_v t^{(v-2)} \delta^v \quad \forall v \in [2, (n+1)]. \end{aligned} \quad (17)$$

Совокупность выражений (11) и (14)–(16) позволяет реализовывать «жесткое» программное терминальное управление продольным движением МП МЛП. Однако, как известно, требование сохранения целенаправленности и адаптивности такого движения в реальных условиях наличия его возмущений приводит к необходимости синтеза замкнутого управления. Для этого текущее фазовое состояние МП поезда будем считать начальным и поэтому в (16) примем  $t = 0$ ; время терминального перехода  $\tau$  в выражениях (14) заменим интервалом  $(\tau - t)$ , оставшимся до окончания упомянутого перехода.

Выполнив отмеченные преобразования, получим следующее выражение, определяющее в совокупности с (16) замкнутое синтезируемое управление:

$$\begin{aligned} \ddot{\eta}(t) = & 2\{(-1)^{(\xi)}(n-\xi+1)!\left[2(n-\xi-1)!\xi!\times\right. \\ & \times(\tau-t)^{(2-\xi)}\left.]^{(-1)} a_{\xi} \delta^{\xi} - (n-\zeta+1)!\left[(n-1)!\times\right. \\ & \times(2-\zeta)!(\tau-t)^{(2-\zeta)}\left.]^{(-1)} E_{\zeta} \delta^{\zeta}\right\}; \\ a_{\xi} = & \eta_f^{((\xi))} \quad \forall \xi \in \overline{[0, (n-1)]}, \zeta \in \overline{[0, 1]}. \quad (18) \end{aligned}$$

Построенное таким образом управление имеет особенность в терминальной точке, заключающуюся в том, что при  $t \rightarrow \tau$  знаменатели слагаемых в последнем выражении стремятся к нулю, а поэтому сами эти слагаемые неограниченно возрастают. Одним из наиболее приемлемых способов устранения указанной особенности управления, определяемого выражениями (15) и (17), является реализация в пространстве состояний подсистемы преследования ее изображающей точкой  $H$  целевой фазовой точки  $G$ , опережающей точку  $H$  на малый временной интервал  $\Delta$ . Очевидно, что чем меньше значение этого интервала, тем «жестче» управление, то есть тем точнее ведомая точка  $H$  повторяет движение ведущей. Итак, будем считать, что с интервалом  $\Delta$  целевая точка  $G$  совершает синфазное (10) движение, которое поэтому может быть представлено программой:

$$\begin{aligned} \eta_G^{((i))} = & \lambda![(\lambda-i)!]^{(-1)} L_{\lambda}(t+\Delta)^{(\lambda-i)} \delta^{\lambda} \\ \forall i \in & \overline{[0, (n+1)]}, \quad \lambda \in \overline{[i, (n+1)]}; \\ L_0 = & E_0; \quad L_1 = E_1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\lambda} = & (-1)^{(\xi)}(n-\xi+1)!\left[\lambda!(n-\lambda-\xi+1)!\times\right. \\ & \left.\xi!(t+\Delta)^{(\lambda-\xi)}\right]^{(-1)} a_{\xi} \delta^{\xi} - (n-\zeta+1)!\times \\ & \left[(n-\lambda+1)!(\lambda-\zeta)!(t+\Delta)^{(\lambda-\zeta)}\right]^{(-1)} L_{\zeta} \delta^{\zeta}; \\ a_{\xi} = & \eta_f^{((\xi))} \quad \forall \lambda \in \overline{[2, (n+1)]}, \\ \xi = & \overline{[0, (n-\lambda+1)]}, \quad \zeta \in \overline{[0, (\lambda-1)]}. \end{aligned}$$

Подставляя в (17) определенные таким образом  $\eta_G^{((i))} \forall i \in \overline{[0, (n-1)]}$  вместо  $\eta_f^{((\xi))} \quad \forall \xi \in \overline{[0, (n-1)]}$ , а также  $\Delta$  вместо  $(\tau-t)$ , чем устраняется особенность управления в терминальной точке, после преобразований приходим к замкнутому закону управления, лишенному указанных особенностей:

$$\ddot{\eta}(t, \eta, \dot{\eta}) = k_j \delta^j t^{(j)} + \mu_{\kappa} e^{\kappa};$$

$$\begin{aligned} k_j = & \left[2(n-v+1)!(j+v)!\right] \left[j!(n-1)!\times\right. \\ & \left.\times(2-v)!v!\Delta^{(2-v)}\right]^{(-1)} E_{\xi} \delta^{\xi}; \end{aligned}$$

$$\gamma_{\kappa} = -\left[2(n-\kappa+1)!\right] (n-1)!(2-\kappa)!\kappa!\Delta^{(2-\kappa)}]^{(-1)};$$

$$e^{\kappa} = \left[\eta^{((\kappa))}\right]^T; \quad \xi = j+v$$

$$\forall j \in \overline{[0, (n+1)]}, v \in \overline{[0, 2]}, \kappa \in \overline{[0, 1]}. \quad (18)$$

В последних выражениях  $E_{\xi} \forall \xi \in \overline{[0, (n+3)]}$  определяются согласно (11) и (14) после принятия  $i \in \overline{[2, (n+3)]}, \xi \in \overline{[0, (n-i+3)]}$ . Из этого следует, что реализация синтезированного закона управления требует знания  $\eta_f^{((\xi))} \forall \xi \in \overline{[0, (n+3)]}$ .

В то же время  $\eta_f$  и  $\dot{\eta}_f$  известны априорно, а значениями  $\eta_f^{((\xi))} \forall \xi \geq 2$  определяется плавность подхода подсистемы к терминальному состоянию. Поэтому вполне допустимо принять

$$\eta_f^{((\xi))} \equiv 0 \quad \forall \xi \geq 2$$

и, следовательно, в (14) считать  $\xi \in \overline{[0, 1]}$ . В случае же возникновения такой необходимости подсистема может быть «загружена» принятием

$$\eta_f^{((\xi))} = \Xi_{\zeta}; \quad \zeta = \xi - 2 \quad \forall \xi \in \overline{[2, (n+3)]},$$

где  $\Xi_{\zeta} \forall \zeta \in \overline{[0, (n+1)]}$  – некоторые допустимые значения величин  $\eta_f^{((\xi))} \forall \xi \in \overline{[2, (n+3)]}$  с сохранением в таком случае в (14)  $\xi \in \overline{[0, (n+3)]}$ .

Между коэффициентами характеристического полинома передаточной функции рассматриваемой подсистемы, совпадающими с  $\gamma_{\kappa} \forall \kappa \in \overline{[0, 1]}$  в (18), с одной стороны, и собст-

венной частотой  $\omega_0$ , а также декрементом  $\chi$  затухания системы – с другой, существует связь, определяемая соотношениями [7]:

$$\omega_0 = \gamma_0^{(0,5)}; \quad 2\chi\omega_0 = \gamma_1. \quad (19)$$

При  $\rho = 2$  с использованием (18) может быть показано, что

$$\left. \begin{aligned} \gamma_0 &= \hat{n}(\hat{n}+1)\Delta^{(-2)}; \\ \gamma_1 &= 2\hat{n}\Delta^{(-1)}; \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

$$n = \begin{cases} \text{int}[\hat{n}] + 1 \forall \hat{n} > \text{int}[\hat{n}]p; \\ \text{int}[\hat{n}] \forall \hat{n} \leq \text{int}[\hat{n}]p, \end{cases} \quad (21)$$

где  $p$  – коэффициент «запаса».

Поэтому, подставляя (20) в (19), получим:

$$\omega_0 = \hat{n}\Delta^{(-1)}\left(1 + \hat{n}^{(-1)}\right)^{(0,5)};$$

$$\chi = \left(1 + \hat{n}^{(-1)}\right)^{(-0,5)}.$$

Второе из этих выражений позволяет записать

$$\hat{n} = \chi^{(2)}\left(1 - \chi^{(2)}\right)^{(-1)}. \quad (22)$$

Общепринятыми характеристиками качества переходного процесса в системе, как известно, является время его протекания, совпадающее в данном случае с  $\tau$ , и его перерегулирование  $q$ . Результаты анализа таких процессов для  $\rho = 2$  свидетельствуют о том, что [7]

$$\left. \begin{aligned} \chi &= \varepsilon - \varphi \ln q; \\ \varepsilon &= 0,843, \varphi = 0,103 \forall q \in (0,10)\%; \\ \varepsilon &= 1,032, \varphi = 0,183 \forall q \in [10,30)\% \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta &= \tau(\hat{n}+1)\hat{n}^{(-\lambda)}\psi; \\ \psi &= 0,231, \lambda = 0,167. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Значения величин  $\varepsilon$ ,  $\varphi$ ,  $\psi$  и  $\lambda$ , входящие в эти равенства, получены на основании условия достаточной точности аппроксимации соответствующих эмпирических зависимостей. Совокупность выражений (21), (22)–(24) позволяет вычислять значения величин  $n$  и  $\Delta$ , входящих в закон (18) замкнутого терминального управления, обеспечивающего заданное качество переходных процессов в подсистеме, определяемое значениями величин  $\tau$  и  $q$ .

Синтезированное терминальное программное управление, определяемое выражениями (15), (18), (21) и (22)–(24), является замкнутым по управляемым фазовым координатам МП МЛП  $\eta$  и  $\dot{\eta}$ , не имеет особенностей и поэтому позволяет получать любые продольные движения поезда, для реализации которых система обладает достаточными ресурсами, либо констатировать ее недостаточность для реализации желаемых движений.

Исполнительным органом, реализующим возникновение управляющих воздействий  $F_c$  на продольное движение МП МЛП, является, как отмечалось, линейный синхронный двигатель (ЛСД). Именно он во взаимодействии с регулирующей аппаратурой системы осуществляет дозированный отбор энергии из питающей электрической сети и ее преобразование в энергию движения МП МЛП. При взаимодействии полей сверхпроводящих экипажных контуров (СЭК) с бегущим синусоидальным полем якорной обмотки ЛСД электрическая энергия частично (за исключением потерь) преобразуется в энергию механического движения МП МЛП. При этом между индукторными и якорной обмотками ЛСД возникают усилия, текущее значение равнодействующей которых может быть получено согласно выражению

$$F_c(t) = \sum_{v=1}^K i_s^v(t) \sum_{k=1}^{N_{ac}} i_{ac}^k(t) \frac{\partial \mu_{vk}(t)}{\partial \xi_v}, \quad (25)$$

где  $i_s^v(t)$ ,  $K$  – текущее значение тока в цепи  $v$ -го СЭК, а также число таких контуров, установленных на экипажах МЛП;  $i_{ac}^k(t)$  – текущее значение тока в цепи  $k$ -й якорной катушки ЛСД;  $N_{ac}$  – число катушек его якорной обмотки, взаимодействие с которыми ежемоментно учитывается для каждого СЭК;  $\mu_{vk}(t)$  – мгновенное значение взаимной индуктивности между магнитными цепями  $v$ -го СЭК и  $k$ -й якорной катушкой;  $\xi_v$  – перемещение упомянутого  $v$ -го СЭК, отсчитываемое вдоль оси пути от начала движения МЛП.

Значения величин  $K$ , а также  $N_{ac}$  в процессе движения не изменяются. Значения же  $i_s^v(t) \quad \forall v \in [1, K]$  изменяются (благодаря принятым конструктивным мерам) достаточно медленно и на интервалах, соизмеримых со временем наблюдения движения МЛП, могут считаться постоянными:



$$i_s^v(t) = i_s \cdot \hat{v} \cdot \hat{I}[\overline{1, K}], t \in [t_s, \tau]. \quad (26)$$

Каждый из токов  $i_{ac}^k(t) \forall k \in \overline{1, N_{ac}}$  протекает в цепи якорной катушки, последовательно включенной в одну из фаз статора ЛСД. Поэтому совокупность этих токов объединяет в себе три равных по количеству элементов, но различных в общем случае по их мгновенным значениям группы. Каждая же из таких групп в свою очередь состоит из равных по мгновенным значениям токов, протекающих в цепях якорных катушек, включенных в одноименную фазу статорной обмотки. Поэтому

$$i_{ac}^\xi(t) = i_{ac}^\xi(t), \xi = \xi + 3\sigma$$

$$\forall \xi \in \overline{1, 3}, \sigma \in \overline{1, (K_s - 1)}, t \in [t_s, \tau], \quad (27)$$

где  $K_s$  – число триад катушек, включенных в секцию статора ЛСД, и отысканию из совокупности  $i_{ac}^k(t) \forall k \in \overline{1, N_{ac}}, t \in [t_s, \tau]$  подлежат лишь токи  $i_{ac}^\xi(t) \forall \xi \in \overline{1, 3}, t \in [t_s, \tau]$ . Все иные компоненты этой совокупности могут быть найдены согласно выражениям (27).

Результирующие потокоцепления фазовых обмоток якоря ЛСД могут быть определены выражениями [11]

$$\left. \begin{aligned} \psi_\xi &= i_{ac}^\xi L_\xi + i_s \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} M_{\xi\lambda}; \\ L_\xi &= L_{\xi\sigma} - M_{\xi\xi} \forall \xi \in \overline{1, 3}, \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

где  $L_{\xi\sigma}, M_{\xi\xi} \forall \xi \in \overline{1, 3}$  – собственные индуктивности этих обмоток от полей рассеяния, а также их попарные взаимные индуктивности;  $\Lambda = 0,5 \cdot K$  – число СЭК на одном из бортов экипажей МЛП;  $M_{\xi\lambda} \forall \xi \in \overline{1, 3}, \lambda \in \overline{1, \Lambda}$  – взаимные индуктивности якорных и индукторных контуров ЛСД.

Согласно (28) мгновенные значения токов в фазах якорной обмотки определяются соотношениями

$$i_{ac}^\xi = \left( \psi_\xi - i_s \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} M_{\xi\lambda} \right) L_\xi^{(-1)} \forall \xi \in \overline{1, 3}. \quad (29)$$

Исходя из второго закона Кирхгофа, для тех же якорных фазных обмоток могут быть записаны уравнения напряжений

$$u_k = \frac{d}{dt} \psi_k + r_k i_k \forall k \in \overline{1, 3}, \quad (30)$$

где  $u_k, r_k \forall k \in \overline{1, 3}$  – напряжения, приложенные к этим обмоткам, а также активные (омические) сопротивления их цепей.

Фазные обмотки якоря ЛСД по обоим бортам МЛП соединены каждая со своим независимым регулируемым источником трехфазного синусоидального напряжения. Поэтому

$$u_k(t) = U_a(t) \cos[2\pi f_u(t)t + \sigma_k + \theta_u(t)] \quad \forall k \in \overline{1, 3};$$

$$\sigma_k = \begin{cases} 0 & \text{для } k = 1; \\ -\frac{2}{3}\pi & \text{для } k = 2; \\ +\frac{2}{3}\pi & \text{для } k = 3, \end{cases} \quad (31)$$

где  $U_a(t), f_u(t), \theta_u(t)$  – текущие значения амплитуды, частоты и фазового сдвига подводимого напряжения.

Если фазные обмотки якоря симметричны и идентичны между собой, то

$$r_k = r_{af} \cdot k \hat{I}[\overline{1, 3}], \quad (32)$$

где  $r_{af}$  – омическое сопротивление указанной обмотки.

В таком случае, после подстановки соотношений (29), а также (31) и (32) в уравнения (30) и элементарных преобразований, последние выражения принимают окончательный вид:

$$\psi_k = U_a(t) \cos[2\pi f_u(t)t + \sigma_k + \theta_u(t)] -$$

$$- r_{af} L_k^{(-1)} \left( \psi_k - i_s \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} M_{k\lambda} \right) \forall k \in \overline{1, 3};$$

$$\sigma_k = \begin{cases} 0 & \text{для } k = 1; \\ -\frac{2}{3}\pi & \text{для } k = 2; \\ +\frac{2}{3}\pi & \text{для } k = 3. \end{cases} \quad (33)$$

Итак, токи  $i_{ac}^k \forall k \in \overline{1, N_{ac}}$  могут быть определены из соотношений (27) и (29) после интегрирования, совместно с уравнениями динамики МП МЛП (9), уравнений (33), описывающих электромагнитные процессы в ЛСД. Далее с использованием соотношений (25)–(33) могут быть определены рациональные диапазоны па-

раметров ЛСД и их соотношений, а также требуемые законы (совместного, взаимоувязанного) изменения характеристик  $U_a(t)$ ,  $f_u(t)$  и  $\theta_u(t)$  питающего его фазную якорную обмотку напряжения в виде

$$\Gamma\{U_a(t), f_u(t), \theta_u(t)\} = 0 \forall t \in [t_s, \theta], \quad (31)$$

необходимые для реализации синтезируемого  $F_c(t) \forall t \in [t_s, \theta]$ .

### Выводы

На основании приведенного алгоритма может осуществляться терминальное управление продольным движением МП МЛП с использованием ЛСД в качестве исполнительного элемента системы. Перспективные разработки по синтезу движения МЛП должны базироваться на многомерных расчетных схемах, возможно более полно отражающих его структурно-функциональную организацию. При этом целесообразно использовать игровые минимаксные методы управления, гарантирующие оптимальность упомянутого движения по отношению к вводимым критериям качества в широком диапазоне его режимов и целей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Takano I., Saito Y., Ogiwara H. Design and comparison of ultrahigh-speed ground transportation systems// El. Eng. in Japan. – 1975. – 95, № 3. – Р. 26–33.
2. Дзензерский В. А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамическим подвешиванием / В. А. Дзензерский, В. И. Омеляненко, С. В. Васильев, В. И. Матин, С. А. Сергеев. – К.: Наук. думка, 2001. – 480 с.

3. Оно Э. Характеристики системы магнитного подвешивания и тяги с использованием сверхпроводящих магнитов для высокоскоростных поездов / Э. Оно, М. Ивамото, Т. Ямада // Наземный транспорт 80-х годов; Пер. с англ. под ред. Р. Торнтон. – М.: Мир, 1974. – С. 89–98.
4. Бочаров В. И. Высокоскоростной наземный транспорт с линейным приводом и магнитным подвесом / В. И. Бочаров, В. А. Винокуров, В. Д. Нагорский и др.; Под общ. ред. В. И. Бочарова. – М.: Транспорт, 1985. – 279 с.
5. Bellman R. Adaptive control processes. – Princeton Univ. press, 1961. 255 p.
6. Matthews M. V., Steeg C. W. Terminal controller synthesis. – MIT. Rep., 1955, Nov. 4, № 55 – 272, p. 10–11.
7. Петров Б. Н. Бортовые терминальные системы управления: Принципы построения и элементы теории / Б. Н. Петров, Ю. П. Портнов-Соколов и др. – М.: Машиностроение, 1983. – 200 с.
8. Поляков В. А. Приспособляемость движения железнодорожного поезда // Динамика поезда и подвижного состава железных дорог: Межвуз. сб. научн. тр. – Д.: ДИИТ, 1990. – С. 107–117.
9. Блохин Е. П. Целенаправленное движение железнодорожного поезда / Е. П. Блохин, В. А. Поляков // Нагруженность и надежность механических систем: Сб. научн. тр. – К.: Наук. думка, 1987. – С. 76–83.
10. Ерофеев Е. В. Принципы построения систем автоведения поездов метрополитена и пассажирских поездов при электрической тяге: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. – М., – 1985. – 42 с.
11. Зенеке Г. В. Основы теории цепей / Г. В. Зенеке, П. Л. Ионкин, А. В. Нетушил и др. – М.: Энергия, 1975. – 752 с.

Поступила в редколлегию 20.05.2006.

## РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

Наведено розрахунок основних нормуємих динамічних показників нового пасажирського вагона.

Представлен расчет основных нормируемых динамических показателей нового пассажирского вагона.

The article describes calculation of the main standard dynamic characteristics for a new passenger car.

При выполнении расчетов динамических показателей проектируемых рельсовых экипажей выполняют сравнение расчетных значений основных динамических показателей с нормируемыми величинами [1]. К нормируемым величинам относятся: коэффициент вертикальной динамики, коэффициент горизонтальной динамики, коэффициент запаса устойчивости вагона от опрокидывания, коэффициент запаса устойчивости колеса против схода с рельсов. Эти показатели оцениваются для различных вариантов загрузки. В данном случае для пассажирского вагона – это вариант порожнего вагона и вагона с пассажирами.

Рассмотрим расчет основных нормируемых динамических показателей пассажирского вагона на примере вагона модели 61-779.

Исходные данные для расчета:

- вес вагона порожнего (расчетный)  $Q_B = 618$  кН;
- вес вагона с пассажирами  $Q_{B.п} = 660$  кН;
- вес кузова порожнего  $Q_K = 476$  кН;
- высота центра тяжести кузова порожнего от уровня головок рельсов (УГР)  $h_K = 2,163$  м;
- вес кузова с пассажирами  $Q_{K.п} = 518$  кН;
- высота центра тяжести кузова с пассажирами от УГР  $h_{K.п}^* = 2,119$  м;
- длина вагона по осям сцепления автосцепок  $2L_c = 26,696$  м;
- высота автосцепки над УГР  $h_a = 1,06$  м;
- расстояние между кругами катания колес  $2S = 1,58$  м;
- скорость движения вагона  $V = 160$  км/ч (44,44 м/с);
- вес наддрессорной балки  $Q_6 = 6$  кН;
- вес пружин центрального рессорного подвешивания одной тележки  $Q_1 = 0,307$  кН;
- вертикальная жесткость центрального рессорного подвешивания одной тележки  $C_{B1} = 2659,22$  кН/м;

- вес рамы тележки  $Q_{p.т} = 14,68$  кН;
- вес пружин центрального рессорного подвешивания одной тележки  $Q_1 = 0,307$  кН;
- вертикальная жесткость центрального рессорного подвешивания одной тележки  $C_{B1} = 2659,22$  кН/м;
- вес пружин буксового рессорного подвешивания одной тележки  $Q_2 = 0,312$  кН;
- вертикальная жесткость буксового рессорного подвешивания одной тележки  $C_{B2} = 6567,064$  кН/м;
- вес котловой тележки  $Q_{T1} = 74,0$  кН;
- вес котловой тележки  $Q_{T2} = 68,0$  кН;
- высота центра тяжести тележки от УГР  $h_{ц.т} = 0,6$  м;
- боковая проекция кузова  $S_K = 98$  м<sup>2</sup>;
- высота центра тяжести боковой проекции кузова от УГР  $h_{B.K}^* = 2,7$  м;
- боковая проекция тележки  $S_T = 6,8$  м<sup>2</sup>;
- высота центра тяжести боковой проекции тележки от УГР  $h_{B.T} = 0,6$  м;
- число осей вагона  $n = 4$ ;
- расстояние между центрами рессорных комплектов  $2b = 2,036$  м;
- высота от УГР до верхней плоскости центрального рессорного комплекта в свободном состоянии  $h_p = 0,609$  м.

Коэффициент вертикальной динамики  $K_{д.в}$  рассматривается в [1, п. 2.2.2] как случайная функция с вероятностным распределением вида

$$P(k_{д.в}) = 1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \frac{k_{д.в}^2}{k_{д.в}^2} \cdot \beta^2\right).$$

Коэффициент  $k_{д.в}$  определяется как квантиль этой функции при расчетной односторонней вероятности  $P(k_{д.в})$  по формуле

$$k_{д.в} = \frac{\overline{k_{д.в}}}{\beta} \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \ln \frac{1}{1 - P(k_{д.в})}},$$

где  $\overline{k_{д.в}}$  – среднее вероятное значение коэффициента вертикальной динамики

$$\overline{k_{д.в}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} b \cdot \frac{V - 15}{f_{ст}^i},$$

где  $a$  – коэффициент, равный для элементов кузова 0,05;  $b$  – коэффициент, учитывающий влияние числа осей  $n = 2$  в тележке или группе тележек под одним концом экипажа

$$b = \frac{n + 2}{2n} = \frac{2 + 2}{2 \cdot 2} = 1,$$

$V$  – расчетная скорость движения;  $f_{ст}^{(1)}$  – статический прогиб рессорного подвешивания вагона с пассажирами

$$\begin{aligned} f_{ст}^{(1)} &= \frac{Q_{к.п} + 2(Q_6 + 1/3 Q_1)}{2C_{в1}} + \\ &+ \frac{Q_{к.п} + 2(Q_6 + Q_1 + Q_{р.т} + 1/3 Q_2)}{2C_{в2}} = \\ &= \frac{518 + 2(6 + 1/30,307)}{2 \cdot 2659,22} + \\ &+ \frac{518 + 2(6 + 0,307 + 14,68 + 1/3 \cdot 0,312)}{2 \cdot 6567,064} = \\ &= 0,142 \text{ м}, \end{aligned}$$

где  $f_{ст}^{(2)}$  – статический прогиб рессорного подвешивания порожнего вагона

$$\begin{aligned} f_{ст}^{(2)} &= \frac{Q_{к} + 2(Q_6 + 1/3 Q_1)}{2C_{в1}} + \\ &+ \frac{Q_{к} + 2(Q_6 + Q_1 + Q_{р.т} + 1/3 Q_2)}{2C_{в2}} = \\ &= \frac{476 + 2(6 + 1/30,307)}{2 \cdot 2659,22} + \\ &+ \frac{476 + 2(6 + 0,307 + 14,68 + 1/3 \cdot 0,312)}{2 \cdot 6567,064} = \\ &= 0,131 \text{ м}. \end{aligned}$$

Для вагона с пассажирами

$$\overline{k_{д.в}} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \frac{44,44 - 15}{0,142} = 0,125.$$

Для порожнего вагона

$$\overline{k_{д.в}} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \frac{44,44 - 15}{0,131} = 0,131.$$

Здесь  $\beta$  – параметр распределения, уточняется по экспериментальным данным, для деталей пассажирских вагонов при существующих условиях эксплуатации  $\beta = 1$ ;  $P(k_{д.в})$  – при расчетах на прочность по допускаемым напряжениям принимается 0,97.

Для вагона с пассажирами

$$k_{д.в} = \frac{0,125}{1} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - 0,97}} = 0,264.$$

Для порожнего вагона

$$k_{д.в} = \frac{0,131}{1} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - 0,97}} = 0,277.$$

Для шкворневых узлов рамы значение расчетного коэффициента вертикальной динамики определяется с учетом влияния перевалки кузова вагона по формуле:

$$k_{дв1}^{шк.в} = k_{дв}(1 + \gamma),$$

где  $\gamma$  – коэффициент, который рекомендуется принимать  $\gamma = 0,2$ .

Для груженого вагона

$$k_{дв1}^{шк.в} = 0,264(1 + 0,2) = 0,316.$$

Для порожнего вагона

$$k_{дв1}^{шк.в} = 0,277(1 + 0,2) = 0,332.$$

В соответствии с [1, п. 3.4.1] для вагона с пассажирами  $k_{д.в} = 0,264$ , ход вагона допустимый; для порожнего вагона  $k_{д.в} = 0,277$ , ход вагона допустимый.

Коэффициент горизонтальной динамики  $K_{д.г}$  рассматривается в [1, п. 2.3.1] как случайная функция с вероятностным распределением вида:

$$P(k_{д.г}) = 1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \frac{k_{д.г}^2}{k_{д.г}^2}\right),$$

Коэффициент  $k_{д.г}$  определяется как квантиль этой функции при расчетной односторонней вероятности  $P(k_{д.г}) = 0,97$  по формуле:

$$\begin{aligned} k_{д.г} &= \overline{k_{д.г}} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - P(k_{д.г})}} = \\ &= 0,099 \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - 0,97}} = 0,21, \end{aligned}$$

где  $\overline{k_{д.г}}$  – среднее вероятное значение коэффициента горизонтальной динамики

$$\overline{k_{д.г}} = b\delta(5 + V) = 1 \cdot 0,002(5 + 44,44) = 0,099,$$

где  $b$  – коэффициент, учитывающий влияние числа осей  $n$  в тележке или группе тележек под одним концом экипажа;  $\delta$  – коэффициент, учитывающий тип ходовых частей вагона, для пассажирских вагонов –  $\delta = 0,002$ ;  $V$  – расчетная скорость движения.

В соответствии с [1, п. 3.4.1] для пассажирского вагона  $k_{д.г} = 0,21$ , ход вагона допустимый.

При оценке устойчивости вагона от опрокидывания рассматривается его движение с максимальной скоростью. При этом учитываются центробежные и ветровые нагрузки, поперечные смещения от центрального положения оси вагона центров тяжести кузова и тележки в результате относительных поперечных зазоров между ними и боковых наклонов кузова за счет односторонних просадок рессорных комплектов при действии боковых опрокидывающих моментов.

Коэффициент запаса устойчивости вагона от опрокидывания определяется по формуле

$$k_{у.о} = \frac{P_{ст}}{P_{дин}} \geq [k_{у.о}],$$

где  $P_{ст}$  – статическая вертикальная сила давления колеса на рельс;  $P_{дин}$  – динамическая вертикальная сила давления колеса на рельс, вызванная действием поперечных сил с учетом перемещений центров тяжести кузова и тележки;  $[k_{у.о}]$  – допускаемый коэффициент запаса устойчивости от опрокидывания.

Силы  $P_{ст}$  и  $P_{дин}$  определяются по формулам:

- вагон порожний

$$P_{ст} = \frac{Q_{в.п}}{2n},$$

$$P_{дин} = \frac{F_{к.п}h_{к.п} + F_{т.п.т}h_{т.п.т} + F_{в.к}h_{в.к}^* + F_{в.т}h_{в.т}}{n2S} + \frac{Q_{к.п}\Delta_{к.п} + (Q_{т1} + Q_{т2})\Delta_{т}}{n2S};$$

- вагон с пассажирами

$$P_{ст} = \frac{Q_{в.п}}{2n},$$

$$P_{дин} = \frac{F_{к.п}h_{к.п} + F_{т.п.т}h_{т.п.т} + F_{в.к}h_{в.к}^* + F_{в.т}h_{в.т}}{n2S} + \frac{Q_{к.п}\Delta_{к.п} + (Q_{т1} + Q_{т2})\Delta_{т}}{n2S},$$

где  $F_{к.п}$ ,  $F_{т.п.т}$  – боковые силы, действующие на кузов и тележку, равные разности центробежных сил и поперечных составляющих сил тяжести, возникающих вследствие возвышения наружного рельса, для пассажирских вагонов принимается 10 % от силы тяжести:

- для груженого кузова

$$F_{к.п} = Q_{к.п} \cdot 0,1 = 518 \cdot 0,1 = 51,8 \text{ кН};$$

- для порожнего кузова

$$F_{к.п} = Q_{к.п} \cdot 0,1 = 476 \cdot 0,1 = 47,6 \text{ кН};$$

- для груженого и порожнего вагона

$$F_{т.п.т} = (Q_{т1} + Q_{т2})0,1 = (68 + 74)0,1 = 14,2 \text{ кН}.$$

$F_{в.к}$ ,  $F_{в.т}$  – силы давления ветра на кузов и тележку:

- для кузова

$$F_{в.к} = S \cdot p_{в.к} = 98 \cdot 0,500 = 49 \text{ кН};$$

- для тележки

$$F_{в.т} = S_{т.п.т} p_{в.т} = 6,8 \cdot 0,500 = 3,4 \text{ кН};$$

$S_{к.п}$ ,  $S_{т.п.т}$  – площадь боковой проекции кузова вагона и боковой проекции тележки соответственно;  $p_{в.к} = 0,500$  кПа – удельное давление ветра;  $h_{к.п}$ ,  $h_{к.п}^*$ ,  $h_{т.п.т}$  – высота от уровня головок рельсов до центров тяжести кузова с пассажирами, порожнего и тележки соответственно при прогибе рессорного комплекта от статической нагрузки:

- для груженого вагона

$$h_{к.п} = h_{к.п}^* - (f_{ст}^{(1)} - f_{ст}^{(2)}) = 2,119 - (0,142 - 0,131) = 2,188 \text{ м}.$$

$h_{в.к}$ ,  $h_{в.т}$  до геометрических центров боковых проекций кузова и тележки соответственно при прогибе рессорного комплекта от статической нагрузки:

- для груженого вагона

$$h_{в.к} = h_{в.к}^* - (f_{ст}^{(1)} - f_{ст}^{(2)}) = 2,7 - (0,142 - 0,131) = 2,689 \text{ м},$$

$h_a$  – высота от уровня головок рельсов до продольной оси автосцепок;  $\Delta_k$ ,  $\Delta_T$  – суммарные, параллельные плоскости головок рельсов перемещения центров тяжести кузова и тележки относительно центрального положения продольной оси вагона.

Суммарное смещение центра тяжести кузова  $\Delta_k$  в общем случае образуется за счет:  $\Delta_1 = 7$  мм – поперечного одностороннего перемещения из центрального положения рам тележек относительно букс колесных пар;  $\Delta_2 = 43$  мм – то же для наддрессорных балок относительно рам тележек;  $\Delta_3 = 3$  мм – то же для пятников (шкворневых устройств) рамы кузова относительно наддрессорных балок;  $\Delta_4$  – установочного (технологического) поперечного смещения (отклонения) продольной оси кузова относительно продольной оси, проходящей через центры пятников (шкворневых устройств). Для вагонов длиной до 16 м допускается принимать равной 10 мм, для более длинных вагонов – с увеличением пропорционально длине  $\Delta_4 = 26,1(10/16) = 16$  мм;  $\Delta_5$  – смещения центра тяжести кузова при боковом наклоне кузова за счет зазоров между скользунами кузова и тележек, при жесткой опоре на скользуны  $\Delta_5 = 0$  мм;  $\Delta_6$  – смещение центра тяжести кузова при боковом наклоне кузова за счет одностороннего прогиба рессор при действии боковых сил

$$\Delta_6 = \frac{\Delta f}{b} (h_k - h_{\text{ресс}}),$$

где  $\Delta f$  – дополнительный прогиб рессор с догружаемой стороны вагона и такой же подъем рессор с разгружаемой стороны при действии боковых сил;  $2b$  – поперечное расстояние между центрами рессорных комплектов;  $h_{\text{ресс}}$  – высота от уровня головок рельсов до верхней плоскости центров рессорных комплектов:

- для груженого вагона

$$h_{\text{ресс}} = h_p - f_{\text{ст}}^{(1)} = 0,609 - 0,142 = 0,467 \text{ м};$$

$$\Delta f = 0,0955 \text{ м},$$

$$\begin{aligned} \Delta_6 &= \frac{\Delta f}{b} (h_k - h_{\text{ресс}}) = \\ &= \frac{0,0955}{2,036/2} (2,188 - 0,467) = 0,161 \text{ м}; \end{aligned}$$

- для порожнего вагона

$$h_{\text{ресс}} = h_p - f_{\text{ст}}^{(2)} = 0,609 - 0,131 = 0,478 \text{ м}.$$

$$\Delta f = 0,0888 \text{ м};$$

$$\begin{aligned} \Delta_6 &= \frac{\Delta f}{b} (h_k - h_{\text{ресс}}) = \\ &= \frac{0,0888}{2,036/2} (2,163 - 0,478) = 0,147 \text{ м}; \end{aligned}$$

- для груженого вагона

$$\begin{aligned} \Delta_k &= \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6 = \\ &= 7 + 43 + 3 + 0 + 161 = 214 \text{ мм}; \end{aligned}$$

- для порожнего вагона

$$\begin{aligned} \Delta_k &= \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6 = \\ &= 7 + 43 + 3 + 0 + 147 = 200 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Значение  $\Delta_T$  для всех типовых вагонов рекомендуется принимать равным 8 мм.

При расчете необходимо проверить соответствие опрокидывающего момента, создаваемого действующими на кузов силами (числитель формулы (1)), реактивному моменту рессорного подвешивания определенному по формуле:

$$M_{\text{реакт}} = \frac{\Delta f}{b} \mathcal{K}_{\text{угл}} = \Delta f \cdot 2b \cdot C_B,$$

где  $\mathcal{K}_{\text{угл}} = 2b^2 C_B$  – угловая жесткость рессорных комплектов вагона;  $C_B$  – вертикальная жесткость рессорных комплектов одной стороны вагона

$$\begin{aligned} C_B &= \frac{C_{B1} \times C_{B2}}{(C_{B1} + C_{B2})} = \\ &= \frac{2659,22 \cdot 6567,064}{(2659,22 + 6567,064)} = 1892,774 \text{ кН/м}. \end{aligned}$$

Проверяем соответствие опрокидывающего момента, создаваемого действующими на кузов силами (числитель формулы (1)), реактивному моменту рессорного подвешивания:

для груженого вагона

$$\begin{aligned} M_{\text{опр}} &= F_k h_{k.п} + F_T h_{\text{цт}} + F_{B.к} h_{B.к} + F_{B.т} h_{B.т} + \\ &+ Q_{k.п} \Delta_k + (Q_{T1} + Q_{T2}) \Delta_T = \\ &= 51,8 \cdot 2,188 + 14,2 \cdot 0,6 + 49 \cdot 2,689 + 3,4 \cdot 0,6 + \\ &+ 518 \cdot 0,214 + (74 + 68) 0,008 = 368 \text{ кН} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$M_{\text{реакт}} = \Delta f \cdot 2b \cdot C_b = \\ = 0,0955 \cdot 2,036 \cdot 1892,774 = 368 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Данное условие выполняется:

- для порожнего вагона

$$M_{\text{опр}} = F_k h_k + F_T h_{\text{цт}} + F_{\text{в.к}} h_{\text{в.к}}^* + F_{\text{в.т}} h_{\text{в.т}} + \\ + Q_{\text{к.п}} \Delta_k + (Q_{\text{т1}} + Q_{\text{т2}}) \Delta_T = \\ = 47,6 \cdot 2,163 + 14,2 \cdot 0,6 + 49 \cdot 2,7 + \\ + 3,4 \cdot 0,6 + 476 \cdot 0,200 + (74 + 68) 0,008 = \\ = 342,2 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{реакт}} = \Delta f \cdot 2b \cdot C_b = \\ = 0,0888 \cdot 2,036 \cdot 1892,774 = 342,2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Данное условие выполняется.

Формула для определения  $\Delta_6$  действительна при соблюдении условия

$$\Delta f \leq K \cdot f_{\text{ст}}$$

(значение  $K$  и  $f_{\text{ст}}$  принимается согласно [1, п. 7.3.3.]), где  $K$  – коэффициент конструктивного запаса для пассажирских вагонов равен 1,5;

$$\Delta f = 0,0955 \leq 1,5 \cdot 0,142 = 0,213 \text{ мм}$$

(условие выполняется);

$$\Delta f = 0,0888 \leq 1,5 \cdot 0,131 = 0,196 \text{ мм}$$

(условие выполняется).

Данное условие выполняется во всех случаях при определении  $\Delta_6$ .

Определение коэффициента устойчивости груженого вагона от опрокидывания:

$$P_{\text{ст}} = \frac{660}{2 \cdot 4} = 82,5 \text{ кН};$$

$$P_{\text{дин}} = \frac{51,8 \cdot 2,188 + 14,2 \cdot 0,6 + 49 \cdot 2,689}{4 \cdot 1,58} + \\ + \frac{3,4 \cdot 0,6 + 518 \cdot 0,214 + (74 + 68) 0,008}{4 \cdot 1,58} = \\ = 58,17 \text{ кН},$$

$$k_{\text{у.о}} = \frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{дин}}} = \frac{82,5}{58,17} = 1,42 \geq [k_{\text{у.о}}] = 1,4$$

(выполняется).

Определение коэффициента устойчивости порожнего вагона от опрокидывания:

$$P_{\text{ст}} = \frac{618}{2 \cdot 4} = 77,25 \text{ кН}$$

$$P_{\text{дин}} = \frac{47,6 \cdot 2,163 + 14,2 \cdot 0,6 + 49 \cdot 2,7}{4 \cdot 1,58} + \\ + \frac{3,4 \cdot 0,6 + 476 \cdot 0,200 + (74 + 68) 0,008}{4 \cdot 1,58} = \\ = 54,04 \text{ кН},$$

$$k_{\text{у.о}} = \frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{дин}}} = \frac{77,25}{54,04} = 1,43 \geq [k_{\text{у.о}}] = 1,4.$$

Оценка устойчивости колеса против схода с рельсов проводится в соответствии с [1, п. 3.4.3], исходя из независимости процессов вертикальных и горизонтальных колебаний и колебаний боковой качки вагона

Коэффициент устойчивости колесной пары против схода с рельса (по условию вкатывания) определяется по формуле:

$$K_{\text{у.с}} = \varepsilon \cdot \frac{P_{\text{в1}}}{P_6},$$

где

$$\varepsilon = \frac{\text{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \cdot \text{tg} \beta} = \frac{\text{tg} 60^\circ - 0,25}{1 + 0,25 \cdot \text{tg} 60^\circ} = 1,034,$$

где  $\beta$  – угол наклона образующей конусообразной поверхности гребня колеса к горизонтальной оси ( $\beta = 60^\circ$ );  $\mu$  – коэффициент трения ( $\mu = 0,25$ );  $P_{\text{в1}}$  – вертикальная составляющая силы реакции набегающего колеса на головку рельса

$$P_{\text{в1}} = 2Q_{\text{ш}}^{\text{ст}} \left[ \frac{b - a_2}{l} (1 - \bar{k}_{\text{дв1}}) - \frac{b}{l} k_{\text{дбк}} \right] + \\ + H_p \frac{r}{l} + q_{\text{кп}} \frac{b - a_2}{l};$$

$P_{\text{в2}}$  – вертикальная составляющая силы реакции ненабегающего колеса на головку рельса;

$$P_{\text{в2}} = 2Q_{\text{ш}}^{\text{ст}} \left[ \frac{b - a_1}{l} (1 - \bar{k}_{\text{дв1}}) + \frac{b}{l} k_{\text{дбк}} \right] - \\ - H_p \frac{r}{l} + q_{\text{кп}} \frac{b - a_1}{l};$$

$P_0$  – горизонтальная составляющая силы реакции набегавшего колеса на головку рельса, действующая одновременно с  $P_{в1}$  и  $P_{в2}$

$$P_0 = H_p + \mu P_{в2},$$

$q_{к.п}$  – сила тяжести необрессоренных частей, приходящихся на колесную пару  $q_{к.п} = 13,768$  кН (колесная пара с буксами);  $Q_{ш}^{ст}$  – сила тяжести обрессоренных частей вагона, действующая на шейку оси колесной пары:

- порожний вагон

$$Q_{ш}^{ст} = \frac{Q_{в} - nq_{к.п}}{2n} = \frac{618 - 4 \cdot 13,768}{2 \cdot 4} = 70,356 \text{ кН},$$

- вагон с пассажирами

$$Q_{ш}^{ст} = \frac{Q_{в} - nq_{к.п}}{2n} = \frac{660 - 4 \cdot 13,768}{8} = 75,606 \text{ кН};$$

$\overline{k_{д.в1}}$  – среднее значение коэффициента вертикальной динамики, приближенно принимается  $\overline{k_{д.в1}} = 0,75\overline{k_{д.в}}$  для обрессоренных частей:

- порожний вагон

$$\overline{k_{д.в1}} = 0,75\overline{k_{д.в}} = 0,75 \cdot 0,131 = 0,098,$$

- вагон с пассажирами

$$\overline{k_{д.в1}} = 0,75\overline{k_{д.в}} = 0,75 \cdot 0,125 = 0,094;$$

$\overline{k_{д.бк}}$  – среднее значение коэффициента вертикальной динамики, приближенно принимается

$$\overline{k_{д.бк}} = 0,25\overline{k_{д.в}}:$$

- порожний вагон

$$\overline{k_{д.бк}} = 0,25\overline{k_{д.в}} = 0,25 \cdot 0,131 = 0,033,$$

- вагон с пассажирами

$$\overline{k_{д.бк}} = 0,25\overline{k_{д.в}} = 0,25 \cdot 0,125 = 0,031;$$

$H_p$  – среднее значение рамной силы, вычисляется при среднем значении  $\overline{k_{д.г}}$ ,

$$H_p = P_0 \cdot \overline{k_{д.г}},$$

$P_0$  – осевая нагрузка

- порожний вагон

$$P_0 = \frac{Q_{в}}{n} = \frac{618}{4} = 154,5 \text{ кН},$$

$$H_p = P_0 \cdot \overline{k_{д.г}} = 154,5 \cdot 0,099 = 15,295 \text{ кН};$$

- вагон с пассажирами

$$P_0 = \frac{Q_{вп}}{n} = \frac{660}{4} = 165 \text{ кН}$$

$$H_p = P_0 \cdot \overline{k_{д.г}} = 165 \cdot 0,099 = 16,335 \text{ кН};$$

$2b$  – расстояние между серединами шеек оси ( $2b = 2,036$  м);  $l$  – расстояние между точками контакта колес с рельсами ( $l = 1,555$  м);  $a_1$  – расстояние от точки контакта колеса с рельсом до середины шейки со стороны набегавшего колеса ( $a_1 = 0,264$  м);  $a_2$  – расстояние от точки контакта колеса с рельсом до середины шейки со стороны сбегающего колеса ( $a_2 = 0,217$  м);  $r$  – радиус колеса ( $r = 0,45$  м);

- порожний вагон

$$\begin{aligned} P_{в1} = 2Q_{ш}^{ст} & \left[ \frac{b-a_2}{l} (1-\overline{k_{д.в1}}) - \frac{b}{l} k_{д.бк} \right] + \\ & + H_p \frac{r}{l} + q_{к.п} \cdot \frac{b-a_2}{l} = 2 \cdot 70,356 \times \\ & \times \left[ \frac{1,018-0,217}{1,555} \cdot (1-0,098) - \frac{1,018}{1,555} \cdot 0,033 \right] + \\ & + 15,295 \cdot \frac{0,45}{1,555} + 13,768 \cdot \frac{1,018-0,217}{1,555} = \\ & = 73,873 \text{ кН}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{в2} = 2Q_{ш}^{ст} & \left[ \frac{b-a_1}{l} (1-\overline{k_{д.в1}}) + \frac{b}{l} k_{д.бк} \right] - \\ & - H_p \frac{r}{l} + q_{к.п} \frac{b-a_1}{l} = 2 \cdot 70,35 \times \\ & \times \left[ \frac{1,018-0,264}{1,555} \cdot (1-0,098) + \frac{1,018}{1,555} \cdot 0,033 \right] - \\ & - 15,295 \cdot \frac{0,45}{1,555} + 13,768 \cdot \frac{1,018-0,264}{1,555} = \\ & = 66,802 \text{ кН}, \end{aligned}$$

$$P_0 = H_p + \mu P_{в2} =$$

$$= 15,295 + 0,25 \cdot 66,802 = 31,996 \text{ кН},$$



- вагон с пассажирами

$$P_{в1} = 2Q_{ш}^{ст} \left[ \frac{b-a_2}{l} (1 - \bar{k}_{д.в1}) - \frac{b}{l} k_{д.бк} \right] +$$

$$+ H_p \frac{r}{l} + q_{к.п} \frac{b-a_2}{l} = 2 \cdot 75,606 \times$$

$$\times \left[ \frac{1,018 - 0,217}{1,555} \cdot (1 - 0,094) - \frac{1,018}{1,555} \cdot 0,031 \right] +$$

$$+ 16,335 \cdot \frac{0,45}{1,555} + 13,768 \cdot \frac{1,018 - 0,217}{1,555} =$$

$$= 79,325 \text{ кН},$$

$$P_{в2} = 2Q_{ш}^{ст} \left[ \frac{b-a_1}{l} (1 - \bar{k}_{д.в1}) + \frac{b}{l} k_{д.бк} \right] -$$

$$- H_p \frac{r}{l} + q_{к.п} \frac{b-a_1}{l} = 2 \cdot 75,606 \times$$

$$\times \left[ \frac{1,018 - 0,264}{1,555} \cdot (1 - 0,094) + \frac{1,018}{1,555} \cdot 0,031 \right] -$$

$$- 16,335 \cdot \frac{0,45}{1,555} + 13,768 \cdot \frac{1,018 - 0,264}{1,555} =$$

$$= 71,499 \text{ кН},$$

$$P_6 = H_p + \mu P_{в2} =$$

$$= 16,335 + 0,25 \cdot 71,499 = 34,21 \text{ кН}.$$

Допустимый коэффициент устойчивости колеса против схода с рельсов для пассажирских вагонов  $[K_{y.c}] = 2$ .

Коэффициент устойчивости колеса против схода с рельсов:

- порожний вагон

$$K_{y.c} = \varepsilon \cdot \frac{P_{в1}}{P_6} = 1,034 \cdot \frac{73,873}{31,996} = 2,388 > [K_{y.c}] = 2,$$

условие выполняется;

- вагон с пассажирами

$$K_{y.c} = \varepsilon \cdot \frac{P_{в1}}{P_6} = 1,034 \cdot \frac{79,325}{34,210} = 2,398 > [K_{y.c}] = 2,$$

условие выполняется.

## Выводы

Коэффициент вертикальной динамики:

- вагон с пассажирами

$$k_{д.в} = 0,264 < [k_{д.в}] = 0,35;$$

- вагон порожний

$$k_{д.в} = 0,277 < [k_{д.в}] = 0,35.$$

Коэффициент горизонтальной динамики

$$k_{д.г} = 0,21 < [k_{д.г}] = 0,25.$$

Условие по запасу устойчивости вагона выполнено.

Коэффициент запаса устойчивости вагона с пассажирами от опрокидывания

$$k_{y.o} = 1,42 > [k_{y.o}] = 1,4.$$

Коэффициент устойчивости порожнего вагона от опрокидывания

$$k_{y.o} = 1,43 > [k_{y.o}] = 1,4.$$

Условие по запасу устойчивости колеса против схода с рельсов выполнено.

Устойчивость колеса против схода с рельсов вагона с пассажирами

$$K_{y.o} = 2,398 > [K_{y.o}] = 2.$$

Устойчивость колеса против схода с рельсов порожнего вагона

$$K_{y.o} = 2,388 > [K_{y.o}] = 2.$$

Таким образом, все нормируемые динамические показатели пассажирского вагона модели 61-779 не превышают допускаемые величины, а показатели устойчивости имеют достаточный запас, что свидетельствует о хороших качествах хода вагона. Проведенные в дальнейшем более полные теоретические исследования и динамические ходовые испытания полностью подтверждают выполненные расчеты.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных): ВНИИВ-ВНИИЖТ. – 1983.

Поступила в редколлегию 23.02.2006.

А. И. ЯЛОВОЙ (ОАО «Завод точного литья»)

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

Наведено математичну модель просторових коливань залізничної шестивісної спеціалізованої платформи для перевезення скрапу. Модель застосовується для визначення динамічних показників спеціалізованої платформи на стадії проектування.

Приведена математическая модель пространственных колебаний железнодорожной шестиосной специализированной платформы для перевозки скрапа. Модель применяется для определения динамических показателей специализированной платформы на стадии проектирования.

The paper presents a mathematical model of spatial oscillations of six-axle specialized railway platform for transportation of scrap. The model is used for determination of dynamical indices of the specialized platform at the design stage.

Вновь создаваемые рельсовые экипажи целесообразно оценивать по их динамическим качествам еще на стадии проектирования для отработки конструкции и обоснования принятых технических решений.

Оригинальную конструкцию шестиосной специализированной платформы для перевозки скрапа [1; 2] целесообразно проверить с точки зрения динамической нагруженности перед серийным изготовлением. Для этого разработаем математическую модель про-

странственных колебаний этой платформы в классической постановке задачи.

При исследовании пространственных колебаний платформы кузов, соединительная балка четырехосной тележки, надрессорные балки, боковые рамы, колесные пары рассматриваются как твердые тела в соответствии с [3]. Платформа представляет собой механическую систему, состоящую из 17 твердых тел.

На рис. 1 изображена расчетная схема специализированной платформы.

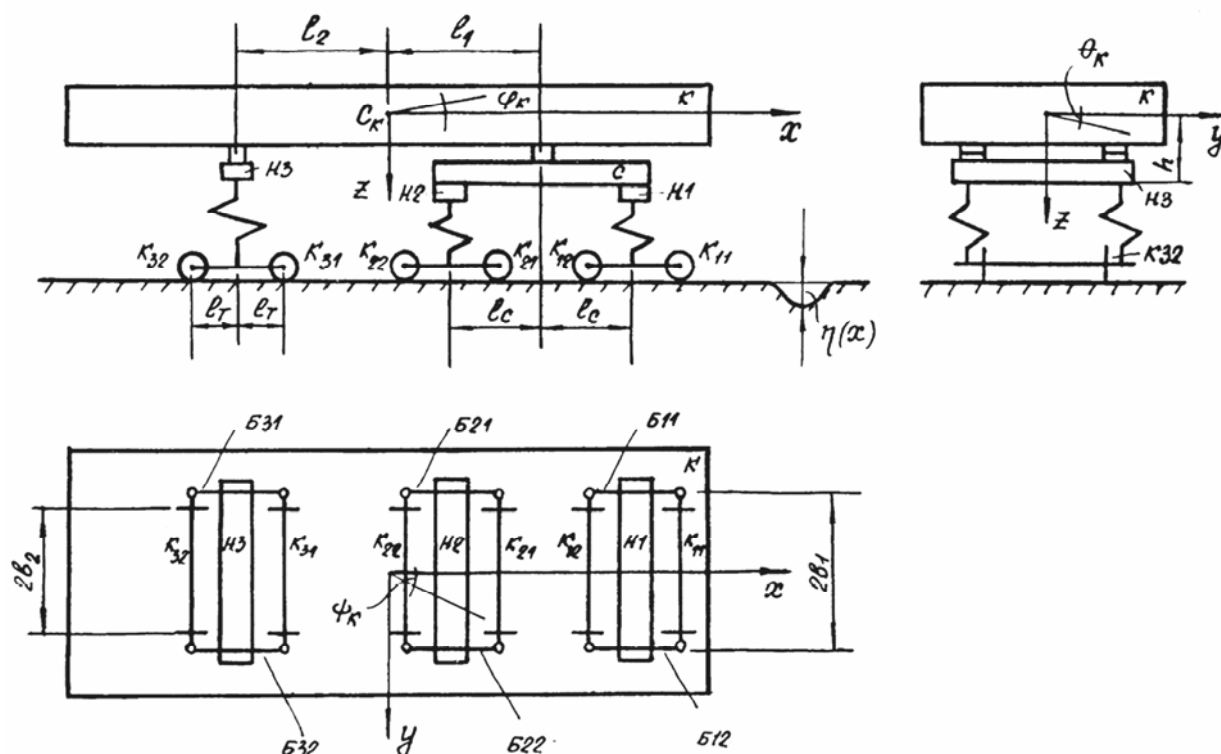


Рис. 1. Расчетная схема платформы

Обозначения на этом рисунке следующие:  $\kappa$  – кузов;  $c$  – соединительная балка;  $n_i$  – наддрессорные балки ( $i = \overline{1,3}$  – номер тележки);  $\bar{b}_i$  – боковые рамы;  $\kappa_{ij}$  – колесные пары ( $j = \overline{1,2}$  – номер колесной пары в тележке);  $l_1, l_2$  – расстояния от центра масс кузова (точка  $C_\kappa$ ) до центров масс передней и задней (по ходу) тележек;  $2l_c$  – расстояние между осями рессорных комплектов четырехосной тележки в продольном направлении;  $2l_T$  – база двухосной тележки;  $v$  – скорость движения;  $\eta(x)$  – неровность пути.

Обозначения боковых рам имеют вид: бик ( $\kappa = 1$  – левая,  $\kappa = 2$  – правая сторона платформы);  $2b_1, 2b_2$  – расстояние в поперечном направлении соответственно между рессорными комплектами и между кругами катания колес;  $h$  – высота центра масс кузова над плоскостью опирания наддрессорных балок на рессорные комплекты. Неровности пути будут рассматриваться двух типов: вертикальные  $\eta_{b,i,j,\kappa}(x)$  и горизонтальные  $\eta_{\Gamma,i,j,\kappa}(x)$ . Перемещения букв и колес имеют индексы  $ijk$ .

При исследовании пространственных колебаний каждое тело имеет 6 степеней свободы, которые обозначены так:  $x$  – подергивание;  $y$  – боковой относ;  $z$  – подпрыгивание;  $\theta$  – боковая качка;  $\varphi$  – продольная качка;  $\psi$  – виливание. Положительные направления всех поступательных перемещений – вдоль соответствующих осей, всех линейных перемещений – против часовой стрелки, если смотреть со стороны положительного направления соответствующей оси (эти направления показаны на рис. 1).

Таким образом, 17 твердых тел имеют 102 координаты. Рассмотрим связи, наложенные на систему:

- перемещения всех тел кроме боковых рам вдоль оси  $x$  одинаковы

$$\left. \begin{aligned} x_\kappa &= x_c = x_{n,i} = x_{\kappa,ij}, \\ x_{\bar{b},i1} &= x_{n,i} + b_1 \psi_{n,i}, \\ x_{\bar{b},i2} &= x_{n,i} - b_1 \psi_{n,i}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

- боковая качка кузова и тележек одинаковы (зазорами между скользунами, изображенными на рис. 1, пренебрегаем)

$$\theta_\kappa = \theta_c = \theta_{n,1} = \theta_{n,2} = \theta_{n,3}; \quad (2)$$

- продольной качкой наддрессорных балок пренебрегаем

$$\varphi_{n,1} = \varphi_{n,2} = \varphi_{n,3} = 0;$$

- кузов не отрывается от тележек

$$z_c = z_\kappa - l_1 \varphi_\kappa, \quad z_{n,3} = z_\kappa + l_2 \varphi_\kappa; \quad (3)$$

- соединительная балка не отрывается от наддрессорных балок

$$z_{n,1} = z_c - l_c \varphi_c, \quad z_{n,2} = z_c + l_c \varphi_c; \quad (4)$$

- зазорами между пятой и подпятником в поперечном направлении пренебрегаем

$$\left. \begin{aligned} y_c &= y_\kappa + l_1 \psi_\kappa - h \theta_\kappa, \\ y_{n,1} &= y_c + l_c \psi_c, \\ y_{n,2} &= y_c - l_c \psi_c, \\ y_{n,3} &= y_\kappa - l_2 \psi_\kappa - h \theta_\kappa; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

- предполагаем, что влияние наддрессорных балок и колесных пар одинаково

$$\left. \begin{aligned} \psi_{n,1} &= \psi_{\kappa,11} = \psi_{\kappa,12}, \\ \psi_{n,2} &= \psi_{\kappa,21} = \psi_{\kappa,22}, \\ \psi_{n,3} &= \psi_{\kappa,31} = \psi_{\kappa,32}; \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

- предполагаем, что взаимные поступательные перемещения боковых рам и колесных пар отсутствуют

$$\left. \begin{aligned} \psi_{\bar{b},11} &= \psi_{\bar{b},12}, \quad \psi_{\bar{b},21} = \psi_{\bar{b},22}, \quad \psi_{\bar{b},31} = \psi_{\bar{b},32}, \\ y_{\bar{b},11} &= y_{\bar{b},12}, \quad y_{\bar{b},21} = y_{\bar{b},22}, \quad y_{\bar{b},31} = y_{\bar{b},32}; \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

- боковой качкой боковых рам пренебрегаем

$$\theta_{\bar{b},ik} = 0;$$

- колесные пары движутся без проскальзываний

$$\varphi_{\kappa,i,j} = \frac{x_{\kappa,i,j}}{r}; \quad (8)$$

- боковой относ колесных пар определяется перемещениями боковых рам

$$\left. \begin{aligned} y_{\kappa i1} &= y_{\bar{b}i1} + l_m \psi_{\bar{b}i1}, \\ y_{\kappa i2} &= y_{\bar{b}i1} - l_m \psi_{\bar{b}i1}; \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

- путь предполагается жестким в вертикальном и горизонтальном направлениях

$$z_{\kappa,i,j} = \frac{1}{2}(\eta_{b,i,j1} + \eta_{b,i,j2}),$$

$$z_{\kappa,i,j} = \frac{1}{2}(\eta_{b,i,j1} + \eta_{b,i,j2}),$$

$$\theta_{\kappa,i,j} = \frac{1}{2b_2}(\eta_{b,i,j2} - \eta_{b,i,j1}),$$

$$z_{\bar{6}ik} = \frac{1}{2}(\eta_{b,i,1k} + \eta_{b,i,2k}),$$

$$\varphi_{\bar{6}ik} = \frac{1}{2l_T}(\eta_{b,i,1k} - \eta_{b,i,2k}).$$

Взаимодействие платформы с упругим и упруговязким путем может быть рассмотрено с использованием моделей пути [4; 5], но в данной задаче ограничимся принятыми допущениями. Наложено 85 уравнений связей. Поэтому система имеет  $102 - 85 = 17$  степеней свободы. В качестве обобщенных координат выберем следующие перемещения:

$$z_{\kappa} = q_1, \quad \varphi_{\kappa} = q_2, \quad \varphi_c = q_3, \quad y_{\kappa} = q_4,$$

$$\psi_{\kappa} = q_5, \quad \theta_{\kappa} = q_6, \quad \psi_c = q_7, \quad \psi_{\text{н.1}} = q_8,$$

$$\psi_{\text{н.2}} = q_9, \quad \psi_{\text{н.3}} = q_{10}, \quad y_{\bar{6}.11} = q_{11},$$

$$y_{\bar{6}.21} = q_{12}, \quad y_{\bar{6}.31} = q_{13}, \quad \psi_{\bar{6}.11} = q_{14},$$

$$\psi_{\bar{6}.21} = q_{15}, \quad \psi_{\bar{6}.31} = q_{16}, \quad \alpha = q_{17}.$$

Запишем взаимные перемещения тел системы:

- между кузовом и соединительной или надрессорной балкой при влиании

$$\Delta_{\psi,c} = \psi_{\kappa} - \psi_c = q_5 - q_7,$$

$$\Delta_{\psi,3} = \psi_{\kappa} - \psi_{\text{н.3}} = q_5 - q_{10};$$

- между соединительной балкой и надрессорными балками четырехосной тележки при влиании

$$\Delta_{\psi,1} = \psi_c - \psi_{\text{н.1}} = q_7 - q_8,$$

$$\Delta_{\psi,2} = \psi_c - \psi_{\text{н.2}} = q_7 - q_9;$$

- между надрессорными балками и боковыми рамами при перемещениях в вертикальном направлении

$$\Delta_{z11} = z_{\text{н.1}} - b_1\theta_{\text{н.1}} - z_{\bar{6}.11} = q_1 - l_1q_2 -$$

$$-l_cq_3 - b_1q_6 - \frac{1}{2}(\eta_{b111} + \eta_{b121}),$$

$$\Delta_{z12} = z_{\text{н.1}} + b_1\theta_{\text{н.1}} - z_{\bar{6}.12} = q_1 - l_1q_2 -$$

$$-l_cq_3 + b_1q_6 - \frac{1}{2}(\eta_{b112} + \eta_{b122}),$$

$$\Delta_{z21} = z_{\text{н.2}} - b_1\theta_{\text{н.2}} - z_{\bar{6}.21} = q_1 - l_1q_2 + l_cq_3 -$$

$$-b_1q_6 - \frac{1}{2}(\eta_{b211} + \eta_{b221}),$$

$$\Delta_{z22} = z_{\text{н.2}} + b_1\theta_{\text{н.2}} - z_{\bar{6}.22} = q_1 - l_1q_2 + l_cq_3 +$$

$$+b_1q_6 - \frac{1}{2}(\eta_{b212} + \eta_{b222}),$$

$$\Delta_{z31} = z_{\text{н.3}} - b_1\theta_{\text{н.3}} - z_{\bar{6}.31} = q_1 + l_2q_2 -$$

$$-b_1q_6 - \frac{1}{2}(\eta_{b311} + \eta_{b321}),$$

$$\Delta_{z32} = z_{\text{н.3}} + b_1\theta_{\text{н.3}} - z_{\bar{6}.32} = q_1 + l_2q_2 -$$

$$-b_1q_6 - \frac{1}{2}(\eta_{b312} + \eta_{b322});$$

- при перемещениях в горизонтальном поперечном направлении

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{y11} &= \Delta_{y12} = y_{\text{н.1}} - y_{\bar{6}11} = \\ &= q_4 + l_1q_5 - hq_6 + l_cq_7 - q_{11}, \\ \Delta_{y21} &= \Delta_{y22} = y_{\text{н.2}} - y_{\bar{6}21} = \\ &= q_4 + l_1q_5 - hq_6 - l_cq_7 - q_{12}, \\ \Delta_{y31} &= \Delta_{y32} = y_{\text{н.3}} - y_{\bar{6}31} = \\ &= q_4 - l_2q_5 - hq_6 - q_{13}; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

и при влиании

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{\psi11} &= \Delta_{\psi12} = \psi_{\text{н.1}} - \psi_{\bar{6}11} = q_8 - q_{14}, \\ \Delta_{\psi21} &= \Delta_{\psi22} = \psi_{\text{н.2}} - \psi_{\bar{6}21} = q_9 - q_{15}, \\ \Delta_{\psi31} &= \Delta_{\psi32} = \psi_{\text{н.3}} - \psi_{\bar{6}31} = q_{10} - q_{16}; \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

- между боковыми рамами и колесными парами при влиании

$$\Delta_{\psi111} = \Delta_{\psi112} = \Delta_{\psi121} = \Delta_{\psi122} =$$

$$= \psi_{\kappa11} - \psi_{\bar{6}11} = q_8 - q_{14} = \Delta_{\psi11},$$

$$\Delta_{\psi211} = \Delta_{\psi212} = \Delta_{\psi221} = \Delta_{\psi222} =$$

$$= \psi_{\kappa21} - \psi_{\bar{6}21} = q_9 - q_{15} = \Delta_{\psi21},$$

$$\Delta_{\psi311} = \Delta_{\psi312} = \Delta_{\psi321} = \Delta_{\psi322} =$$

$$= \psi_{\kappa31} - \psi_{\bar{6}31} = q_{10} - q_{16} = \Delta_{\psi31};$$

- между колесами и рельсами в горизонтальном поперечном направлении

$$y_{111} = y_{112} = y_{\kappa11} - \eta_{\epsilon11} = q_{11} + l_mq_{14} - \eta_{\epsilon11},$$

$$y_{121} = y_{122} = y_{\kappa12} - \eta_{\epsilon12} = q_{11} - l_mq_{14} - \eta_{\epsilon12},$$

$$y_{211} = y_{212} = y_{\kappa21} - \eta_{\epsilon21} = q_{12} + l_mq_{15} - \eta_{\epsilon21},$$

$$y_{221} = y_{222} = y_{\kappa22} - \eta_{\epsilon22} = q_{12} - l_mq_{15} - \eta_{\epsilon22},$$

$$y_{311} = y_{312} = y_{\kappa 31} - \eta_{\varepsilon 31} = q_{13} + l_m q_{16} - \eta_{\varepsilon 31},$$

$$y_{321} = y_{322} = y_{\kappa 32} - \eta_{\varepsilon 32} = q_{13} - l_m q_{16} - \eta_{\varepsilon 32}.$$

Введем обозначения:  $2\delta$  – зазор в рельсовой колее;  $\mu_0 = 0,05$  – коничность поверхности катания колес. При перемещениях (19) происходит изменение радиуса поверхности катания колеса  $\Delta r_{ijk}$ , которое определим так [6]:

$$\Delta r_{ij1} = f(y_{ij1}) = \begin{cases} -0,06 \cdot 10^6 (y_{ij1} + \delta)^3 - 0,05 y_{ij1}, & \text{если } y_{ij1} + \delta < 0, \\ -0,5 y_{ij1}, & \text{если } y_{ij1} + \delta \geq 0; \end{cases} \quad (12)$$

$$\Delta r_{ij2} = f(y_{ij2}) = \begin{cases} 0,05 y_{ij2}, & \text{если } y_{ij2} - \delta \leq 0, \\ 0,06 \cdot 10^6 (y_{ij2} - \delta)^3 + 0,05 y_{ij2}, & \text{если } y_{ij2} - \delta > 0. \end{cases}$$

В дальнейшем понадобятся также производные от выражений (12) по перемещениям  $y_{ij\delta}$ , то есть тангенсы углов наклона поверхности катания колес к горизонтали

$$f'(y_{ij1}) = \begin{cases} -0,18 \cdot 10^6 (y_{ij1} + \delta)^2 - 0,05, & \text{если } y_{ij1} + \delta < 0, \\ -0,5, & \text{если } y_{ij1} + \delta \geq 0; \end{cases}$$

$$f'(y_{ij2}) = \begin{cases} 0,05, & \text{если } y_{ij2} - \delta \leq 0, \\ 0,18 \cdot 10^6 (y_{ij2} - \delta)^2 + 0,05, & \text{если } y_{ij2} - \delta > 0. \end{cases}$$

Запишем выражения для сил, действующих в системе:

- моменты сил трения при взаимном влиянии кузова и соединительной балки, кузова и наддрессорной балки, соединительной и наддрессорных балок (в пяте и на скользунах)

$$\begin{cases} M_{\psi c} = M_0 \text{sign} \dot{\Delta}_{\psi c}, \\ M_{\psi i} = M_{0i} \text{sign} \dot{\Delta}_{\psi i}; \end{cases} \quad (13)$$

- моменты сил упругости и трения при взаимном влиянии наддрессорных балок и боковых рам, колесных пар и боковых рам

$$M_{\psi ik} = \kappa_{\psi\psi} \Delta_{\psi ik} + M_{\psi 0} \text{sign} \dot{\Delta}_{\psi ik},$$

$$M_{\psi ijk} = \kappa_{\delta\psi} \Delta_{\psi ijk} + M_{\delta 0} \text{sign} \dot{\Delta}_{\psi ijk},$$

где  $M_0$ ,  $M_{0i}$ ,  $M_{\psi 0}$ ,  $M_{\delta 0}$  – амплитудные значения моментов;  $\kappa_{\psi\psi}$ ,  $\kappa_{\delta\psi}$  – угловые жесткости;

- силы в центральном подвешивании тележек вертикальные

$$S_{zik} = \kappa_z \Delta_{zik} + S_{z0i} \text{sign} \dot{\Delta}_{zik} \quad (14)$$

и горизонтальные поперечные

$$S_{yik} = \kappa_y \Delta_{yik} + S_{y0i} \text{sign} \dot{\Delta}_{yik}, \quad (15)$$

где  $\kappa_z$ ,  $\kappa_y$  – жесткости рессорных комплектов соответственно в вертикальном и горизонтальном поперечном направлениях;  $S_{z0i}$ ,  $S_{y0i}$  – амплитудные значения сил сухого трения демпферов в соответствующих направлениях, причем  $S_{z0i}$  определяется следующим образом:

$$S_{z0i} = \frac{1}{2} \varphi S_{cmi},$$

а  $S_{y0i}$  – принято равным  $S_{y0i} = S_{z0i} / 2$ ,  $S_{cmi}$  – статическое давление на тележку;

- реакции рельсов

$$R_{ijk} = f'(y_{ijk}) S_{ijk},$$

- давление колеса на рельс

$$S_{i1k} = S_{i2k} = S_{cm.i1} + \frac{1}{2} S_{zik},$$

- силы трения между колесами и рельсами, определяемые по теории псевдоскольжения [3] соответственно в направлении вдоль и поперек оси пути

$$\begin{cases} X_{ijk} = -F_{ijk} \varepsilon_{xijk}, \\ Y_{ijk} = -F_{ijk} \varepsilon_{yijk}, \end{cases} \quad (16)$$

проскальзывания колес равны

$$\begin{cases} \varepsilon_{xij1} = -\varepsilon_{xij2} = b_2 \frac{\dot{\Psi}_{kij}}{v} + \frac{\Delta r_{ij}}{r}, \\ \Delta r_{ij} = \frac{1}{2} (\Delta r_{ij2} - \Delta r_{ij1}), \\ \varepsilon_{yij1} = -\varepsilon_{yij2} = \frac{1}{v} \dot{y}_{kij} - \Psi_{kij}, \\ \varepsilon_{ij}^2 = \varepsilon_{xij}^2 + \varepsilon_{yij}^2, \end{cases} \quad (17)$$

коэффициент псевдоскольжения равен

$$F_{ij1} = F_{ij2} = \frac{235 \cdot S_{cm.ij} - 2,4 S_{cm.ij}^2 + 0,01 S_{cm.ij}^3}{\sqrt{1 + 4,33(235 - 2,4 S_{cm.ij} + 0,01 S_{cm.ij}^2)^2 \varepsilon_{ij}^2}}, \quad (18)$$

где статическое давление колеса на рельс

$$S_{cm.i1} = S_{cm.i2} = \frac{1}{4} S_{cm.i} + \frac{1}{2} (m_{\delta} + m_o) g.$$

Составим дифференциальные уравнения колебаний вагона, применив принцип Даламбера. Прикладываем перечисленные выше силы и моменты к соответствующим телам и составляем уравнение равновесия для всей платформы:

$$\begin{aligned} & -m_k \ddot{x}_k - m_c \ddot{x}_c - m_n (\ddot{x}_{n1} + \ddot{x}_{n2} + \ddot{x}_{n3}) - \\ & -m_o (\ddot{x}_{o11} + \ddot{x}_{o12} + \ddot{x}_{o21} + \ddot{x}_{o22} + \ddot{x}_{o31} + \ddot{x}_{o32}) - \\ & -m_o (\ddot{x}_{k11} + \ddot{x}_{k12} + \ddot{x}_{k21} + \ddot{x}_{k22} + \ddot{x}_{k31} + \ddot{x}_{k32}) - \\ & -\frac{I_o}{r} (\ddot{\phi}_{k11} + \ddot{\phi}_{k12} + \ddot{\phi}_{k21} + \ddot{\phi}_{k22} + \ddot{\phi}_{k31} + \ddot{\phi}_{k32}) + \\ & +X_{111} + X_{112} + X_{121} + X_{122} + X_{211} + X_{212} + \\ & +X_{221} + X_{222} + X_{311} + X_{312} + X_{321} + X_{322} = 0. \end{aligned}$$

Здесь обозначено:  $m_k$ ,  $m_c$ ,  $m_n$ ,  $m_o$ ,  $m_o$  – массы кузова платформы, соединительной и надрессорной балки, боковой рамы и колесной пары.

Рассмотрим в этом уравнении слагаемые

$$X_{111} + X_{112} = -F_{111} \varepsilon_{111} - F_{112} \varepsilon_{112} = 0.$$

Следовательно, сумма всех проекций сил псевдоскольжения на ось равна нулю. Учтем уравнения связей (1) и (8), в результате получим следующее уравнение, определяющее циклическую координату:

$$a_0 \ddot{q}_0 = 0, \quad (19)$$

где  $a_0$  – инерционный коэффициент, определяющийся как

$$a_0 = m_k + m_c + 3m_n + 6m_o + 6\frac{I_o}{r^2};$$

$I_i$  – момент инерции колесной пары относительно главных центральных осей, перпендикулярных плоскости чертежа.

Сумма проекций на ось  $z$  всех сил, действующих на кузов, соединительную и надрессорные балки включает также силы (14):

$$\begin{aligned} & -m_k \ddot{z}_k - m_c \ddot{z}_c - m_n (\ddot{z}_{n1} + \ddot{z}_{n2} + \ddot{z}_{n3}) - \\ & -S_{z11} - S_{z12} - S_{z21} - S_{z22} - S_{z31} - S_{z32} = 0, \end{aligned}$$

или с учетом уравнений (3), (4)

$$\left. \begin{aligned} a_{11} \ddot{q}_1 - a_{12} \ddot{q}_2 &= Q_1, \\ Q_1 &= -\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^2 S_{zik}. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Составим уравнения, описывающие колебания продольной качки кузова и соединительной балки:

$$\begin{aligned} & -I_{yk} \ddot{\phi}_k + m_c \ddot{z}_c l_1 - m_n \ddot{z}_{n3} l_2 + m_n \ddot{z}_{n1} l_1 + m_n \ddot{z}_{n2} l_1 + \\ & + l_1 (S_{z11} + S_{z12} + S_{z21} + S_{z22}) - l_2 (S_{z31} + S_{z32}) = 0, \\ & -I_{yc} \ddot{\phi}_c + m_n \ddot{z}_{n2} l_c - m_n \ddot{z}_{n2} l_c + \\ & + l_c (S_{z11} + S_{z12} - S_{z21} - S_{z22}) = 0, \end{aligned}$$

где  $I_{yk}$ ,  $I_{yc}$  – моменты инерции кузова и соединительной балки относительно главных центральных осей, перпендикулярных оси пути. После подстановки в эти уравнения выражений (3), (4) получим

$$\left. \begin{aligned} a_{22} \ddot{q}_2 - a_{12} \ddot{q}_1 &= Q_2, \\ Q_2 &= l_1 \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^2 S_{zik} - l_2 \sum_{k=1}^2 S_{z3k}, \\ a_{33} \ddot{q}_3 &= Q_3, \quad Q_3 = l_c \sum_{k=1}^2 (S_{z1k} - S_{z2k}). \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Составим уравнения для бокового отбоя кузова, то есть сумму проекций на ось  $o$  всех сил, действующих на кузов, соединительную и надрессорные балки; сюда войдут помимо сил инерции также силы  $S_{yik}$  (15)

$$\begin{aligned} & -m_k \ddot{y}_k - m_c \ddot{y}_c - m_n (\ddot{y}_{n1} + \ddot{y}_{n2} + \ddot{y}_{n3}) - \\ & -S_{y11} - S_{y12} - S_{y21} - S_{y22} - S_{y31} - S_{y32} = 0. \end{aligned}$$

Подставим в это уравнение выражения (5) и получим, учитывая (10),

$$\left. \begin{aligned} a_{44} \ddot{q}_4 + a_{45} \ddot{q}_5 - a_{46} \ddot{q}_6 &= Q_4, \\ Q_4 &= -2 \sum_{i=1}^3 S_{yi1}, \\ a_{44} &= m_k + m_c + 3m_n, \\ a_{45} &= m_c l_1 + 2m_n l_1 - m_n l_2, \\ a_{46} &= m_c h + 3m_n h. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Для уравнения влияния кузова необходимо учесть также моменты сил трения  $M_{\psi c}$ ,  $M_{\psi 3}$  (19):

$$\begin{aligned} & -I_{zk} \ddot{\psi}_k - m_c \ddot{y}_c l_1 - m_n \ddot{y}_{n1} l_1 - m_n \ddot{y}_{n2} l_1 + \\ & + m_n \ddot{y}_{n3} l_2 - l_1 (S_{y11} + S_{y12} + S_{y21} + S_{y22}) + \\ & + l_2 (S_{y31} + S_{y32}) - M_{\psi c} - M_{\psi 3} = 0. \end{aligned}$$

После подстановки в это уравнение (5) преобразуем его к такому виду

$$\left. \begin{aligned} a_{55}\ddot{q}_5 + a_{45}\ddot{q}_4 - a_{56}\ddot{q}_6 &= Q_5, \\ Q_5 &= -2l_1 \sum_{i=1}^2 S_{yi1} + 2l_2 S_{y31} - M_{\psi c} - M_{\psi 3}, \\ a_{55} &= I_{zc} + m_c l_1^2 + 2m_n l_1^2 + m_n l_2^2, \\ a_{56} &= h(m_c l_1 + 2m_n l_1 - m_n l_2), \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

где  $I_{zc}$  – момент инерции кузова относительно вертикальной оси.

Составим следующее уравнение для боковой качки кузова; в это уравнение входят силы  $S_{zik}$ ,  $S_{yik}$ :

$$\begin{aligned} -I_{xk}\ddot{\theta}_k - I_{xc}\ddot{\theta}_c - I_{xn}(\ddot{\theta}_{n1} + \ddot{\theta}_{n2} + \ddot{\theta}_{n3}) + \\ + h(m_c \ddot{y}_c + m_n \ddot{y}_{n1} + m_n \ddot{y}_{n2} + m_n \ddot{y}_{n3}) + \\ -h(S_{y11} + S_{y12} + S_{y21} + S_{y22} + S_{y31} + S_{y32}) + \\ + b_1(S_{z11} - S_{z12} + S_{z21} - S_{z22} + S_{z31} - S_{z32}) = 0. \end{aligned}$$

В это уравнение подставим выражения (2) и (5); в результате получим:

$$\left. \begin{aligned} a_{66}\ddot{q}_6 - a_{46}\ddot{q}_4 - a_{56}\ddot{q}_5 &= Q_6, \\ Q_6 &= 2h \sum_{i=1}^3 S_{yi1} + b_1 \sum_{i=1}^3 (S_{zi1} - S_{zi2}), \\ a_{66} &= I_{xk} + I_{xc} + 3I_{xn} + m_c h^2 + 3m_n h^2, \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

где  $I_{xk}$ ,  $I_{xc}$ ,  $I_{xn}$  – моменты инерции кузова, соединительной и надрессорной балок относительно продольной оси.

Как видно из (22)–(24), уравнения для координат  $q_4 \div q_6$  имеют динамические связи.

Седьмая координата-влияние соединительной балки  $q_7$ . При колебаниях  $\psi_c = q_7$  возникают моменты сил трения  $M_{\psi c}$  и  $M_{\psi 1}$ ,  $M_{\psi 2}$  (13)

$$\begin{aligned} -I_{zc}\ddot{\psi}_c + m_n \ddot{y}_{n1} l_c - m_n \ddot{y}_{n2} l_c + M_{\psi c} - M_{\psi 1} - \\ - M_{\psi 2} - l_c(S_{y11} + S_{y12} - S_{y21} - S_{y22}) = 0. \end{aligned}$$

Это уравнение с учетом связей (5) запишем

$$\left. \begin{aligned} a_{77}\ddot{q}_7 &= Q_7, \\ Q_7 &= M_{\psi c} - M_{\psi 1} - M_{\psi 2} - 2l_c(S_{y11} - S_{y21}), \\ a_{77} &= I_{zc} + 2m_n l_c^2, \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

где  $I_{zc}$  – момент инерции соединительной балки относительно вертикальной оси.

Перейдем к составлению уравнений для тележек. Сначала рассмотрим влияние надрессорных балок и колесных пар, которое принято одинаковым для каждой тележки. При этих колебаниях действуют, с одной стороны, моменты  $M_{\psi i}$ , а с другой –  $M_{\psi ik}$  (на надрессорные балки), а также моменты  $M_{\psi ijk}$  и моменты сил  $X_{ijk}$  (на колесные пары). Поэтому уравнения для координат  $q_8 \dots q_{10}$  имеют вид

$$\begin{aligned} -I_{zn}\ddot{\psi}_{n1} - I_{zo}(\ddot{\psi}_{k11} + \ddot{\psi}_{k12}) - m_b b_1(\ddot{x}_{b11} - \ddot{x}_{b12}) + \\ + M_{\psi 1} - M_{\psi 11} - M_{\psi 12} - M_{\psi 111} - M_{\psi 112} - M_{\psi 121} - \\ - M_{\psi 122} + b_2(X_{111} - X_{112} + X_{121} - X_{122}) = 0. \end{aligned} \quad (26)$$

Аналогичные уравнения составляются для других тележек.

Учтем равенства (16)–(18). Тогда

$$\begin{aligned} X_{111} - X_{112} + X_{121} - X_{122} = \\ = -F_{111}\varepsilon_{x111} + F_{112}\varepsilon_{x112} - F_{121}\varepsilon_{x121} + F_{122}\varepsilon_{x122} = \\ = -2(F_{111}\varepsilon_{x111} + F_{121}\varepsilon_{x121}). \end{aligned}$$

Следует иметь в виду также, что

$$\begin{aligned} M_{\psi 11} &= M_{\psi 12}, \\ M_{\psi 111} &= M_{\psi 112} = M_{\psi 121} = M_{\psi 122}. \end{aligned}$$

Кроме того, имеют место соотношения между координатами (1), (6). Поэтому получим (26) в таком виде

$$a_{88}\ddot{q}_8 = Q_8,$$

$$\begin{aligned} Q_8 &= M_{\psi 1} - 2M_{\psi 11} - 4M_{\psi 111} - \\ &- 2b_2(F_{111}\varepsilon_{x111} + F_{121}\varepsilon_{x121}), \end{aligned}$$

$$a_{88} = I_{zn} + 2I_{zo} + 2m_b b_1^2,$$

где  $I_{zn}$ ,  $I_{zi}$  – моменты инерции надрессорной балки и колесной пары относительно вертикальной оси.

Таким образом, для координат  $q_8 \dots q_{10}$  получим следующие уравнения:

$$\left. \begin{aligned} a_{88}\ddot{q}_8 &= Q_8, \quad a_{99}\ddot{q}_9 = Q_9, \quad a_{1010}\ddot{q}_{10} = Q_{10}, \\ a_{88} &= a_{99} = a_{1010}, \\ Q_n &= M_{\psi 1} - 2M_{\psi i1} - 4M_{\psi i11} - 2b_2 \sum_{j=1}^2 S_{ij1}\varepsilon_{xij1}, \\ (n &= 7 + i, \quad i = \overline{1,3}). \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

Составим уравнения для бокового отбоя боковых рам тележек, к которым приложены силы  $S_{yik}$ ,  $R_{ijk}$ ,  $Y_{ijk}$ ; вначале рассмотрим координату  $y_{\delta 11} = y_{\delta 12} = q_{11}$ :

$$\begin{aligned} & -m_{\delta}\ddot{y}_{\delta 11} - m_{\delta}\ddot{y}_{\delta 12} - m_0\ddot{y}_{\kappa 11} - m_0\ddot{y}_{\kappa 12} + \\ & + S_{y11} + S_{y12} + Y_{111} + Y_{112} + Y_{121} + Y_{122} - \\ & - R_{111} - R_{112} - R_{121} - R_{122} = 0. \end{aligned} \quad (28)$$

Сумма сил  $Y_{1j\epsilon}$  с учетом (16)–(18) равна:

$$\begin{aligned} & Y_{111} + Y_{112} + Y_{121} + Y_{122} = \\ & = -F_{111}\epsilon_{y111} - F_{112}\epsilon_{y112} - F_{121}\epsilon_{y121} - F_{122}\epsilon_{y122} = \\ & = -2(F_{111}\epsilon_{y111} + F_{121}\epsilon_{y121}). \end{aligned}$$

Учтем также (7), (9) и (10), в результате получим (28) в виде

$$\begin{aligned} & a_{11}\ddot{q}_{11} = Q_{11}, \\ & Q_{11} = 2S_{y11} - 2(F_{111}\epsilon_{y111} + F_{121}\epsilon_{y121}) - \sum_{j=1}^2 \sum_{\kappa=1}^2 R_{ijk}, \\ & a_{1111} = 2m_{\delta} + 2m_0. \end{aligned}$$

Следовательно, для координат  $q_{11} \div q_{13}$  получим следующие уравнения:

$$\left. \begin{aligned} & a_{1111}\ddot{q}_{11} = Q_{11}, \quad a_{1212}\ddot{q}_{12} = Q_{12}, \\ & a_{1313}\ddot{q}_{13} = Q_{13}, \quad a_{1111} = a_{1212} = a_{1313}, \\ & Q_n = 2S_{y11} - 2\sum_{j=1}^2 F_{ij1}\epsilon_{yij1} - \sum_{j=1}^2 \sum_{\kappa=1}^2 R_{ijk}, \\ & (n = 10 + i, \quad i = \overline{1,3}). \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Наконец, составим уравнения для виляния боковых рам, прежде всего, для координат  $\psi_{\delta 11} = \psi_{\delta 12} = q_{14}$ .

Здесь действуют моменты  $M_{\psi ik}$ ,  $M_{\psi ijk}$ , а также силы  $R_{ijk}$ ,  $Y_{ijk}$ :

$$\begin{aligned} & -I_{z\delta}\ddot{\psi}_{\delta 11} - I_{z\delta}\ddot{\psi}_{\delta 12} - m_0 l_m \ddot{y}_{\kappa 11} + m_0 l_m \ddot{y}_{\kappa 12} + \\ & + M_{\psi 11} + M_{\psi 12} + M_{\psi 111} + M_{\psi 112} + M_{\psi 121} + \\ & + M_{\psi 122} + l_m (Y_{111} + Y_{112} - Y_{121} - Y_{122}) - \\ & - l_m (R_{111} + R_{112} - R_{121} - R_{122}) = 0 \end{aligned}$$

С учетом соотношений (7), (9), (11), (19), (16)–(18) это уравнение перепишем следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} & a_{1414}\ddot{q}_{14} = Q_{14}, \\ & Q_{14} = 2M_{\psi 11} + 4M_{\psi 111} - \\ & - 2l_m (F_{111}\epsilon_{y111} - F_{121}\epsilon_{y121}) - \\ & - l_m (R_{111} + R_{112} - R_{121} - R_{122}), \\ & a_{1414} = 2I_{z\delta} + 2m_0 l_m^2, \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

где  $I_{z\delta}$  – момент инерции боковой рамы относительно вертикальной оси.

По аналогии с уравнением (30) запишем все уравнения для виляния боковых рам:

$$\left. \begin{aligned} & a_{1414}\ddot{q}_{14} = Q_{14}, \quad a_{1515}\ddot{q}_{15} = Q_{15}, \\ & a_{1616}\ddot{q}_{16} = Q_{16}, \quad a_{1414} = a_{1515} = a_{1616}, \\ & Q_n = 2M_{\psi i1} + 4M_{\psi i11} + \\ & + 2l_m \sum_{j=1}^2 (-1)^j F_{ij1}\epsilon_{yij1} + l_m \sum_{j=1}^2 \sum_{\kappa=1}^2 (-1)^j R_{ijk}, \\ & (n = 13 + i, \quad i = \overline{1,3}). \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

Таким образом, составлены все дифференциальные уравнения, описывающие колебания рассматриваемой системы, то есть уравнения (19)–(25), (27), (29), (31), запишем их вместе

$$\left\{ \begin{aligned} & a_{11}\ddot{q}_1 - a_{12}\ddot{q}_2 = Q_1, \\ & a_{22}\ddot{q}_2 - a_{12}\ddot{q}_1 = Q_2, \\ & a_{33}\ddot{q}_3 = Q_3, \\ & a_{44}\ddot{q}_4 + a_{45}\ddot{q}_5 - a_{46}\ddot{q}_6 = Q_4, \\ & a_{55}\ddot{q}_5 + a_{45}\ddot{q}_4 - a_{56}\ddot{q}_6 = Q_5, \\ & a_{66}\ddot{q}_6 - a_{46}\ddot{q}_4 - a_{56}\ddot{q}_5 = Q_6, \\ & a_{nn}\ddot{q}_n = Q_n \quad (n = \overline{7,16}), \\ & a_0\ddot{q}_0 = 0. \end{aligned} \right. \quad (32)$$

Инерционные коэффициенты и правые части уравнений системы (32) определены выше.

Последнее уравнение системы (32) определяет циклическую координату  $q_0$  и это уравнение не связано с остальными, поэтому его можно исключить.

Координаты  $q_1$  и  $q_2$ , а также  $q_4$ ,  $q_5$  и  $q_6$  связаны между собой динамической связью. Для интегрирования ее следует исключить. Исключим динамическую связь между координатами  $q_1$  и  $q_2$ , а затем между  $q_4$ ,  $q_5$  и  $q_6$ . Для этого разрешим сначала первое и второе, а затем четвертое, пятое и шестое уравнения из системы (32) относительно соответственно  $\ddot{q}_1$ ,  $\ddot{q}_2$ ,  $\ddot{q}_4$ ,  $\ddot{q}_5$  и  $\ddot{q}_6$ .



В результате получим

$$\begin{cases} \ddot{q}_1 = \frac{1}{a_{11}a_{22} - a_{12}^2}(a_{22}Q_1 + a_{12}Q_2), \\ \ddot{q}_2 = \frac{1}{a_{11}a_{22} - a_{12}^2}(a_{11}Q_2 + a_{12}Q_1), \\ \ddot{q}_3 = \frac{1}{a_{33}}Q_3. \end{cases} \quad (33)$$

$$a_{nn}^* \ddot{q}_n = Q_n^* \quad (n = \overline{4, 6}), \quad (34)$$

где

$$\left. \begin{aligned} a_{44}^* &= a_{55}^* = a_{66}^* = a_{44}a_{55}a_{66} + 2a_{45}a_{46}a_{56} - \\ &- a_{46}^2a_{55} - a_{56}^2a_{44} - a_{45}^2a_{66}, \\ Q_4^* &= Q_4(a_{66}a_{55} - a_{56}^2) + Q_5(a_{46}a_{56} - a_{45}a_{66}) + \\ &+ Q_6(a_{46}a_{55} - a_{45}a_{56}), \\ Q_5^* &= Q_5(a_{44}a_{66} - a_{46}^2) + Q_4(a_{46}a_{56} - a_{45}a_{66}) + \\ &+ Q_6(a_{56}a_{44} - a_{45}a_{46}), \\ Q_6^* &= Q_6(a_{44}a_{55} - a_{45}^2) + Q_4(a_{46}a_{55} - a_{45}a_{56}) + \\ &+ Q_5(a_{56}a_{44} - a_{45}a_{46}). \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

Система дифференциальных уравнений (31)–(34) может быть проинтегрирована численными методами. Для этого составлена компьютерная программа вычислений [7], которая позволяет определить все необходимые динамические показатели вагона.

Таким образом, предложена математическая модель пространственных колебаний специализированной платформы, при этом модель учитывает конструктивные особенности платформы и особенности взаимодействия тел системы.

Сравнение результатов теоретических [8–11] и экспериментальных [12] исследований специализированной платформы подтверждает хорошую адекватность предложенной математической модели реальной конструкции.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яловой А. И. Платформа технологическая для совков со скрапом // Проблемы механики залізничного транспорту: Тез. доп. X Міжнар. конф. – Д. – 2000. – С. 204.

2. Яловой А. И. Свидетельство №33392 СССР. Железнодорожная платформа с контейнером для перевозки скрапа / А. И. Яловой, Ю. М. Вродливец, В. Д. Данович, В. А. Приймак. – Оpubл. 1990.
3. Лазарян В. А. Динамика вагонов. – М.: Транспорт, 1964. – 256 с.
4. Данович В. Д. Пространственные колебания вагонов на инерционном пути: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07. – Д., 1981. – 465 с.
5. Мямлин С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей. – Д.: Новая идеология, 2002. – 240 с.
6. Вершинский С. В. Динамика вагона / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, И. И. Челноков. – М.: Транспорт, 1972. – 304 с.
7. Пшинько А. Н. Программа моделирования пространственных колебаний железнодорожных экипажей / А. Н. Пшинько, С. В. Мямлин, Е. А. Письменный, А. И. Яловой // Вісник Східноукраїнського нац.ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля. – 2004. – № 8. – С. 11–13.
8. Данович В. Д. Способы уменьшения коэффициентов вертикальной динамики технологической платформы для совков со скрапом / В. Д. Данович, А. И. Яловой, С. М. Рябченко // Динамическая нагруженность железнодорожного подвижного состава: Межвуз. сб. науч. тр. – Д.: ДИИТ. – 1988. – С. 76–85.
9. Яловой А. И. Платформа технологическая для совков со скрапом // Проблеми механіки залізничного транспорту: Тез. доп. X Міжнар. конф. – Д. – 2000. – С. 204.
10. Яловой А. И. Теоретические исследования динамических характеристик технологической платформы для совков со скрапом / А. И. Яловой, С. М. Рябченко // Проблеми механіки залізничного транспорту: Тезисы докл. VIII конф. – Д. 1992. – С. 67.
11. Теоретические исследования динамических характеристик технологической платформы для совков со скрапом: Отчет о НИР / Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта. – 91.29.87.87; № ГР 01870015529. – Д., 1987. – 98 с.
12. Разработать, изготовить и испытать технологическую платформу грузоподъемностью 130 т для транспортирования на Магнитогорском меткомбинате совков объемом 65 м<sup>3</sup> со скрапом: Отчет о НИР (заключит.) / ВНИИВ. – 88.89.1.222; № ГР 01880048725. – Кременчуг, 1989. – 55 с.

Поступила в редколлегию 02.05.2006.

О. М. ГАВРИШ (Адміністрація Державної спеціальної служби транспорту),  
С. О. ЯКОВЛЄВ, М. В. БОРЕНКО, В. Є. ГУМЕНЮК (ДІТ)

## ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ БУДІВЕЛЬНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Приведені оцінки технічного рівня будівельно-відновлювальної техніки, на основі яких розроблені методики технічного оснащення Державної спеціальної служби транспорту і практичні рекомендації щодо її технічного оснащення.

Приведены оценки технического уровня строительно-восстановительной техники, на основе которых разработаны методики технического оснащения Государственной специальной службы транспорта и практические рекомендации по ее техническому оснащению

The article gives estimations of technical level of construction and restoration machinery, on the basis of which the methods of technical equipment of the Special State Transport Service and practical recommendations thereto have been developed.

Технічний потенціал організації, а також накопичений досвід рішення організаційних і технологічних задач у сфері транспортного будівництва в нашій країні і за кордоном є основним свідченням конкурентоспроможності галузі на світовому ринку. Основною умовою її є безперервний процес оновлення основних фондів організацій, що забезпечують відповідність їх технологічних можливостей заданим характеристикам.

Оцінка технічного рівня будівельно-відновлювальної техніки є основою для розробки методики технічного оснащення в тому числі і підрозділів Державної спеціальної служби транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України та вироблення рекомендацій щодо їх технічного оснащення.

У загальному вигляді оцінка технічного рівня включає:

- вибір номенклатури показників якості та обґрунтування її необхідності і достатності;
- вибір або розробку методів визначення кількісних значень показників якості;
- вибір базових значень показників якості техніки і вихідних даних для визначення фактичних значень показників;
- визначення фактичних значень показників якості та їх порівняння з базовими;
- порівняльний аналіз варіантів можливих рішень і визначення найкращого;
- обґрунтування рекомендацій для прийняття рішення щодо технічного оснащення підрозділів окремих та об'єднаних загонів Держспецтрансслужби будівельно-відновлювальною технікою.

Якість виробів військової техніки та будівельно-відновлювальної техніки Держспецтранс-

служби в тому числі відповідно до роботи [1] – це сукупність властивостей, які обумовлюють її придатність та відповідають оборонним інтересам країни. Якість техніки характеризується показниками та рівнем якості. Кількісне значення показників якості використовується під час оцінки рівня якості виробів.

Належить відзначити, що розгляд показників і рівня якості будівельно-відновлювальної техніки необхідно здійснювати на стадії її експлуатації. Звідси основними цілями оцінки рівня якості техніки є оптимізація складу з обліком показників призначення, живучості, транспортабельності, технічного обслуговування і ремонту, а також вартості.

У загальному вигляді згідно з [1] структура і характеристика груп показників якості, наведена нижче.

Номенклатура і характеристика груп показників якості будівельно-відновлювальної техніки Держспецтрансслужби:

**Показники призначення:** продуктивність; тягове зусилля; вантажопідйомність; потужність; швидкість; прохідність; запас ходу (заправна місткість паливного баку); застосовність для мирного часу та особливого періоду; дальність зв'язку; кількість виконаних поточних та середніх ремонтів.

**Живучість та стійкість до зовнішніх дій:** час введення в дію засобів збереження живучості; обсяг земляних робіт на інженерне устаткування укриття; трудовитрати на інженерне устаткування укриття; середній час відновлення виробу після пошкодження в типовій бойовій ситуації; використання в північній кліматичній зоні (у разі від'ємної температури); мінімальна товщина льоду для роботи або пропуску машини.

**Надійність:** безвідмовність; довговічність;  
– збереженість; справний стан.

**Зручність технічного обслуговування:** коефіцієнт технічного використання виробу; середня тривалість технічного обслуговування (ремонт); середня трудомісткість технічного обслуговування (ремонт); час підготовки виробу до використання за призначенням в різних умовах (до роботи на плаву, комбінованому ході та інше); коефіцієнт готовності.

**Транспортабельність:** допустима дальність і швидкість; способи транспортування; середня тривалість підготовки виробу до транспортування; середній час установки виробу на транспортний засіб; середній час приведення виробу в стан бойової готовності після транспортування; середні енергетичні витрати транспорту для транспортування виробу на визначену відстань; коефіцієнт заповнення обсягу засобів транспортування.

**Безпека:** вірогідність випадку, в якому завдається шкода здоров'ю людини; вірогідність пошкодження виробом сполученого об'єкту; час спрацьовування аварійної сигналізації; кратність захисту від радіації і під час роботи на зараженій місцевості; температурна межа, забезпечення включення засобів пожежегасіння; електрична міцність ізолюваних струмопровідних частин, з якими можливе зіткнення людини.

**Потайність і маскуваність:** вірогідність виявлення виробу супротивником, який використовує певні технічні засоби виявлення; середній час виявлення виробу супротивником; рівень демаскуючих випромінювань виробів; рівень активних пасивних перешкод; максимальна дальність вірогідного виявлення виробу.

**Стандартизація та уніфікація:** коефіцієнт застосування; коефіцієнт повторюваності; коефіцієнт міжпроектної уніфікації.

**Технологічність:** показники витрат матеріалів, технічних засобів, праці і часу у процесі технологічної підготовки виробництва і виготовлення виробу.

**Конструктивні:** маса виробу; габаритні розміри виробу; установочні розміри виробу; коефіцієнт використання корисного обсягу виробу; число найменування кріпильних елементів у виробі (вузлів, блоків та ін.); місткість паливного баку (резервуарів, цистерн та ін.).

**Економічні:** вартість виробу; вартість виготовлення виробу; вартість обслуговування функціонуючого виробу; вартість коефіцієнта споживання; середня вартість технічного обслуговування.

**Ергономічні і показники технічної естетики:** показники придатності; антропологічні; фізіологічні; психологічні; узгодженість і відповідність форми; відповідність кольорового рішення навколишньому середовищу.

Необхідно відзначити, що під час аналізу номенклатури і характеристик груп показників якості техніки в період експлуатації такі групи, як технологічності, стандартизації і уніфікації, ергономічні та показники технічної естетики використовуються на стадіях розробки і виготовлення виробів. Не є можливим урахувати і показники надійності [3; 4], які потребують статистичних даних по безвідмовності, довговічності, збереженості, ремонтпридатності більш ніж 133 одиниць вітчизняної і закордонної техніки. Показники інших груп потребують розглядання відповідно до видів техніки і навіть по марках машин.

Найважливішими показниками групи призначення є продуктивність, тягове зусилля, вантажопідйомність, потужність, швидкість, прохідність, застосовність для мирного часу і особливого періоду. Слід зазначити, що для такої техніки як траншейні екскаватори, корчувачі, розпушувачі, компресори, колієукладачі, палейні установки, бетонозмішувальні і розчинозмішувальні машини, лісопилні рами показники продуктивності визначаються паспортними даними, нормативними документами і довідковими даними по досвіду застосування.

У той же час для ківшових екскаваторів, бульдозерів, скреперів, автогрейдерів, свердлильно-кранових машин, автобетонозмішувачів, вантажопідйомних машин продуктивність може бути врахована з використанням супутніх показників. Так, продуктивність екскаваторів ківшових залежать від місткості ківша, максимальної глибини і радіуса копання, висоти вивантаження, тривалості робочого циклу.

Продуктивність бульдозерів визначається максимальним тяговим зусиллям, об'ємом призми волочіння, розмірами відвала, максимальними заглибленням і висотою підйому відвала, швидкістю різання і переміщення ґрунту, швидкістю поворотного руху заднім ходом.

Продуктивність вантажопідйомних машин (автомобільні крани) характеризується не тільки максимальною вантажопідйомністю, але і швидкістю підйому і опускання вантажу, частотою обертання поворотної платформи, найбільшим вильотом стріли і висотою підйому гака.

Для інших видів техніки є свої показники, що впливають на продуктивність.

Оскільки абсолютна більшість технічних засобів базується на гусеничному або автомобільному шасі, такі показники якості групи призначення як потужність, прохідність, запас ходу (за витратою палива), застосовність для мирного часу і особливого періоду є загальним і їх

слід розглядати окремо. При цьому найважливішими показниками прохідності будівельно-відновлювальної техніки є подолання уклонів, дорожній просвіт, кількість провідних осей, глибина подоланого броду, питома потужність автомобіля або технічного засобу на гусеничному шасі [5].

Такі показники прохідності як зчіпна маса автомобіля, передній і задній звиси, найбільший кут подоланого узгір'я, сила тяги на гаці, потужність опору качанню не є типовими при використуванні будівельно-відновлювальної техніки Держспецтрансслужби за штатним призначенням, а тому надалі не використовуються.

Розглядаючи групу живучості і стійкості до зовнішніх дій [1], слід зупинитися на розгляді показників, властивих будівельно-відновлювальної техніці. Показники живучості: середній час відновлення виробу після пошкодження в певній бойовій ситуації, ступінь порушення функціонування виробу в результаті пошкоджень в бойовій або аварійній ситуаціях, середній час функціонування виробу у разі вибуху ядерного боєприпасу в основному відносяться до бойової техніки. Для даної техніки Держспецтрансслужби важливими показниками, що визначають живучість, є час введення в дію засобів збереження живучості і ступінь забезпечення виробу засобами збереження живучості. Враховуючи, що термін введення в дію засобів збереження живучості, а це в першу чергу, захисні укриття і споруди, залежить від обсягів земляних робіт, можна цим показником і обмежитися.

Ступінь забезпечення виробу засобами збереження живучості підтверджується обов'язковою вимогою пристрою укриттів для всіх машин і механізмів, виключаючи техніку, використовувану тільки в мирний час.

З показників стійкості до зовнішніх дій для даної техніки найзначнішими є можливість використання в північній будівельно-кліматичній зоні (здатність застосування техніки у разі від'ємних температур) шин. Такі показники як напруженість магнітного поля, рівень активних перешкод, рівень заповненого повітря не надають істотного впливу на виробничі можливості технічних засобів Держспецтрансслужби.

У групі показників зручності технічного обслуговування і ремонту реально можуть бути визначені і використані середня тривалість і трудомісткість технічного обслуговування і ремонту, а також час підготовки виробу до використання за призначенням в різних умовах.

Так, для палейної та кранової техніки важливим є час підготовки для роботи на плаву, а для колійної та кранової і деяких бурильно-кранових машин – час підготовки для роботи на комбінованому ході.

Коефіцієнт готовності [6] як вірогідність того, що виріб опиниться в працездатному стані в довільний момент часу, окрім планованих періодів, протягом яких застосування виробу за призначенням не передбачається, при оцінці технічного рівня в справжній час практично не може бути врахований за відсутністю необхідних для розрахунку характеристик. Це ж відноситься і до коефіцієнта технічного використання машин і механізмів.

Показники транспортабельності характеризують пристосованість будівельно-відновлювальної техніки до переміщення. Для різних видів техніки вони можуть мати свою структуру і важливість. Загальним показником транспортабельної будівельно-відновлювальної техніки є швидкість переміщення своїм ходом.

Є необхідним включення в структуру показників транспортабельності – кількості можливих способів транспортування, які враховували б можливість переміщення техніки не тільки своїм ходом, але і автомобільним (зокрема, на трейлерах), залізничним, повітряним і річковим транспортом.

Слід зазначити, для землерийної техніки, що становить одну одиницю, показники середньої тривалості підготовки до транспортування, середній час установки на транспортний засіб і коефіцієнт заповнення обсягу будуть приблизно однаковими.

У той же час для консольних кранів, колієукладачів, палейної техніки, що становлять собою комплекти машин і технічних пристроїв, є необхідним враховувати потребу в залізничному рухомому складі, автотранспорті, баржах. Середні енергетичні витрати транспорту для транспортування можуть бути виражені через витрату палива на 100 км шляху – загальноприйнятий показник для автотранспорту.

Таким чином, показник транспортабельності для різних видів це – комплекс, в якій входять окремі показники, склад і кількість яких може бути різним.

У групі показників безпеки для техніки Держспецтрансслужби одним з найважливіших є кратність захисту від радіації під час роботи на зараженій місцевості. Проте ослаблення радіації можна врахувати тільки захисними властивостями кабін землерийної, колійної, мостової та іншої техніки. Такі показники: вірогідність

пошкодження виробом об'єкту, що сполучається; час спрацювання аварійної сигналізації; температурна межа, що забезпечує включення засобів пожежегасіння, і електрична міцність ізоляції і струмопровідних частин, з якими можливе зіткнення людини, для даної техніки не є визначаючими.

Серед конструктивних показників загальними для всіх видів машин і механізмів є маса і габаритні розміри [7]. Це відноситься як до самої техніки, так і до окремих її вузлів і агрегатів, наприклад, місткості паливного бака, резервуара, цистерни та ін.

Важливу роль в умовах ринкової економіки набувають економічні показники техніки. На стадії експлуатації [8] – це вартість машин, які придбані для військ, і механізмів, середня вартість технічного обслуговування і ремонту, чисельність обслуговуючої команди, кількість вживаних масел і мастил та ін.

Структурний аналіз груп показників якості дозволяє зробити такі висновки.

1. Для оцінки рівня оснащення Держспецтрансслужби будівельно-відновлювальною технікою слід використовувати показники якості 1, 2, 4, 5, 7, 10 і 11 груп (див. вище).

2. Унаслідок різної значущості показників якості, що входять до даних груп, з 48 можна обмежитися 16–18 найважливішими, що найбільшою мірою впливають на виробничі можливості загонів Держспецтрансслужби.

3. З метою обґрунтування застосовності комплексного методу оцінки якості продукції

[2] щодо технічного оснащення Держспецтрансслужби надалі необхідно виявити важливість окремих показників якості (ранг) по видах будівельно-відновлювальної техніки.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Наказ Міністра оборони України від 5.03.2004 р. № 74 «Про затвердження Керівництва щодо перевірки та оцінки стану озброєння та військової техніки у Збройних силах України».
2. ГОСТ 15467 – 79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд.-во стандартов, 1979.
3. ДСТУ 2862 – 94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги.
4. ДСТУ 2860 – 94. Надійність техніки. Терміни та визначення.
5. ДСТУ 3310 – 96. Засоби транспортні дорожні. Стійкість. Методи визначення основних параметрів випробування.
6. ДСТУ 3649 – 97. Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю.
7. ГОСТ 27782 – 88. Материалоёмкость изделий машиностроения. Термины и определения. – М.: Изд. Стандартов. 1988.
8. ГОСТ 25866 – 83. Эксплуатация техники. Термины и определения. – М.: Изд.-во стандартов, 1983.
9. Наказ Голови адміністрації Держспецтрансслужби від 20.0.2005 р. № 37 «Про затвердження Настанови по порядку перевірки та оцінки стану техніки та технічного майна Державної спеціальної служби транспорту».

Надійшла до редколегії 02.02.2006.

## ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ СТРУКТУРНОЇ СУМІСНОСТІ МАТЕРІАЛІВ СТАРОГО І НОВОГО БЕТОНІВ ПІД ЧАС РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

Розглянуто застосування методу скінченноелементного аналізу програмного забезпечення «ANSYS» для вирішення питань, пов'язаних зі структурною сумісністю матеріалів основи споруди – старого бетону і ремонтного матеріалу – нового бетону з метою теоретичного обґрунтування процесів зчеплення під час ремонту транспортних споруд.

Рассмотрено применение метода конечно-элементного анализа программного обеспечения «ANSYS» для решения вопросов, связанных со структурной совместимостью материалов основания сооружения – старого бетона и ремонтного материала – нового бетона с целью теоретического обоснования процессов сцепления при ремонте транспортных сооружений.

The article considers application of the finite-element analysis method of the ANSYS software for solution of tasks related to structural compatibility of the materials in the basis of a building structure – the old concrete and repair material vs. the new concrete with the purpose of theoretical substantiation of the coupling processes in repair of transport constructions.

Під час ремонту транспортних споруд перед технологами та проектувальниками стоїть основна задача – досягти міцного і довговічного зчеплення ремонтного шару з основою споруди, що ремонтується. На сьогоднішній день інтенсивний розвиток комп'ютерних технологій дає змогу зазирнути у структуру матеріалів, досліджувати поведінку складних об'єктів під різними впливами тощо.

Процеси зчеплення і порушення цього зв'язку закриті для людського ока і залежать від багатьох факторів. Але за допомогою методів скінченно-елементного аналізу можна змоделювати процеси зчеплення і досліджувати як буде поводитися контактний шар під час різних впливів, різних співвідношеннях властивостей контактуючих матеріалів, прогнозувати довговічність і межу міцності контактної зони.

Програма ANSYS має можливості скінченно-елементного аналізу – від простого лінійного статичного до складного нелінійного динамічного (нестационарного) [1; 2]. Процедура типового розрахунку може бути розділена на три основних етапи:

- побудова моделі;
- додання навантажень (включаючи й граничні умови) і одержання рішення;
- перегляд й аналіз результатів.

Етап побудови моделі включає визначення типів скінченних елементів, їхніх констант, властивостей матеріалу й геометрії моделі.

**Завдання типів елементів.** Тип елемента визначає застосовність елемента до тієї або іншої області розрахунків (міцносний, тепловий, магнітний й електричний аналізи, рух рідини або зв'язані задачі), характерну форму елемента (лінійну, у вигляді бруска й т. д.), а також двовимірність (2-D) або тривимірність (3-D) елемента, як геометричного тіла.

**Завдання констант елементів.** Константи елемента – це властивості, специфічні для даного типу елемента, такі, як параметри поперечного перерізу балкового елемента.

**Завдання властивостей матеріалів.** Залежно від області додання властивості можуть бути лінійними, нелінійними й/або анізотропними. Лінійні властивості можуть залежати або не залежати від температури, бути ізотропними або ортотропними. Нелінійні співвідношення, такі, як криві деформування матеріалу для різних видів зміцнення, криві повзучості, опис гіперпружних властивостей, звичайно задаються у вигляді таблиці. Анізотропні властивості для пружних матеріалів задаються в матричному вигляді.

**Створення геометричної моделі.** Основною метою на етапі розробки геометричної моделі є створення адекватної кінцевоелементної моделі, що складається з вузлів й елементів. Під час створення скінченноелементної моделі використовуються два методи: твердотільне моделювання й пряма генерація сітки.

У першому випадку описуються геометричні границі моделі, потім програма бере на себе генерацію сітки з вузлами й елементами; розміри й форму елементів можна контролювати. У другому випадку «вручну» задається положення кожного вузла й здійснюється з'єднання елементів між собою.

На етапі додання навантажень й одержання рішення вибирається тип аналізу й встановлення його опцій, прикладаються навантаження, визначаються опції для вибору кроку по навантаженню й ініціюється рішення.

Тип аналізу вибирається на основі умов навантаження й реакції системи, що передбачається одержати. Так, наприклад, якщо потрібно знайти напруги в зоні контакту двох елементів, то варто вибрати статичний аналіз. У програмі ANSYS доступні такі види розрахунків: статичний (або стаціонарний), динамічний (або нестационарний), гармонійний, модальний, спектральний і розрахунок стійкості. Опції аналізу дають можливість уточнити параметри проведеного розрахунку.

**Додання навантажень.** Під навантаженнями розуміються як зовнішні й внутрішні зусилля, так і граничні умови у вигляді обмежень на переміщення. У програмі ANSYS навантаження розділені на шість категорій: обмеження степенів вільності, сили, поверхневі навантаження, об'ємні сили, інерційні навантаження, навантаження для зв'язаних задач.

Вказівка опцій для кроку навантаження. Опціями кроку навантаження є такі опції, які можуть бути змінені під час переходу від одного кроку навантаження до іншого: число кроків рішення, час закінчення кроку навантаження або вибір вихідних параметрів рішення.

**Запуск на рахунок.** По команді SOLVE програма звертається за інформацією про модель і навантаження до бази даних і виконує обчислення. Результати записуються в спеціальний файл й у базу даних.

Для перегляду результатів використовуються два постпроцесори програми ANSYS. Загальний постпроцесор використовується для аналізу результатів одного кроку рішення й забезпечує, серед іншого, одержання ліній рівня, картину деформованого стану, листінг результатів, оцінку похибки розрахунку, об'єднання розрахункових випадків, проведення обчислень на основі отриманих даних.

Постпроцесор процесу навантаження використовується для перегляду результатів у зазначених точках розрахункової моделі, на кожному кроці рішення можна одержати графік результатів як функцію часу, листінг результатів, виконати арифметичні й алгебраїчні обчислення.

Розробка математичної моделі тришарового зразка: випробування на вигин. Розрахункова схема випробування лабораторного зразка для дослідження структурної сумісності матеріалів старого і нового бетонів наведена на рис. 1.

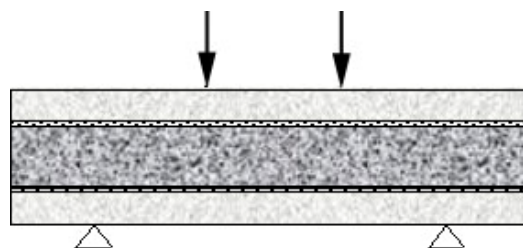


Рис. 1. Розрахункова схема випробування лабораторного зразка

Геометрична і кінцееlementна моделі досліджуваного зразка розроблені в препроцесорі програми ANSYS.

Як базовий елемент вибраний кінцевий елемент SOLID65 моделюючий матеріал бетону. На рис. 2 наведена скінченноелементна модель тришарового зразка.

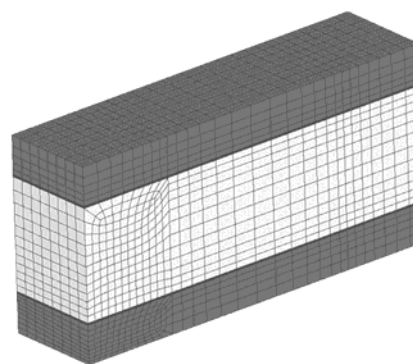


Рис. 2. Скінченноелементна модель досліджуваного зразка

Навантаження і закріплення. Навантаження, прикладене до вузлів скінченноелементної сітки у вигляді зосередженої сили, показане стрілками.

Граничні умови прийняті у вигляді заборони по лінії (показана пунктиром) переміщень по осі Y і умови симетрії по осях X і Z відповідно, як показано на рис. 3.

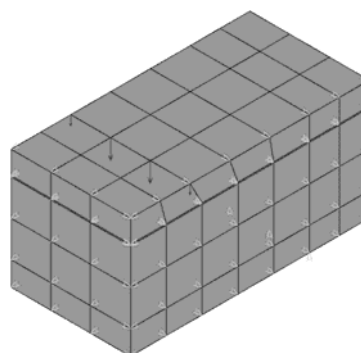


Рис. 3. Скінченноелементна модель з навантаженнями і граничними умовами



Завдання властивостей матеріалу бетону. Властивості матеріалів:

Для бетону, ANSYS вимагає завдання таких вхідних даних властивостей матеріалу: модуль пружності ( $E$ ); межу одновісної міцності у разі стиску ( $R_{ct}$ ); межа одновісної міцності у разі розтягу ( $R_p$ ); коефіцієнт Пуассона ( $\mu$ ); коефіцієнт зсувних переміщень ( $\beta_t$ ).

На рис. 4 і табл. 1 наведені значення залежності деформацій нового бетону від напруг.

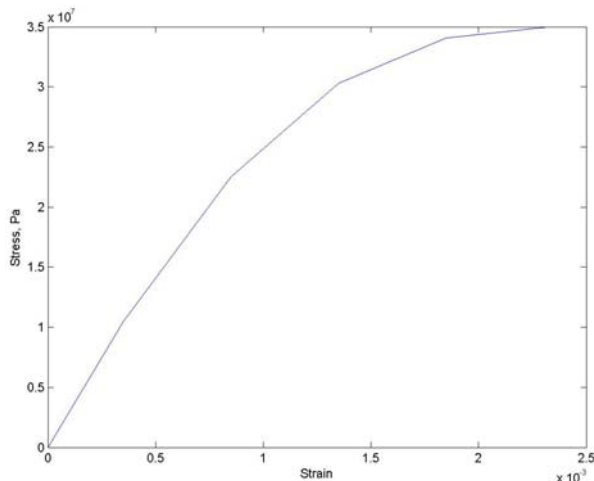


Рис. 4. Залежність деформацій нового бетону від напруг

Таблиця 1

**Залежність деформацій нового бетону від напруг**

№ кроку	1	2	3	4	5
Напруги, МПа	5,013	10,36	14,11	16,05	16,71
Деформації, $\times 10^{-4}$	2,6	6,0	9,5	13	17,3

Визначення параметрів старого бетону. На рис. 5 і табл. 2 наведені значення залежності деформацій старого бетону від напруг.

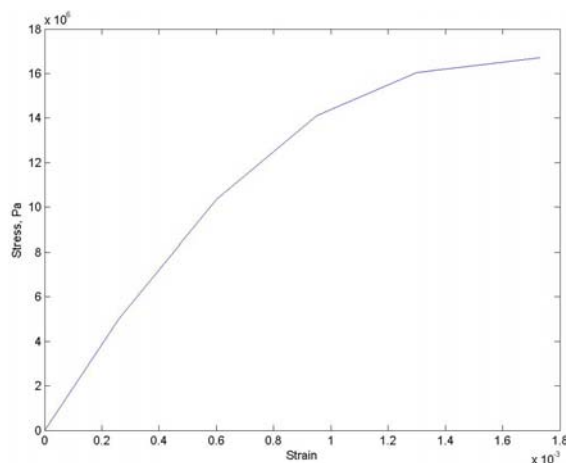


Рис. 5. Залежність деформацій старого бетону від напруг

Таблиця 2

**Залежність деформацій старого бетону від напруг**

№ кроку	1	2	3	4	5
Напруга, МПа	10,5	22,5	30,3	34,1	35
Деформації, $\times 10^{-4}$	3,5	8,5	13,5	18,5	23,3

Модель старого бетону має модуль пружності бетону  $E = 30$  ГПа; значення межі міцності при стиску  $R_{ct} \approx 35$  МПа; значення межі міцності на розтягу  $R_p = 3,68$  МПа.

На рис. 6 наведена структура матеріалів моделі зразка.

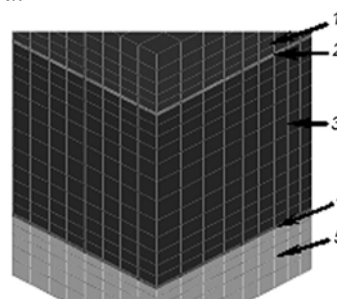


Рис. 6. Структурна схема матеріалів зразка:  
1, 5 – ремонтний шар; 2, 4 – проміжний шар;  
3 – старий бетон

У табл. 3 наведені значення пружних і нелінійних характеристик матеріалів бетону.

Вибір методу моделювання умов взаємодії багатошарових конструкцій. На першому етапі дослідження проведений вибір методу моделювання умов взаємодії шарів старого і нового бетонів під час прикладення навантаження.

Порівняльний аналіз різних умов взаємодії шарів нового і старого бетонів проведений за допомогою обчислювального експерименту.

Розробка математичної моделі і реалізація статичного структурного нелінійного аналізу проведена за допомогою програми ANSYS.

Особливості моделювання умов структурної сумісності за допомогою елемента зв'язку COMBIN40. Для моделювання умов взаємодії шарів старого і нового бетону протестований елемент зв'язку COMBIN40.

Елемент COMBIN40 комбінує паралельно властивості пружного зсуву і демпфірування, і приєднаного послідовно зазору. Маса може бути пов'язана з одними або обома центральними вузловими крапками. Елемент має один ступінь вільності в кожному вузлі або центральний зсув, обертання, тиск і температуру. Маса, пружність, зсув, демпфер і зазор можуть бути видалені з елемента. Сполучний елемент показаний на рис. 7.



Таблиця значень пружних і нелінійних характеристик матеріалів бетону

№ матеріалу	Пружні характеристики	Бетон (CONC)	
1	$EX = 0,193E+11$	ShrCf-Op	0,2
	$NUXY = 0,2$	ShrCf-CI	0,25
	$ALPX = 0,178E-04$	UnTensSt	$0,250E+07$
	$DENS = 2400,0$	UnCompSt	$0,150E+08$
2	$EX = 0,193E+11$	ShrCf-Op	0,2
	$NUXY = 0,2$	ShrCf-CI	0,25
	$ALPX = 0,178E-04$	UnTensSt	$0,250E+07$
	$DENS = 2400,0$	UnCompSt	$0,150E+08$
3	$EX = 0,3E+11$	ShrCf-Op	0,2
	$NUXY = 0,2$	ShrCf-CI	0,25
	$DENS = 2400,0$	UnTensSt	$0,368E+07$
		UnCompSt	$0,350E+08$
4	$EX = 0,193E+11$	ShrCf-Op	0,2
	$NUXY = 0,2$	ShrCf-CI	0,25
	$DENS = 2400,0$	UnTensSt	$0,250E+07$
		UnCompSt	$0,150E+08$
5	$EX = 0,193E+11$	ShrCf-Op	0,2
	$NUXY = 0,2$	ShrCf-CI	0,25
	$DENS = 2400,0$	UnTensSt	$0,250E+07$
		UnCompSt	$0,150E+08$

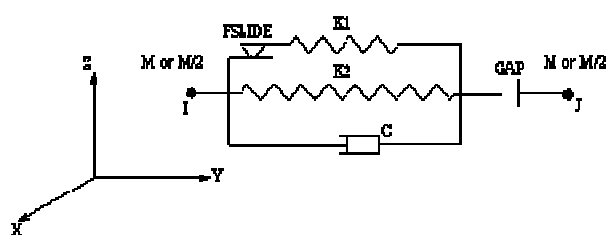


Рис. 7. COMBIN40 – сполучний елемент

Елемент визначається двома вузлами, двома пружними константами  $K_1$  і  $K_2$  (н/м) і коефіцієнт демпфірування  $C$  (н×с<sup>2</sup>/м) і маса  $M$  (н×с<sup>2</sup>/м), і величина зазору  $GAP$  (м) або (радіани), і сила тертя (обмеження ковзання)  $FSLIDE$  (н).

Моделювання умов структурної сумісності із завданням у приконтактному шарі умов контактної взаємодії. Для аналізу умов контактної взаємодії шарів двошарового бетонного зразка використані контактні елементи типу «поверхня-поверхня» наведені на рис. 8.

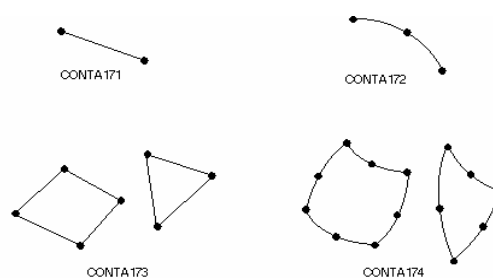


Рис. 8. Контактні елементи типу «поверхня-поверхня»

Задачі, що включають контакт між двома межами, одна межа визначається відповідно цільовою поверхнею, а інша як контактна поверхня. Ці дві поверхні разом складають «контактну пару». Використовування  $TARGE169$  і  $CONTA171$  або  $CONTA172$  визначає 2-D контактну пару.

Для 3-D контактних пар, використовується  $TARGE170$  з  $CONTA173$  або  $CONTA174$ . Необхідно визначити вірогідність контакту, який може відбутися в процесі деформації моделі.

Виділивши потенційні контактні поверхні, визначимо на них контактні і цільові елементи, які потім відстежуватимуть кінематику процесу деформації. Цільові і контактні елементи, які утворюють контактні пари асоціюються з різними реальними константами для кожної поверхні, як показано на рис. 9.

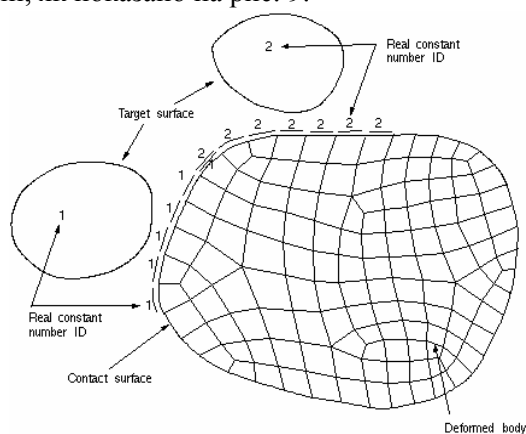


Рис. 9. Локалізація контактних зон

Контактні зони можуть бути довільні проте для ефективнішого вирішення (з погляду часу рішення) потрібно прагнути визначати контактні зони як можна трохи менше, але разом з тим треба бути впевненим, що всі зони контактна визначені. Різні контактні пари повинні бути визначені різними номерами реальних констант, навіть якщо реальні константи елементів однакові. Немає обмежень на кількість доступних поверхонь.

У нашій математичній моделі використовується пара контактних елементів CONTA170 – CONTA174. Завдання реальних констант і ключових опцій елементів. ANSYS використовує набір з 11 реальних констант і декілька визначальних опцій елементів для керування контактом у разі використання контактних елементів поверхня-поверхня.

Реальні константи. З 11 реальних констант, дві ( $R_1$  і  $R_2$ ) використовуються для визначення геометрії елементів цільової поверхні. Інші 9 використовуються для елементів контактної поверхні. Для реальних констант FKN, FTOLN, ICONT, PINB, PMAX, PMIN, і FKOP можна призначати як позитивні, так і негативні значення. ANSYS розпізнає позитивне значення як відносний масштабний коефіцієнт і визначає негативне значення як абсолютну величину. ANSYS використовує глибину прилеглих елементів як задане значення, яке необхідне для визначення значень ICONT, FTOLN, PINB, PMAX і PMIN.

Для прикладу, позитивне значення 0,1 для ICONT позначає початковий коефіцієнт замикання від 0,1 глибини прилеглого елемента як показано на рис. 10. У той же час негативне значення 0,1 позначає фактичну смугу регулювання в 0,1 одиниць вимірювання довжини.

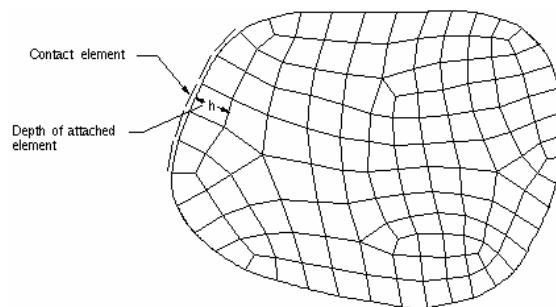


Рис. 10. Визначення глибини прилеглих елементів

Ключові опції елемента (Element Key Options). Кожен контактний елемент має декілька управляючих опцій. Ми рекомендуємо використовувати установки за умовчанням, які підходять для більшості контактних задач. Для більш спеціального застосування можна перевизначити установки.

Ключові опції елемента (KEYOPTS) дозволяють керувати багатьма параметрами контактної взаємодії:

- алгоритм розв'язування контактного завдання (penalty+Lagrange or penalty) (KEYOPT(2));
- (тільки для 2-D) напружений стан, коли використовуються суперелементи (KEYOPT(3));
- (тільки для контактних елементів низького порядку) положення точки визначення контакту (KEYOPT(4));
- вибір матриці жорсткості (KEYOPT(6));
- керування тимчасовим кроком (KEYOPT(7));
- ефект зовнішнього проникнення (KEYOPT(9));
- режим (поведінка) контактної поверхні (rough, bonded, etc.) (KEYOPT(12)).

Порівняльний аналіз напружено-деформованого стану тришарових зразків показав як якісну, так і кількісну збіжність результатів розрахунку при завданні умов контактної взаємодії (з коефіцієнтом тертя = 0) і взаємодії шарів через елемент зв'язку COMBIN40.

## Висновок

На підставі проведеного аналізу і можливостей регулювання різних умов зв'язку контактуючих шарів старого і нового бетонів, розглянутих вище, елемент COMBIN40 може бути ефективно застосований для вирішення задач дослідження структурної сумісності матеріалів з різними фізико-механічними властивостями.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Программа ANSYS. Руководство пользователя / Пер. с англ. Идрисова. – Снежинск. – 1996. – 23 с.
2. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.

Надійшла до редколегії 05.05.2006 р.

Л. А. ГУБАЧЕВА (Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЕРТКИ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ВО ВТУЛКУ

Розглянуто моделювання процесу скручування після попереднього двохуглового згину заготовки у втулку. Зроблено вибір оптимальних розмірів заготовки, які забезпечують зачинення стику.

Рассмотрено моделирование процесса свертки, после предварительной двухугловой гибки, заготовки во втулку. Произведен выбор оптимальных размеров заготовки, обеспечивающих закрытие стыка.

The simulation of a rolling-up process after preliminary two-angle bending of the billet into a bushing is studied. A selection of optimum sizes for the billet, providing closing of a joint, has been made.

Материализация социальных достижений нашего общества невозможна без улучшения качества продукции и снижения ее себестоимости. Этим требованиям отвечают технологии, связанные с пластическим деформированием материалов. Одно из важных условий прогресса в машиностроении и других отраслях – широкое использование высокопроизводительных малоотходных процессов листовой и объемной штамповки.

Для изготовления деталей типа втулок широко используется холодная штамповка листовых заготовок. Однако операция свертки заготовки из толстолистового металла не достаточно полно рассматривается с точки зрения анализа пружинения заготовки после изгиба и оценки остаточных напряжений.

В работе [1] предложена технология изготовления втулки, которая включает три перехода:

- двухугловую П-образную гибку толстолистовой заготовки в виде прямоугольной заготовки;
- свертку изогнутой толстолистовой заготовки во втулку;
- редуцирование свернутой втулки.

Проблемы, связанные с двухугловой гибкой, рассмотрены в работах [1–3]. Проблема редуцирования будет рассмотрена отдельно.

В данной статье ставятся задачи:

- проанализировать процесс свертки толстолистовой заготовки во втулку после двухугловой гибки;
- определить размеры заготовки, обеспечивающие закрытие стыка.

Рассмотрим моделирование процесса свертки после предварительной двухугловой гибки. Инструментарием для решения такой задачи выбран пакет прикладных программ MSC.MARC 2003,

при этом подготовка модели проведена в NASTRAN for Windows с последующим ее экспортом в MSC.MARC 2003 и написанием дополнительных модульных программ.

Указанный пакет предназначен для решения задач моделирования методом конечных элементов (МКЭ) физических процессов с существенной нелинейностью. Такая постановка задачи предполагает три существенные нелинейности [2–5]: большие пластические деформации, большие перемещения и наличие контактных зон с заранее неопределенной границей.

Задание геометрии деформируемого твердого тела, его механических характеристик, генерация сетки и выбор конечных элементов (КЭ) дискретизации, задание механических характеристик рассмотрено в работах [2–5].

Для моделирования процесса свертки заготовки во втулку (заготовка была оставлена в том же положении, в котором заканчивается деформация при двухугловой гибке), предложен штамп последовательного действия. На первой позиции осуществляется двухугловая гибка. На второй позиции осуществляется свертка.

На рис. 1 показаны все рабочие части комбинированного штампа в исходном положении. Рассматриваемый деформируемый объект имеет конечноэлементную сетку. Пуансон задается как жесткое тело с названием top. Для гибки задаются правая и левая части матрицы, которые имеют названия Right и Left. Для получения требуемой формы заготовки после деформации необходимо двухугловую гибку вести в штампе с прижимом средней части заготовки (Bottom). Для свертки используется штамп с двумя подвижными полуматрицами Right 2 и Left 2 и подвижная опора Bottom 2, для предотвращения выпучиванию заготовки на начальной фазе деформирования.

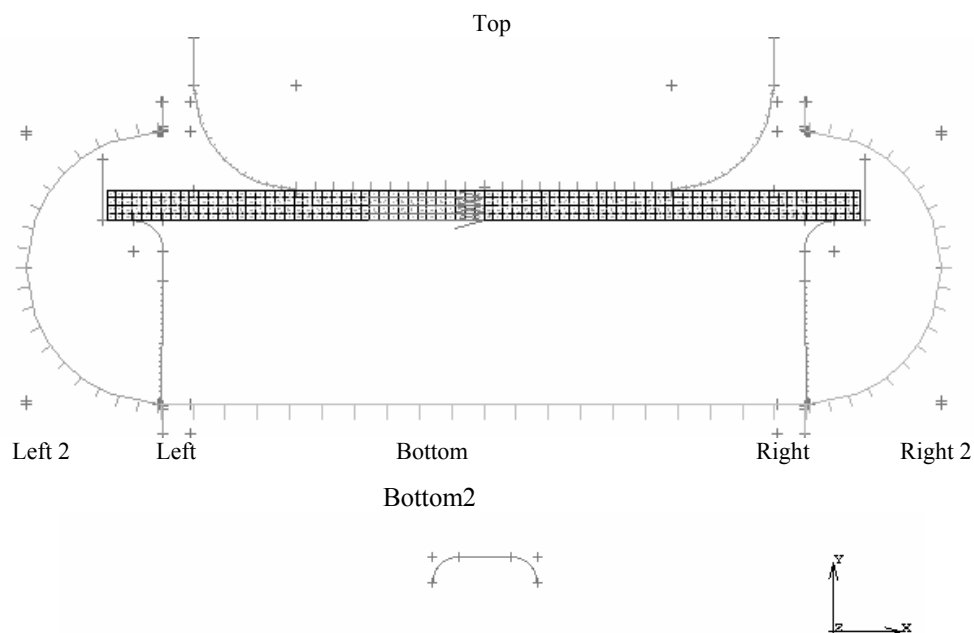


Рис. 1. Система рабочих частей комбинированного штампа для двухугловой гибки и свертки (условно совмещены на плоскости чертежа)

Процесс свертки и величины деформаций при работе трех штампов Left2, Right2 и Bottom2 показан на рис. 2. Предложенную методику исследования напряженно-деформированного состояния можно проиллюстрировать на примере выбора одного из трех типоразмеров заготовки  $222 \times 248$ ;  $222 \times 249,5$ ;  $222 \times 251,5$  (мм), обеспечивающих закрытие стыка при толщине 10 мм. Материал заготовки – сталь 45.

На рис. 2 показаны упругие деформации после гибки, пластические и упругие деформации

после свертки заготовки в трубу. Слева на рис. 2 имеется полоска цветового соответствия деформаций и напряжений, максимальное значение которых соответствует верхнему числу и соответствующему цветовому изображению. Форма записи – числа с плавающей запятой.

Моделирование операции свертки было проведено для каждой ширины заготовки. Определено, что при ширине заготовки 251,5 мм при максимальном ходе штампов Left2 и Right2 края заготовки соприкасаются (рис. 3).

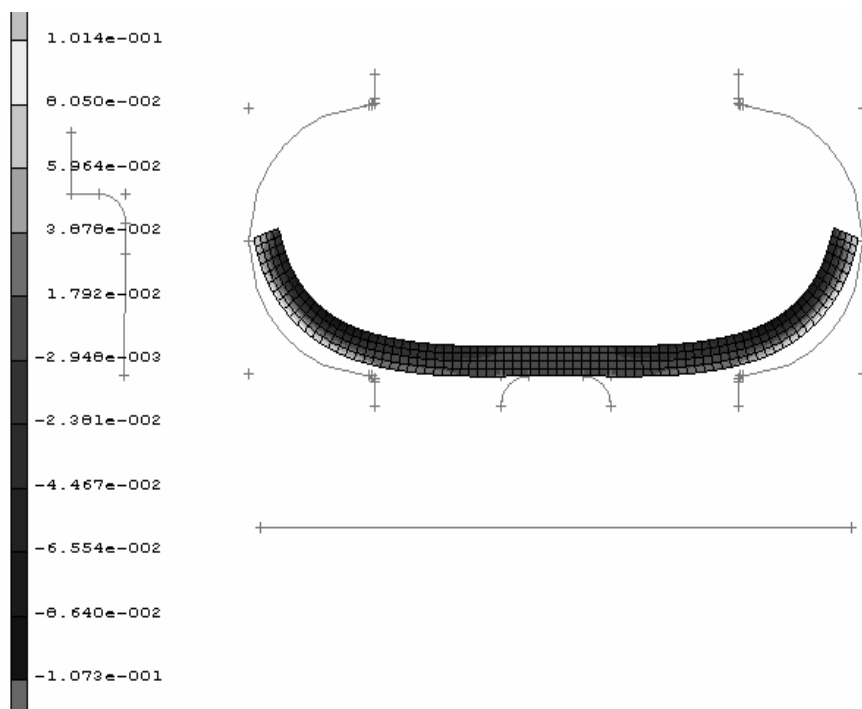


Рис. 2. Процесс деформирования при свертке заготовки во втулку (см. с. 172, 173)

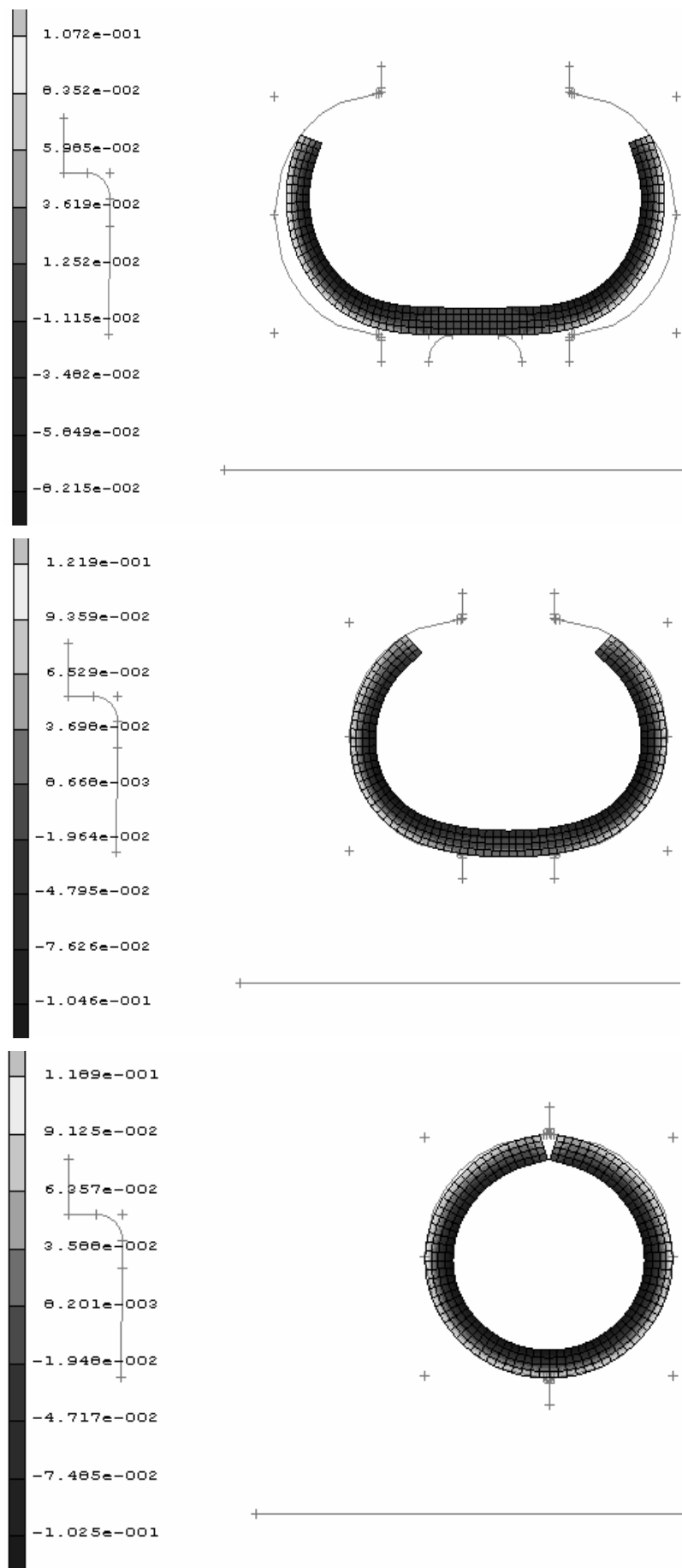


Рис. 2. Продолжение

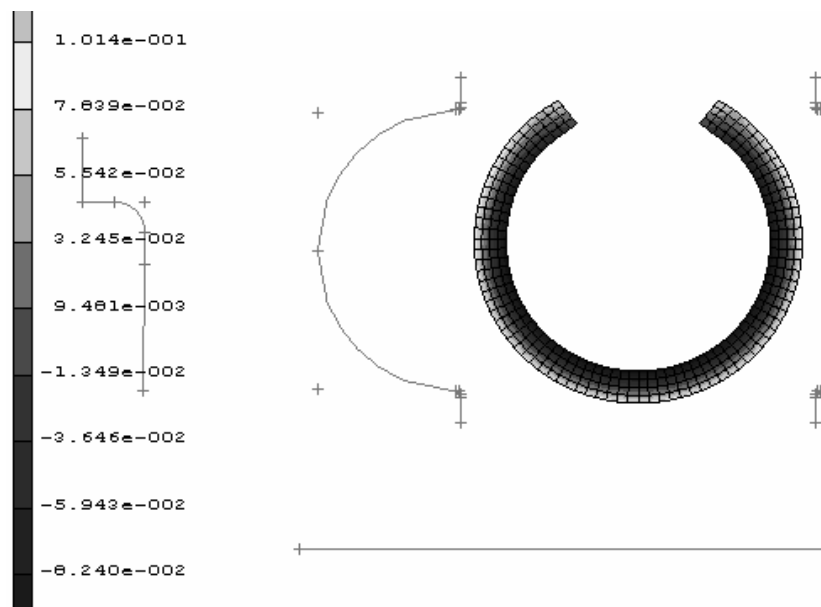


Рис. 2. Окончание

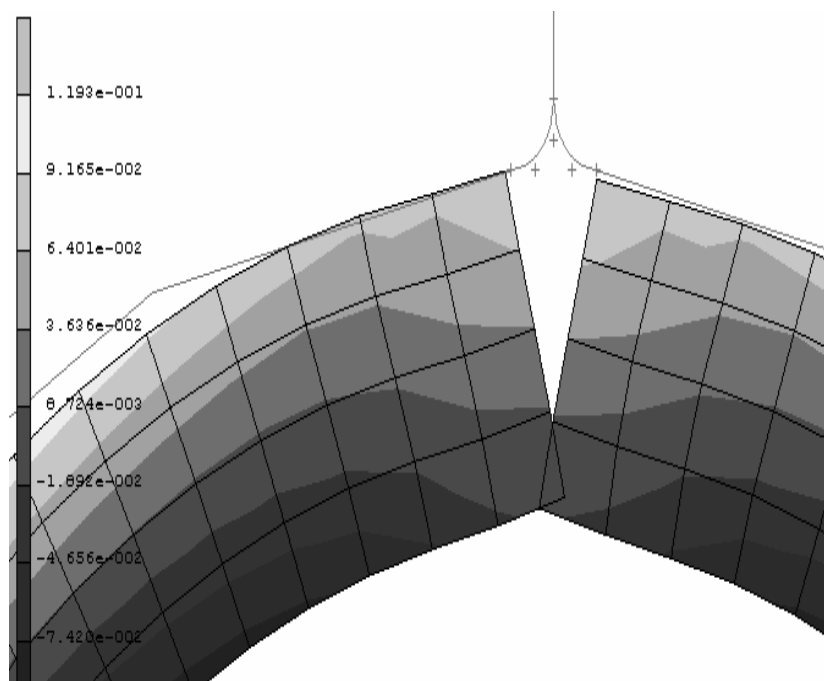


Рис. 3. Контакт краев заготовки при ширине 251,5 мм

Свертка во втулку является процессом упругопластической деформации. Поэтому по окончании свертки втулки упругая деформация приводит к пружинению, вследствие чего происходит значительное изменение размеров втулки по сравнению с размерами, заданными инструментом (см. рис. 2). Это следует иметь в виду при проектировании первого перехода (двухугловой гибки) и второго перехода (свертки).

Очевидно, что при двухугловой гибке заготовки уменьшение радиуса может положительно отразиться на пружинении втулки.

В результате моделирования были изменены переходы формовки и уточнена форма деформи-

рующего инструмента, позволившая обеспечить закрытие стыка, как это показано на рис. 4.



Рис. 4. Заготовка после свертки

## Вывод

Разработана методика теоретического анализа формообразования цилиндрической трубы из плоской заготовки с помощью метода конечных элементов, позволяющая определять деформации, текущие (на каждом этапе деформирования) и остаточные напряжения. С ее помощью можно определить пружинение, обеспечивающее сохранение нулевого зазора в стыке.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Євстратов В. О. Спосіб виготовлення заготовки втулки шпінтона / В. О. Євстратов, Л. О. Губачева, патент України № 3595, G01N19/02, опубл. 15.12.2004, бюл. № 12.
2. Губачева Л. А. Анализ силового режима процесса двухугловой гибки толстолистовой заготовки / Л. А. Губачева, А. В. Сладковский // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, – 2005. – № 11 (93). – С. 181–187.
3. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с.
4. Сладковский А. В. Решение задач механики железнодорожного транспорта с помощью МКЭ / А. В. Сладковский, М. Ситаж, Ю. Р. Мартыненко. – Д.: Новая идеология, 2002. – 220 с.
5. Сладковский А. Контактное взаимодействие колес и рельсов. – Луганск: Русь, 2005. – 189 с.

Поступила в редколлегию 02.02.2006.

А. М. ЗІНКЕВИЧ (ДПТ)

## ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ СУХОЇ СУМІШІ ДЛЯ РЕМОНТУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ІН'ЄКТУВАННЯМ

Розглянута структура послідовної оптимізації на прикладі розробки складу ін'єкційної ремонтної композиції у вигляді сухої суміші на основі цементу.

Рассмотрена структура последовательной оптимизации на примере разработки состава инъекционной ремонтной композиции в виде сухой смеси на основе цемента.

The structure of successive optimization is considered on the example of development of formula for injection repair mixture in the shape of concrete-based dry mortar.

### Вступ

З наростанням темпів фізичного зносу основних фондів, в значній мірі представлених залізобетонними конструкціями, все більшої актуальності набувають питання розробки ефективних ремонтних систем.

Визначальними показниками ефективності ремонтних систем вважаються їх якість та довговічність – основні складові такої комплексної властивості, як надійність, тобто властивості забезпечувати нормальне виконання заданих функцій протягом визначеного часу зі збереженням початкових технічних характеристик у допустимих межах [1].

Необхідною передумовою для отримання позитивного результату від реалізації концепцій ремонту та відновлення конструкцій є застосування системного підходу при оптимізації формування сукупності впливаючих факторів.

У даній роботі розглядаються питання оптимізації складу ремонтного матеріалу як модифікованої композиції в вигляді сухої суміші на основі цементу для проведення ремонтно – відновлювальних робіт методом ін'єктування.

Застосування сухих сумішей для вказаних видів робіт значно зменшує кількість факторів, впливаючих на надійність системи, та надає ряд переваг:

- значна частина технологічних операцій переноситься на підприємство-виробник матеріалу, де зосереджене передове високотехнологічне обладнання і висококваліфіковані спеціалісти;
- зменшення впливу людського фактору на якість виконання робіт;
- можливість застосування передових технологій під час виконання невеликих обсягів робіт.

Для забезпечення необхідної якості сухої суміші, як кінцевого продукту, технолог оперує такими групами факторів: показники якості та

характеристики складових композиції, співвідношення складових у суміші (рецептура матеріалу), параметри отримання кінцевого продукту (режим змішування).

Оскільки в багатьох випадках не підлягають зміні параметри режиму формування та режиму перехідних процесів матеріалу [2], пов'язані з умовами, в яких перебуває конструкція, що підлягає ремонту, великої ваги набуває питання зменшення залежності якості ремонтної системи від умов навколишнього середовища на стадії отримання сухої суміші, насамперед, шляхом оптимізації рецептури.

### Структура процесу оптимізації

Надійність ремонтної системи та якість матеріалу оцінюються комплексом властивостей, що згідно з [2] утворюють ієрархічну систему груп: технологічні показники якості, показники якості, що характеризують виконання композиційним матеріалом основного призначення, структурні показники, показники довговічності матеріалу.

Така ієрархічна послідовність встановлена відповідно до схеми поетапного забезпечення якості ремонтної системи:

1. Можливість реалізації системи (основні характеристики).
2. Механічна відповідність (обмежуючі характеристики).
3. Довговічність.

Структурні характеристики в окрему групу не виділені, оскільки виявляються непрямими показниками груп механічної відповідності та довговічності системи.

Для кожного рівня показників якості встановлюються «визначаючі» фактори, що забезпечують дану властивість або мають на неї найбільший вплив. Варіюванням визначаючих факторів досягається максимізація або най-



більш можливе наближення відповідних показників до якогось певного рівня, встановленого з тих чи інших міркувань (наприклад, кількісна характеристика, встановлена розрахунком). Одночасно зазначаються результати показників якості нижчих ієрархічних рівнів.

На наступному етапі шляхом залучення нових факторів проводиться оптимізація відповідних властивостей нижчих ієрархічних рівнів, за умови збереження максимально можливих показників основного. Одночасно аналізується можливість коригування оптимізованих в I наближенні факторів основного рівня за рахунок впливу нових факторів (врахування синергетичних ефектів).

### **Застосування методики оптимізації при розробці ін'єкційної композиції**

Розглядаючи як приклад процес підбору та оптимізації складу ін'єкційної ремонтної композиції на основі цементу, до групи показників, що характеризують можливість реалізації системи, можна віднести реологічні властивості (в'язкість матеріалу) та седиментаційну стійкість. Для даного матеріалу вказані властивості є основними і такими, що визначають його придатність до застосування та ефективність, оскільки в'язкість композиції зі збереженням показника протягом певного часу обумовлює її проникна здатність (наприклад, у тріщину деякої ширини розкриття проникне матеріал з в'язкістю, що не перевищує певної величини).

У той же час, зменшення в'язкості порушує седиментаційну стійкість розчину, втрата якої на якомусь етапі обмежує глибину проникання.

Оптимізація на даному рівні проводиться шляхом встановлення оптимального співвідношення між визначаючими факторами: водотвердим відношенням, концентрацією суперпластифікатора, дисперсністю цементу та, якщо треба, концентрацією водоутримуючого компоненту з використанням методик планованого експерименту.

На другому етапі перевіряється механічна відповідність матеріалу – показники якості виконання композиційним ремонтним матеріалом основного призначення в конструкції: міцні сні

характеристики, величина власних деформацій, модуль пружності, характеристики зчеплення, тобто сумісність з матеріалом конструкції.

Якщо треба, можливе залучення нових факторів для оптимізації показників рівня (використання прискорювачів твердіння, активних мінеральних домішок, протиусадкових компонентів та ін.), при чому, як вказувалось вище, аналізується їх вплив на показники основного рівня. Показники рівня «механічної відповідності» носять обмежувачий характер, тобто не потребують максимізації своєї величини. Достатньою умовою є відповідність отриманої величини деякому діапазону допустимих значень.

На третьому етапі виконується умовна максимізація «виходів» для характеристик, обумовлюючих довговічність (стійкість в агресивних середовищах, морозостійкість та ін.), в тому числі й для характеристик структури та пористості, тобто отримання максимальних величин характеристик довговічності, за умови непогіршення основних показників матеріалу та забезпечення необхідних величин обмежувачих.

### **Висновки**

Розглянутий підхід до оптимізації складу ін'єкційної композиції дає змогу забезпечити необхідну якість ремонтного матеріалу як під час виконання ремонтних робіт, так і під час подальшої сумісної роботи з матеріалом конструкції, особливо під час роботи з багатфакторними системами та в умовах недостатності інформації для остаточного задання фактору (змінні умови середовища, застосування різних матеріалів однотипної дії та ін.).

### **БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК**

1. Мчедлов-Петросян О. П. Химия неорганических строительных материалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1988. – 304 с.
2. Вознесенский В. А. Современные методы оптимизации композиционных материалов / В. А. Вознесенский, В. Н. Выровой, В. Я. Керш и др. – К.: Будівельник, 1983. – 144 с.

Надійшла до редколегії 08.03.2006.

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ТРЕБОВАНИЯ К УПРАВЛЕНИЮ СТОИМОСТЬЮ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

Розглядаються основні питання інтегрованого розрахунку параметрів проекту, особливо, вартість проекту в контексті з іншими параметрами. Вартість проекту є одним з вимірюваних контрольованих і керованих параметрів. Звідси слідує необхідність чіткого формулювання принципів і вироблення вимог до керування вартістю проекту.

Рассматриваются основные вопросы интегрированного расчета параметров проекта, в особенности, стоимость проекта в контексте с другими параметрами. Стоимость проекта является одним из измеряемых контролируемых и управляемых параметров. Отсюда следует необходимость четкой формулировки принципов и выработки требований к управлению стоимостью проекта.

The basic questions of computer-integrated calculation of the project parameters are examined, in particular, the project cost in its integrity with other parameters. The project cost is one of the measurable, controlled and manageable parameters. From here follows the necessity of clear formulation of principles and determination of requirements to the project cost management.

Существующая традиционная методология управления строительными проектами, в части управления стоимостью в основном направлена на составление сметы (локальные и объектные). При этом определение стоимости и (составление сметы) производится без учета требования эффективности управления стоимостью и эффективности планирования и контроля. Если существующая методология достаточно много внимания уделяет вопросам ценообразования в строительстве и определению стоимости строительства, то совершенно недостаточно обращено внимание на вопросы контроля и стоимости в целом и управление стоимостью. Не сформированы четкие принципы и не разработаны требования к управлению стоимостью.

Реализация строительного проекта – это выполнение отдельных работ проекта. На выполнение каждой из работ проекта затрачиваются деньги и время, и каждая выполняемая работа приносит свой вклад в реализацию проекта. Отсюда вытекает два важных момента:

1. Задачу реализации проекта разложить на отдельные работы и распределить часть имеющихся денег и времени.

2. Работы выполняются людьми, которые используют различные технические и материальные средства. Люди и средства являются ресурсами. Стоимость (затраты) складывается не из выполнения работ, а из использования ресурсов. Ресурсы абсорбируют стоимость в соответствии с тем, как за них платят (или просят). Одни ресурсы (люди, истребительные машины и механизмы) обычно имеют цену за период времени, а другие (материалы, изделия и конструкции) имеют цену за штуку или за единицу количества.

Таким образом, чтобы оценить стоимость проекта, необходимо знать стоимость составляющих проекта ресурсов, время выполнения работ и стоимость работ. Для строительных проектов определена стоимость эквивалента оценки всех затрат.

Управление стоимостью (затратами) проекта также включает в себя процессы необходимые для обеспечения и гарантии того, что проект будет реализован в рамках бюджета.

Система управления стоимостью (затратами) должна включать следующие процессы:

- оценка стоимости отдельных работ и проекта в целом;
- структуризацию по различным признакам;
- бюджетирование проекта, т. е. установление целевых показателей затрат на реализацию проекта;
- контроль стоимости (затрат) проекта, систематическое сопоставления фактических затрат проекта и сравнение их с запланированными в бюджете, выработка мероприятий корректирующего и предупреждающего характера.

В нашей экономической литературе до сих пор нет четкого разграничения между понятиями план, смета и бюджет. По нашему мнению, план понимается в более широком смысле и включает в себя определенным образом спектр действий, направленных на достижение некоторых целей, причем эти действия могут описываться не только с помощью формализованных количественных оценок, но и путем перечисления ряда неформализуемых процедур (например, организационно-технологическая схема).

Бюджет более узкое понятие, подразумевающее количественное представление плана, причем, как правило, в стоимостном выражении. В нашем сознании понятие «бюджет» традиционно закрепилось более специфическим образом – как план или смета доходов и расходов некоторого субъекта на определенный период (государственный бюджет, личный бюджет). Здесь бюджетом будем называть директивный (утвержденный) документ, представляющий собой реестр планируемых расходов и доходов с распределением по статьям на соответствующий период времени. Так как бюджет является документом, определяющим ресурсные ограничения проекта, поэтому при управлении стоимостью строительного проекта на первый план выходят затраты на его составляющую, которую принято называть сметой проекта.

Смета строительного проекта – документ, содержащий обоснование и расчет стоимости проекта (контракта), обычно на основе объемов работ проекта, требуемых ресурсов и цен, что собственно и делают сметчики с использованием ДБН [1–3].

Один из эффективных способов, позволяющий управлять затратами проекта – это исполь-

зование счетов затрат. Для выполнения работ требуются ресурсы, которые могут выражаться как в труде рабочих, материалах, оборудовании, так и в виде позиции денежных затрат. На стадии формирования бюджета работают все ресурсы, привлекаемые для ее выполнения, списываются (относятся) на различные счета.

Структура счетов затрат должна разрабатываться по принципам декомпозиции и путем агрегирования информации со счетов нижних уровней можно получить данные о затратах на требуемом уровне детализации, вплоть до верхнего, характеризующего бюджет проекта.

Управление стоимостью должно осуществляться на протяжении всего жизненного цикла проекта, при этом, естественно, процессы управления реализуются по-разному на различных этапах проектного цикла. В зависимости от этапа жизненного цикла проекта и целей оценки отмечают различные виды и методы оценки стоимости проекта.

Исходя из целей оценок, разной бывает и их точность. В таблице представлены различные виды оценок стоимости проекта по нашим и зарубежным источникам [4; 5].

Таблица 1

Виды оценки стоимости проекта

Фазы прохождения проекта	Вид планирования [4]	Наименование оценок [4]	Цель оценок	Методология оценки	Погрешности, %	
					[4]	[5]
Концепция проекта	Начальное планирование	Начальная оценка (оценка порядка величины)	Оценка жизнеспособности проекта	На основе исторически сложившихся цен на единицу объема, площади	25...40	±25
Обоснование инвестиций	Начальное планирование	Ориентировочная оценка	Для оценки реальности поставленной задачи	Принятие окончательного инвестиционного решения	20...30	
Технико-экономическое обоснование	Исследовательское планирование	Обобщенная оценка	Для сопоставления с бюджетными возможностями		15...20	15...20
Технический проект	Контрольное планирование	Поэлементная оценка	Проведение переговоров, тендеров для оформления финансирования	По нормативным документам сметно-финансовый расчет	10...15	5...7
Рабочая документация	Деятельное планирование	Детальная оценка	Основа для расчетов, контроля и управления	По нормативным документам и расчет	3...5	2...3
Реализация проекта	Окончательное по реализованным работам	Окончательная по выполненным работам	Окончательная		0	0
	Детальное планирование	Прогнозная по предстоящим работам	прогноз		3...5	1...2

Представляется очевидным, что любое оценивание, не обеспечивающее расчленение стоимости удобным для планирования и управления образом, имеет ограниченную значимость. Без расчета стоимости отдельных элементов суммарные оценки бесполезны для управления реализацией проекта. Без знания затрат на отдельные виды работ, без знания распределения затрат по работам графика проекта трудно осуществлять контроль стоимости, прогнозировать денежные потоки проекта, определить длительность проекта с минимальной стоимостью, анализировать предшествующий опыт. Кроме того, для эффективности управления необходимо знать и виды затрат.

Таким образом, структура статьи затрат должна являться важным средством планирования работ и управления реализацией проекта. Статьи затрат должны представлять собой инструмент управления и должны приниматься для сбора информации о фактических затратах выполняемых работ в сравнении с плановыми затратами. Они должны использо-

ваться при планировании и контроле времени и стоимости, так как содержат и аккумулируют информацию о работах, выполняемых отдельными подразделениями.

В статьях затрат должна аккумулироваться информация по различным пакетам работ, сформированным по различным основаниям:

- по содержанию работ проекта;
- по срокам выполнения и периодам;
- по структуре счетов и субъектов;
- по ответственным компонентам и т. д.

Таким образом, статьи затрат должны помогать формировать и отслеживать бюджет проекта, осуществлять текущий управленческий учет и оценивать возможные затраты по завершении работ проекта.

Процедура оценивания должна являться непрерывным процессом, который начинается после того, как сформировалась идея, технические задачи и должен продолжаться по мере разработки более точных и детальных планов и в процессе реализации проекта (рисунок).

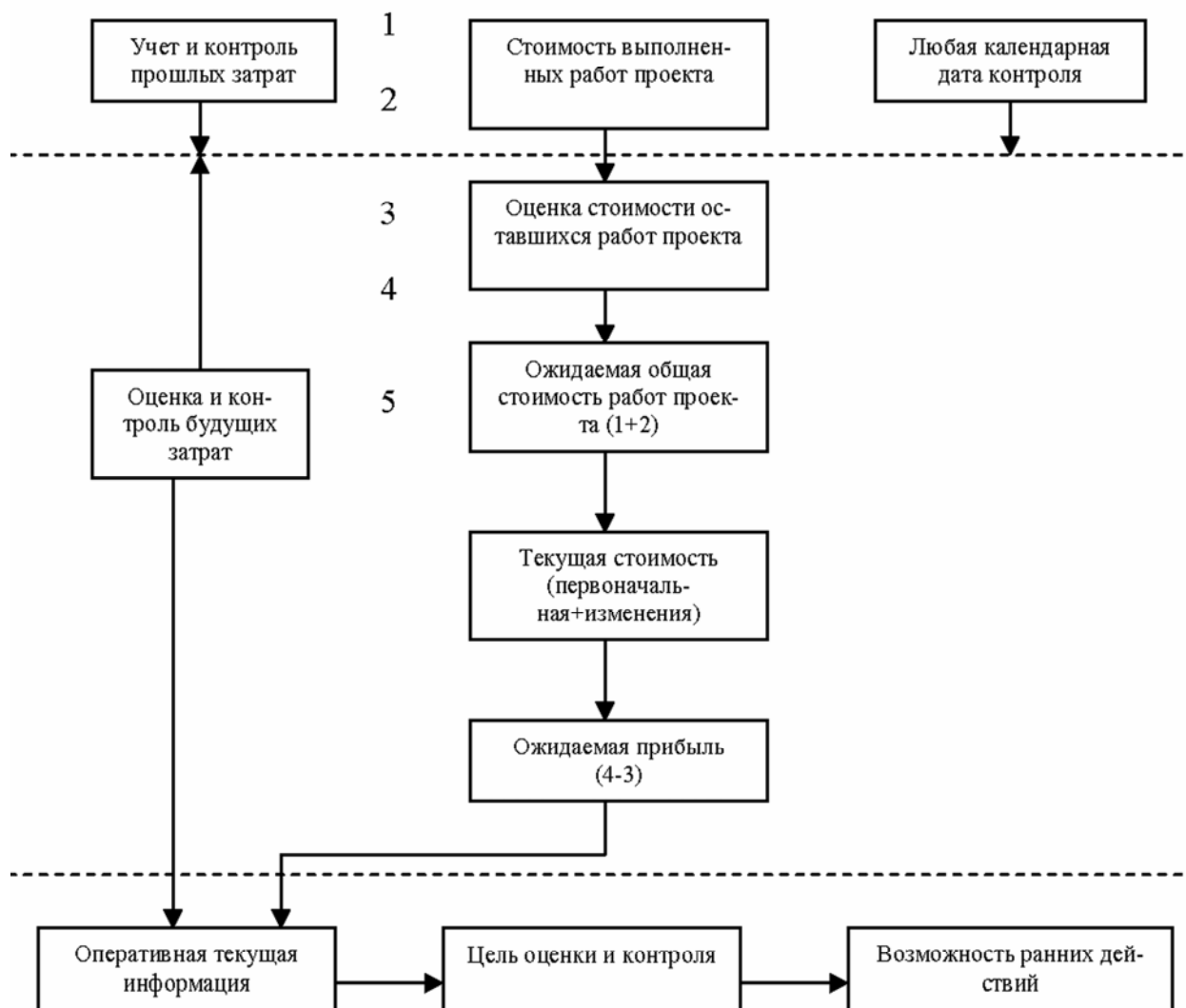


Рис. Схема текущих оценки и контроля стоимости

Как показаны результаты исследования расписания (график), полученные с помощью сетевого плана, является внешним источником информации для оценивания. Обычно цены на материалы, рабочую силу и оборудование меняются во времени, а накладные расходы обычно пропорциональны длительности реализации проекта. Оценка длительности выполнения работ зависит, в первую очередь, как от объема работы, так от мощности (ресурсов), для выполнения этой работы. Поэтому разработка сетевого плана и оценивание стоимости следует выполнять одновременно, тем самым интегрируем параметры проектов: ресурсы (мощность), время и стоимость.

### **Вывод**

Стоимость, продолжительность, ресурсы являются основными измеряемыми и контролируемыми параметрами строительства. Так как продолжительность и ресурсы поглощаются в стоимости проекта, то стоимость становится наиболее важным параметром управления реализацией строительного проекта. Управление стоимостью (затратами) включает оценку стои-

мости строительного проекта, бюджетирования и контроль стоимости.

Оценка стоимости отдельных работ и строительного проекта в целом, структуризация стоимости по различным признакам бюджетирования должны производиться с учетом требования повышения эффективности контроля за стоимостью и в целом повышения эффективности управления строительным проектом.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. ДБН. Д-3.1-5.96. Організація будівельного виробництва – К.: Держкоммістобудування України, 2000.
2. ДБН. Д 1.1.-1.-2000 Правила определения сметной стоимости строительства. – К.: Укразстройинформ, 2000.
3. Ресурсные элементные сметные нормы. – К.: Держбуд України, 2000.
4. Тянь Р. Б. Управління проектами: Навч. посібник / Р. Б. Тянь, Б. І. Холод, В. А. Ткаченко. – Д.: Дніпропетровська академія управління, бізнесу та права, 2000.
5. Управление проектами. Зарубежный опыт / Под ред. В. Д. Шапиро. – СПб: Два+Три, 1996.

Поступила в редколлегию 02.02.2006.

## РОЗРОБКА ВИСОКОРУХЛИВИХ РОЗЧИНІВ ДЛЯ РЕМОНТУ БЕТОННИХ ТА КАМ'ЯНИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД СПОСОБОМ ПІДВОДНОГО ІН'ЄКТУВАННЯ

Наведено дослідження щодо розробки високорухливих розчинів для ремонту бетонних та кам'яних транспортних споруд способом підводного ін'єктування. По результатах досліджень також рекомендовано складові для виготовлення високорухливих сумішей та розроблено технологію їх приготування.

Приведены исследования относительно разработки высокоподвижных растворов для ремонта бетонных и каменных транспортных сооружений способом подводного инъецирования. По результатам исследования также рекомендованы составляющие для изготовления высокоподвижных смесей и разработана технология их приготовления.

The article presents results of the studies regarding development of high-agility mortars for repair of concrete and stone-based transport erections by way of subwater injecting. Basing on results of the study, recommendations have been given for fabrication of high-agility mixtures and corresponding technology has been proposed.

Відомо, що ремонт локальних пошкоджень підводних части бетонних та залізобетонних транспортних споруд проводиться з метою відновлення монолітності, підвищення міцності, усунення фільтрації води крізь кладку, підвищення її довговічності та запобіганню подальшої руйнації [1–3].

Як показали попередні дослідження, серед існуючих способів підводного ремонту, більш глибоких досліджень потребує спосіб підводного ін'єктування. Особливо важним є якісний підбір матеріалів та розробка ефективних високорухливих сумішей. Основною метою наведених у статті досліджень є розробка високорухливих розчинів для ремонту бетонних та кам'яних транспортних споруд способом підводного ін'єктування. На основі проведених досліджень рекомендовано для виготовлення ін'єкційних розчинів такі базові матеріали:

- портландцемент (Криворізького цементного заводу) ПЦ II/A-III-400, активність  $R_c = 42,85$  МПа, нормальна густина  $H' = 25,4$  %;
- пісок річковий дніпровський, середня густина  $\rho_0 = 2,66$  г/см<sup>3</sup>, насипна густина 1,6 кг/л, модуль крупності  $MK = 1,2$ ;
- розчин прискорювача твердіння  $CaCl_2$ , концентрація розчину  $K_{CaCl_2} = 23$  %; густина розчину  $\rho_{CaCl_2} = 1,208$  кг/л;
- мікронаповнювач ПГВФ – пил газоочищення виробництва феросиліцію, середня густина  $\rho = 2,23$  кг/см<sup>3</sup>, насипна густина  $\rho_n = 0,83$  кг/л; питома поверхня  $S_n = 14400$  см<sup>2</sup>/г.

Для отримання високорухливих не розшарованих сумішей рекомендується вводити до складу розчину пластифікуючі домішки (табл. 1).

Таблиця 1

**Домішки, що рекомендовані для застосування у разі ремонту бетонних та залізобетонних штучних споруд під водою способом ін'єктування**

Найменування, марка	Клас домішки	Вплив на фізико-механічні характеристики розчинів та бетонів	% домішки від маси цементу
Вітчизняні домішки			
Комплексна домішка ПЛКП-С	Пластифікатор, прискорювач твердіння, збільшення водостійкості та морозостійкості	Збільшує рухливість бетонної суміші до 15...17 см; збільшує міцність на стискання при однаковій рухливості на 22...25 %; збільшує морозостійкість на 36...40 %; збільшує водонепроникність на одну одиницю за маркою	0,8...1,5
ПФМ-БС	Пластифікатор	Зменшує на 15...20 % витрати води на приготування бетонної суміші без зміни її рухливості; збільшує міцність на стискання при однаковій рухливості на 20...27 %	0,5...1,5

Найменування, марка	Клас домішки	Вплив на фізико-механічні характеристики розчинів та бетонів	% домішки від маси цементу
M-1	Пластифікатор (розроблений автором)	Знижує водопотребу бетонної суміші на 10...12 % для отримання рівно-рухливого бетону; збільшує міцність на стискання при однаковій рухливості на 28...31 %. Покращує структуру бетону; збільшує морозостійкість на 30...35 %	0,8...2,0
Закордонні домішки			
Sika ViscoCrete5 (Швейцарія)	Суперпластифікатор	Зменшує на 30...33 % витрати води на приготування бетонної суміші без зміни її рухливості; збільшення міцності на стиск при однаковій рухливості на 38...45 %; зниження усадочних деформацій	0,3...0,8
Mapefluid-200 (Італія)	Суперпластифікатор	Зменшує на 27...30 % витрати води на приготування бетонної суміші без зміни її рухливості; збільшує міцність на стиск при однаковій рухливості на 35...40 %; знижує водонепроникність	0,5...1,5
C-3 (Росія)	Суперпластифікатор	Знижує водопотребу бетонної суміші на 15 % для отримання рухливого бетону; підвищує міцність (на 32...38 %), щільність бетону, покращує його структуру; збільшує зчеплення нового бетону зі старим	0,2...0,7

Оптимальну кількість домішки, що вводиться, варто визначати в кожному конкретному випадку експериментальним шляхом.

Встановлено, що розчин для підводного бетонування ін'єкційним способом повинний задовольняти такі вимоги: мати високу рухливість та зв'язність; бути стабільним, тобто здатним зберігати більш-менш тривалий час свої початкові властивості.

У результаті проведених лабораторних досліджень термінів твердіння цементу встановлено, що в підводних умовах час початку твердіння різко збільшується до 4 годин, що дозволяє рекомендувати звичайний портландцемент М400 для проведення ремонтних робіт. Розчини на основі такого цементу виявилися найбільш зв'язними і стабільними.

Результати експериментів підтверджують, що не можна обмежуватися застосуванням цементів для підводного бетонування паспортними термі-

нами твердіння, тому необхідно в кожному конкретному випадку проводити додаткові лабораторні випробування ремонтних сумішей.

Виконані експерименти на розчинах різних видів цементу з застосуванням пісків Придніпровського регіону і різних в'язучих, дозволили встановити показники для оцінки придатності розчину для підводного бетонування:

- по рухливості – занурення конуса в розчинну суміш повинне відповідати величині 17...18 см;
- по зв'язності – відносно водовідділення розчину, як показник зв'язності за час відстоювання в посудині протягом 1,0 год повинне бути в межах 3,0...4,0 %;
- за міцністю – межа міцності при стисканні зразків розміром 10×10×10 см у 7 і 28-добовому віці повинна бути не менш 11 МПа.

Склад розчину змінювався залежно від виду і властивості застосовуваних цементів (табл. 2).

Таблиця 2

#### Основні середні характеристики розчинів для ін'єкційного способу

Вид цементу	Склад розчину		Властивості розчину, $\min R_{ct}$ , МПа у віці, діб	
	за масою	В/Ц	7	28
Портландцемент	1:1,7		12,0...14,0	24,0...27,0
Пуцолановий	1:1,8	0,70...0,95	8,0...11,0	18,0...22,0
Сульфатостійкий	1:2,0		11,0...13,0	22,0...24,0

Примітки: Середня щільність розчину  $\rho = 2000...2100$  кг/м<sup>3</sup>

Результати показують, що використання звичайного портландцементу задовольняє прийняті вимоги. Розчини на його основі достатньо пластичні, зв'язні і міцні.

У результаті проведених досліджень розроблені оптимальні склади розчинів для підводного ін'єктування, фізико-механічні характеристики наведені в табл. 3.

Таблиця 3

**Фізико-механічні властивості розчинів для ін'єктування в накиданий кам'яний масив за опалубкою**

№ розчину	Діаметр розпливу мініконуса $D$ , мм	Адгезійна міцність $R_{адг}$ , МПа	Міцність при стисканні $R_{ст}$ , МПа
Без пластифікатора			
1	229	0,8	25,2
2	234	1,1	27,1
3	241	0,9	26,3
З пластифікатором ПФМ-БС			
4	235	1,3	31,1
5	240	1,5	32,4
6	246	1,1	30,9
З пластифікатором ПЛКП-С			
7	233	1,2	30,1
8	242	1,4	31,3
9	243	1,0	30,9
З пластифікатором ПКМ-1 (розроблений автором)			
10	235	1,4	32,2
11	240	1,6	33,6
12	246	1,3	31,8
З суперпластифікатором С-3			
13	239	1,2	33,6
14	242	1,3	35,1
15	250	1,1	32,7

Приготування цементно-піщаних розчинів, з використанням мікронаповнювачів та хімічних домішок для ін'єкційних робіт виконують у розчинозмішувачах примусової дії. У змішувач завантажують пісок і необхідну кількість мікронаповнювача. Суміш перемішують 2...2,5 хв. Потім завантажують цемент і перемішують 1...1,5 хв. До перемішаних твердих складових суміші додають необхідну кількість води з хімічною домішкою, відмірену тарованою посудиною. Суміш перемішують до однорідного стану, але не менше 3 хв. Із розчинозмішувача суміш подають у приймальний бункер розчинонасоса, за допомогою якого виконують ін'єктування масиву.

При підводному ін'єктуванні приготування сумішей виконується на місці робіт безпосередньо перед початком ін'єктування.

### Висновки

У результаті проведених досліджень було:

- розроблено новий пластифікатор ПКМ-1 для високорухливих сумішей;
- рекомендовані складові для виготовлення високорухливих сумішей;
- розроблено технологію приготування високорухливих сумішей;
- розроблено високорухливі розчини для ремонту бетонних та кам'яних транспортних споруд способом підводного ін'єктування.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Пшинько А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений: Монография. – Д.: Пороги, 2000. – 411 с.
2. Пшинько А. Н. Проблемы ремонта инженерных транспортных сооружений / А. Н. Пшинько, Н. Н. Руденко // Залізничний транспорт України. – 2000. – № 3. – С. 12–14.
3. Клочко Б. Г. Биоводостойкий гидротехнический бетон с полимерфенольными добавками: Монография. – Д.: Арт-Пресс, 1998. – 184 с.

Надійшла до редколегії 02.02.2006.



М. І. МАЛЬКОВ, О. О. СТЕПАНЕНКО (Адміністрація Держспецтрансслужби),  
А. В. РАДКЕВИЧ, В. Ф. ХУДЕНКО (ДІПТ)

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ БОЄЗДАТНОСТІ ОРГАНІВ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖСПЕЦТРАНССЛУЖБИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ЗА ПРИЗНАЧЕННЯМ

Розглянуті питання конкретизування значення виробничих можливостей формування Державної спеціальної служби транспорту на кожний день особливого періоду з урахуванням працездатності органів управління, в тому числі з урахуванням втрат особового складу під час бойових дій і зниження рівня професійної підготовки посадових осіб органів управління.

Рассмотрены вопросы конкретизации значения производственных возможностей структурных подразделений Государственной специальной службы транспорта на каждый день особого периода с учетом работоспособности органов управления, в том числе с учетом потерь личного состава во время боевых действий и снижения уровня профессиональной подготовки должностных лиц органов управления.

The article considers questions of precise determination of the values of operational capabilities of the State Special Transport Service's structural subdivisions for each day of the special period, taking into account potential efficiency of the managerial bodies, including account of human casualties among the personnel during warfare actions and decline of the proficiency level of managerial staff.

У теперішній час у розвинутих країнах здійснюються широкомасштабні заходи щодо розвитку військових технологій – це інформатизація військ і озброєння, автоматизація управління військами, створення надійних засобів захисту своїх і подавлення пунктів управління супротивника, розробка нових технічних засобів для ведення глибоко ешелонованої розвідки. Відставання України в названих та інших важливих областях призводить до ослаблення її воєнно-стратегічних позицій у світі і створює передумови для діалогу з нею з «позиції сили».

Змінюється і характер майбутньої війни. Поряд з могутнім масовим застосуванням високоточної зброї, інформаційно-психологічною дією на війська і населення супротивника, особлива увага приділяється досягненню переваги в управлінні.

Державна спеціальна служба транспорту відповідно до прийнятої і реалізованої військової доктрини у мирний час утримується в чисельності, що забезпечує підтримку в постійній готовності до виконання завдань за призначенням тільки мінімально необхідну кількість структурних підрозділів, як базу для мобільного розгортання. У зв'язку з цим, об'єднані загони і окремі загони Держспецтрансслужби після переходу з мирного на воєнний час (відмобілізування) до моменту завершення злагодження можуть тільки умовно вважатись боєздатними.

Аналіз показує, що боєздатність будь-якого формування Держспецтрансслужби у значній мірі визначається бойовою готовністю органів управління.

Розглянемо ситуацію, коли після відмобілізування всі частини об'єданого загону укомплектовані особовим складом, технікою і озброєнням у відповідності до штату. Отже, заходи мирного часу щодо забезпечення бойової і мобілізаційної готовності виконані повністю.

Таким чином, боєздатність характеризує стан органу управління до кінця періоду переходу його з мирного на воєнний час. А боєздатність органу управління, у зв'язку з цим, буде характеризувати його можливості з управління діями з'єднань, частин та підрозділів Держспецтрансслужби за їхнім штатним призначенням.

Мірою кількісної оцінки боєздатності органу управління може бути фактична тривалість циклу управління ( $T_{\text{ц}}$ ), а показником ефективності – ступінь її відповідності необхідному значенню ( $T_{\text{ц},N}$ ). У загальній тривалості циклу управління виділимо дві складові:

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{ц},R} + T_{\text{ц},c} \leq T_{\text{ц},N} \quad (1)$$

де  $T_{\text{ц},R}$  – витрати часу на аналіз, обробку отриманої інформації, розробку й оформлення рішення;  $T_{\text{ц},c}$  – витрати часу на доведення рішення до виконавців;  $T_{\text{ц},N}$  – нормативна (необхідна) тривалість циклу управління.

Таким чином, перша складова циклу характеризує працездатність органу управління, тобто здатність аналізувати виникаючі ситуації, приймати рішення і ставити бойові задачі виконавцям, з оформленням відповідних бойових документів.

Тоді вираз для критерію ефективності управління буде мати вигляд:

$$K_{e,y} = \frac{T_{ц.Р} + T_{ц.с}}{T_{ц.Н}} \leq 1,0. \quad (2)$$

Наведені залежності (1, 2) побічно характеризують боєздатність органу управління, але не дають кількісної величини безпосередньо, тобто необхідно розкрити функцію виду

$$SB_{k,\tau} = f(SR_{k,\tau}; SU_{k,\tau}), \quad (3)$$

де  $SB_{k,\tau}$  – показник рівня боєздатності  $k$ -го органу управління на день періоду  $\tau$ ;  $SR_{k,\tau}$  – показник працездатності органу управління;  $SU_{k,\tau}$  – показник стійкості роботи пункту управління.

Таким чином, якщо працездатність органу управління висока, а стійкість недостатня, тоді добре і вчасно прийняте рішення не буде передане виконавцям. І, навпаки, при високій стійкості роботи пункту управління, але низькій працездатності органу управління, підлеглі об'єднані та окремі загони і підрозділи будуть простоювати через відсутність рішення. У свою чергу, як відомо, стійкість характеризується надійністю та живучістю. На даному етапі дослідження показники працездатності і стійкості пропонується зрівняти. Тому дістанемо

$$SB_{k,\tau} = \min(SR_{k,\tau}; SU_{k,\tau}) \geq SB_{k,\tau,N}. \quad (4)$$

де  $SB_{k,\tau,N}$  – нормативне (необхідне) значення показника рівня боєздатності органу управління.

Оскільки у останні роки методи оцінки стійкості управління розробляються досить інтенсивно, то є необхідним у теоретичному плані досліджувати шляхи кількісної оцінки працездатності органу управління.

Орган управління будь-якого рівня включає сукупність структурних груп, підгруп і підрозділів. Тоді узагальнений показник працездатності органу управління є функція виду

$$SR_k = f(R_{k,\tau,1}; R_{k,\tau,2}; \dots R_{k,\tau,m}) \quad (5)$$

де  $R_{k,\tau,1}; R_{k,\tau,2}; \dots R_{k,\tau,m}$  – показники працездатності  $m$ -структурних складових органу управління.

Якщо працездатність органу управління розуміти як його можливість вчасно розробляти, обґрунтовувати і оформляти належним чином управлінські рішення, то цей показник кількісно буде дорівнювати:

$$R_{k,\tau} = \frac{T_{н.к}}{T_{ф.к,\tau}}, \quad (6)$$

де  $R_{k,\tau}$  – відносна величина показника працездатності  $k$ -го органу управління на день періоду  $\tau$ ;  $T_{н.к}$  – нормативний час на розробку документів для управлінських рішень;  $T_{ф.к,\tau}$  – фактичний час на розробку тих же документів управління.

Залежність (6) дає можливість оцінити працездатність органу управління в процесі виконання заходами завдань за призначенням, але не дозволяє прогнозувати цей показник у процесі підготовки до її виконання або в ході з урахуванням неминучих втрат і доукомплектування.

Таким чином, прогноз показника працездатності органу управління протягом усього періоду виконання поставленої задачі є об'єктивно необхідним для своєчасної реакції і недопущення виникнення критичних ситуацій.

Оскільки орган управління становить собою певним чином сформовану організаційно-штатну структуру, то при її створенні вже передбачена неоднакова значимість посад, на які призначаються фахівці визначеного рівня підготовки. Досвід показує, що працездатність органу управління визначається не тільки рівнем кваліфікації фахівців, укомплектованістю структурного підрозділу, але і загальною організацією їхньої спільної роботи. З цієї причини, на практиці, при однаковому приблизно рівні кваліфікації фахівців, їх працездатність як колективу, може бути менше і більше встановленого нормативу.

У зв'язку з цим, взаємозв'язок і взаємовплив укомплектованості особовим складом і узагальненого рівня кваліфікації посадових осіб органу управління може бути виражений такою залежністю:

$$R_{k,\tau} = K_{y,k,\tau} SK_{п.п.,k,\tau}, \quad (7)$$

де  $R_{k,\tau}$  – працездатність  $k$ -го органу управління або його структурного елемента на день періоду  $\tau$ ;  $K_{y,k,\tau}$  – укомплектованість особовим складом цього органу управління або його структурного елемента;  $SK_{п.п.,k,\tau}$  – відповідно узагальнена величина коефіцієнта професійної підготовки посадових осіб органу управління.

Укомплектованість органу управління на будь-який момент часу розглянутого періоду визначається і прогнозується на основі штатних нормативів, наявності особового складу або прогнозу його втрат на заданий день періоду.

Методика прогнозування втрат особового складу в органах управління Держспецтрансслужби під час проведення оборонних і наступальних операцій розроблена (у тому числі і за участю авторів) і доведена до практичної реалізації у військах.

Для оцінки рівня кваліфікації або професійної підготовки органу управління необхідно одержати попередню індивідуальну оцінку по кожній посадовій особі, а потім певним чином індивідуальні характеристики перетворити в узагальнений показник. Методика індивідуальної оцінки кваліфікації посадових осіб органів управління Держспецтрансслужби у даний час розробляється і уточнюється у процесі практичних перевірок боєздатності Держспецтрансслужби.

Для оцінки рівня професійної підготовки групи фахівців управління пропонується скористатися такою залежністю:

$$SK_{п.п} = \frac{K_{п.п.,1}C_1 + K_{п.п.,2}C_2 + \dots + K_{п.п.,m}C_m}{\sum_{i=1}^m C_m}, \quad (8)$$

де  $SK_{п.п}$  – узагальнений показник рівня професійної підготовки групи управління;  $K_{п.п.,1} \dots K_{п.п.,m}$  – індивідуальний відносний показник професійної підготовки посадових осіб органу управління;  $C_1, C_2, \dots C_m$  – показник значущості (оцінка ролі) фахівця в групі управління;  $m$  – кількість фахівців у групі управління.

Із врахуванням викладеного, рівень професійної підготовки усього органу управління також може бути обчислений з урахуванням значущості кожного структурного елемента:

$$SK_{п.п.,k} = \frac{K_{п.п.,1}a_1 + K_{п.п.,2}a_2 + \dots + K_{п.п.,n}a_n}{\sum_{i=1}^n a_n} \quad (9)$$

Таким чином, визначивши кількісно коефіцієнт укомплектованості органу управління і коефіцієнт його професійної підготовки, задача на розрахунок працездатності органу управління буде вирішена.

З практичного досвіду відомо, що працездатність органу управління певним чином позначається на реалізованих підлеглими підрозділами виробничих можливостях.

Цей практичний висновок був підтверджений теоретичними дослідженнями В. П. Гладких, Х. І. Камалова, Е. І. Шехтмана та іншими. У цих роботах виробничі можливості формування розглядаються як функція продуктивності, тобто

$$SW_{j,\tau} = \Psi_{j,\tau} SP_{j,\tau} \rightarrow SW_{j,N}, \quad (10)$$

де  $SW_{j,\tau}$  – фактично реалізовані виробничі можливості  $j$ -го формування на день періоду  $\tau$ ;  $\Psi_{j,\tau}$  – коефіцієнт, що враховує вплив організаційних факторів (в тому числі і управління) на виробничі можливості;  $SP_{j,\tau}$  – продуктивність  $j$ -го формування;  $SW_{j,N}$  – нормативні штатні виробничі можливості.

Аналіз наведеної залежності показує, що  $SW_{j,\tau} = SW_{j,N}$  у тому випадку, якщо  $\Psi_{j,\tau} = 1,0$ ; а  $SP_{j,\tau} = SW_{j,N}$ . Отже, при  $\Psi_{j,\tau} < 1,0$  виробничі можливості формування будуть менше штатних.

Таким чином, щоб кожна з частин об'єднаного загону Держспецтрансслужби мала виробничі можливості відповідно до штату, необхідно щоб рівень організації управління виробництвом виключав їхні необґрунтовані втрати.

Величину  $\Psi$  пропонується оцінювати добутком:

$$\Psi_{\tau} = f(\beta_{1,\tau}; \beta_{2,\tau}; \dots \beta_{n,\tau}) \quad (11)$$

де  $\beta_{1,2,\dots,n,\tau}$  – часткові складові узагальненої характеристики  $\Psi_{\tau}$ .

Для прикладу розкриємо зміст деяких часткових складових коефіцієнта  $\Psi$ :  $\beta_{1,\tau}$  – коефіцієнт, що характеризує рівень організації управління підрозділами окремого загону при виконанні ними задач за призначенням в конкретний день періоду  $\tau$ ;  $\beta_{2,\tau}$  – коефіцієнт, що характеризує рівень організації тилового забезпечення підрозділів на об'єктах робіт;  $\beta_{3,\tau}$  – те ж, для підсистеми технічного забезпечення.

Таким чином,  $\beta_{1,\tau}$  деяка функція працездатності органу управління  $R_{k,\tau}$ , а  $\beta_{2,\tau}$  є узагальненою характеристикою відповідності системи тилового забезпечення необхідному значенню. Діапазон зміни коефіцієнта  $\beta_{2,\tau}$  був установлений Х. І. Камаловим шляхом експертного опитування фахівців і склав  $0,7 \dots 1,0$ .

Отже, при низькому рівні організації системи тилового забезпечення через непродуктивні втрати часу, втрати виробничих можливостей загонів можуть досягати 30 %, а деякі експерти вважають і до 40...45 %.

У параметр  $\Psi$  можуть входити й інші коефіцієнти, що враховують вплив факторів, неназваних вище.

Якщо величину  $\Psi$  визначати як добуток трьох вищеназваних коефіцієнтів, то її вплив на виробничі можливості досить відчутний. Для прикладу, нехай три організаційні фактори оцінюються показниками  $\beta_{1,\tau} = \beta_{2,\tau} = \beta_{3,\tau} = 0,9$ . Отже, кожна з організаційних підсистем тільки на 10 % нижче необхідного значення. Але при значенні  $\Psi = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,73$  утрати виробничих можливостей складуть 27 %.

Аналіз практичної роботи органів управління Держспецтрансслужби дає підставу припустити, що втрати виробничих можливостей у значною мірою істотно залежить від працездатності органів управління двох суміжних рівнів:  $k$  (об'єднаний загін) і  $k-1$  (окремий загін)

$$P_{k-1,\tau} = f(R_{k,\tau}; R_{k-1,\tau}). \quad (12)$$

Однак аналітичний вираз для залежності (12) ще має бути розкрито в подальших дослідженнях. Фізичний зміст коефіцієнта втрат виробничих можливостей пояснює співвідношення:

$$P_{k-1,\tau} = 1 - \frac{SW_{k-1,\tau}}{SW_{k-1,N}}, \quad (13)$$

$$SW_{k-1,\tau} = (1 - P_{k-1,\tau}) SW_{k-1,N}. \quad (14)$$

### Висновок

Таким чином, якщо шляхом прогнозу розрахувати величину  $P_{\tau}$  (утрат можливостей), тоді стає можливим конкретизувати значення виробничих можливостей формування Держспецтрансслужби на кожен день періоду з урахуванням працездатності органів управління, у тому числі і з урахуванням втрат особового складу в ході бойових дій і зниження рівня професійної підготовки органів управління об'єднаних та окремих загонів.

У зв'язку з викладеним, можна зробити такі висновки:

1. Працездатність органа управління істотно залежить від рівня кваліфікації його посадових осіб.

2. На працездатність істотно впливає ступінь укомплектованості органа управління особовим складом.

3. Оцінюючи працездатність органу управління, необхідно враховувати значущість усіх посадових осіб, що входять у структурну ланку цього органу управління.

4. Необхідно враховувати особисті якості керівника структурного підрозділу, забезпечуючи тим самим збільшення працездатності колективу без будь-яких витрат.

5. У самому органі управління значущість структурних його елементів не однакова, і у разі визначення узагальненого показника працездатності органу управління цю обставину треба враховувати.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України від 05.02.2004 р. № 1449-IV «Про Державну спеціальну службу транспорту».
2. Указ Президента України від 06.08.2004 р. № 373/2004 «Питання Державної спеціальної служби транспорту».
3. Постанова Кабінету міністрів України «Про організаційне забезпечення технічного прикриття шляхів і транспортних споруд» – К.: Міністерство транспорту, 1995. – 10 с.
4. Наказ Міністра транспорту та зв'язку України і Міністра оборони України від 11.04.2005 р. № 383/10663 «Про взаємодію Міністерства транспорту та зв'язку України і Міністерства оборони України у взаємовідносинах з Державною спеціальною службою транспорту»
5. Проект Настанови по діях Залізничних військ, 2001 р.
6. Гусаров Ф. Ф. Организация технического прикрытия железных дорог / Ф. Ф. Гусаров, Л. А. Бутаков. – Л.: ВАТТ, 1989. – 274 с.

Надійшла до редколегії 02.02.2006.

## ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Узагальнені основні критерії оцінки надійності і довговічності залізобетонних автодорожніх мостів. Запропоновані рекомендації з підвищення надійності і довговічності залізобетонних автодорожніх мостів.

Обобщены основные критерии оценки надежности и долговечности железобетонных автодорожных мостов. Предложены рекомендации по повышению надежности и долговечности железобетонных автодорожных мостов.

The basic criteria for assessing reliability and durability of ferro-concrete road bridges are generalized. Recommendations for increasing reliability and durability of such bridges have been given.

Вопросы повышения надежности и долговечности железобетонных автодорожных мостов являются актуальными, поскольку позволяют решать задачи определения надежности и остаточного ресурса пролетных строений в процессе эксплуатации.

Теорией надежности и долговечности строительных конструкций занимались многие ученые, среди которых А. Р. Ржаницын, Л. И. Иосилевский, В. В. Болотин, А. И. Лантух-Лященко [1–5]. Однако теория надежности и долговечности строительных конструкций настолько сложна в практической реализации, что еще многие годы будет предметом научных исследований и поисков.

Целью данной работы является обобщение результатов обследования автодорожных мостов выполненных ОНИЛ искусственных сооружений ДИИТа за последние 5 лет и оценка эксплуатационных показателей.

Результатом работы являются конкретные мероприятия направленные на увеличение надежности и долговечности эксплуатируемых, реконструируемых и вновь строящихся мостов.

Выводы по результатам обследований автодорожных железобетонных мостов следующие:

- значительная часть мостов находится в неудовлетворительном состоянии;
- грузоподъемность мостов не отвечает современным нормативным требованиям;
- долговечность мостов снижена;
- не обеспечены нормативные условия эксплуатации мостов.

Методика эксплуатационной оценки существующих мостов нашла отражение в нормативном документе «Мосты и трубы» [4], а также в работе профессора А. И. Лантуха-Лященко [5]. Эта методика позволяет количественно

оценить техническое состояние элементов мостов (опоры, пролетные строения, проезжая часть), их грузоподъемность, долговечность.

Общие выводы по результатам оценки эксплуатационных показателей мостов следующие:

1. По состоянию элементов значительная часть мостов имеет снижение надежности и долговечности. Основной причиной снижения долговечности мостов следует признать фильтрацию воды, проникающей через повреждения проезжей части и деформационные швы, а также многочисленные трещины, вызывающие коррозию бетона и арматуры, разрушение защитного слоя. В плитных сборных мостах, а также в мостах уширенных в последние годы, причиной снижения долговечности является также нарушение поперечных связей между блоками. Отмеченные дефекты имеют значительное развитие вследствие низкого уровня эксплуатационного содержания мостов.

2. Плохое состояние мостов вызвано допущенными ошибками при проектировании, а также низким качеством строительных работ. Особенно неблагоприятное состояние деформационных швов, въездов, подтротуарной изоляции и водоотвода. По пролетным строениям следует отметить недостатки поперечных связей сборных плитных разрезных пролетных строений. Значительная часть мостов не ремонтировалась и даже не осматривалась за все время их существования. Причиной проникновения воды к конструкциям является раздвижка плит сборных плитных пролетных строений в результате недостаточного объединения их поперечными связями.

3. Недостаточная грузоподъемность мостов относительно современных нормативных нагрузок вызвана тем, что они проектировались на меньшие нагрузки (Н-10, А-13, НГ-60).

Значительная часть уширенных за последние 15 лет мостов снизила свою грузоподъемность вследствие ошибок при проектировании их реконструкции. Главной ошибкой оказалось отсутствие связей между элементами старого пролетного строения и элементами уширения, которое в большинстве случаев осуществлено методом приставных элементов. Уширение опор также выполнялось пристройкой новой части опоры на своем фундаменте, без принятия мер против неравномерной осадки старой и новой частей.

Кроме того, из-за неодинаковых прогибов и осадок конструкций произошли разрывы проезжей части, что привело к разрушению конструкций вследствие фильтрации воды, что в конечном итоге вызвало снижение их долговечности. Нерациональное и ошибочное проектирование реконструкции автодорожных мостов вызвано недостатком опыта проектирования проектных организаций (проектирование выполнялось местными организациями системы «Укрремдорпроект»), а также отсутствием нормативных указаний по реконструкции, справочных пособий.

Между тем надобность в уширении мостов с каждым годом вырастает и объемы их проектирования приближаются к объемам проектирования новых мостов. В этом году ОНИЛ искусственных сооружений принимает участие в обследовании и разработке предложений по уширению мостов автодороги Киев–Луганск–Изварино.

Для увеличения надежности и долговечности автодорожных железобетонных мостов предлагаются следующие мероприятия:

1. Для эксплуатируемых мостов:

- обеспечение надежного эксплуатационного содержания, при котором проявленные дефекты проекта и строительства немедленно бы фиксировались и устранялись мерами профилактического ремонта. Способы выполнения ремонтных работ имеются в нормативных документах;

- исследование вопросов влияния различных дефектов на надежность (несущую способность и грузоподъемность) и долговечность элементов мостов. В настоящее время эта проблема нашла решение только в отношении трещин железобетонных конструкций.

2. Для реконструируемых существующих и вновь строящихся мостов:

- учет требуемой долговечности элементов мостов по физическому износу в зависимости от условий их работы и внешних воздействий, а также от материала, системы и способа изготовления;

- изучение и учет сроков морального износа, прежде всего опор и фундаментов; проектирование этих элементов моста, учитывая их относительно большую физическую долговечность, должно предусматривать возможности реконструкции пролетного строения – его уширение и усиление – без реконструкции опор и фундаментов; при проектировании пролетных строений желательно предусматривать возможности их рационального усиления при увеличении нагрузок, чем обеспечивается надежность конструкций во времени.

В заключение следует заметить, что система эксплуатационного содержания автодорожных мостов требует существенной реорганизации: разработки и освоения промышленностью специальных машин для осмотра, текущего ремонта, а также созданию специальных дорожных машин для выполнения бетонных ремонтных работ.

Предстоит продолжить работы по исследованию вопросов, связанных с проектированием реконструкции мостов, созданию нормативных документов. При этом следует учитывать остаточный срок службы реконструируемого сооружения при выборе коэффициента запаса, а также нормативных нагрузок.

Особое значение имеет исследование элементов комплекса проезжей части с целью устранения выявленных в процессе эксплуатации дефектов, в первую очередь проезжей части, обеспечивающей надежную водонепроницаемость, состоянию деформационных швов, въездных устройств, тротуарных конструкций и ограждений, следует продолжить работы по исследованию конструкций сборных железобетонных плитных пролетных строений с целью надежного обеспечения их поперечных связей как для лучшего распределения нагрузок и избежания значительных перегрузок отдельных блоков, так и устранения раздвижки блоков при эксплуатации, образования продольных трещин в проезжей части.

Первостепенное значение имеют работы по исследованию фактической долговечности элементов мостового перехода (комплекс проезжей части, пролетного строения, опор и фундаментов, струнаправляющих сооружений, укрепление конусов и т. д.) как по физическому износу, так и по моральному старению, создание нормативных требований долговечности для различных элементов мостовых переходов с учетом фактических сроков морального старения.

В вопросах надежности элементов мостов особое внимание следует уделить равной надежности всех элементов моста в зависимости от сроков физического и морального их износа, чем обеспечивается максимальная экономичность конструкции.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, – 1978. – 239 с.
2. Иосилевский Л. И. Практические методы управления надежности железобетонных мостов. – М.: Науч-изд. центр «Инженер», 2005. – 324 с.
3. Болотин В. В. Методы теории вероятности и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, – 1982. – 351 с.
4. Мости та труби. Оцінка технічного стану мостів, які експлуатуються. ВБН В.3.1-218-174-2002., – Державна служба автомобільних доріг України. – К., 2002. – 74 с.
5. Лантух-Ляшенко А. І. Оцінка технічного стану транспортних споруд, що знаходяться в експлуатації // Вісник Транспортної академії України, – К., – 1999. – № 3, – С. 59–63.

Поступила в редколлегию 15.05.2006.

## МОДЕЛИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЕРВУАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Сформульовано умови працездатності основних конструктивних елементів сталевих резервуарів для нафтопродуктів у процесі експлуатації. Запропоновано нові моделі експлуатаційної надійності, що дають узагальнену оцінку впливу факторів початкової дефектності, експлуатаційної пошкоджуваності та відновлення на несучу здатність нафтових резервуарів.

Сформулированы условия работоспособности основных конструктивных элементов стальных резервуаров для нефтепродуктов в процессе эксплуатации. Предложены новые модели эксплуатационной надежности, дающие обобщенную оценку влияния факторов начальной дефектности, эксплуатационной повреждаемости и восстановления на несущую способность нефтяных резервуаров.

Conditions of serviceability of the basic constructive elements of steel tanks for mineral oil while in service are formulated. The new models of operational reliability giving the generalized estimation of influence of factors of initial deficiency, operational damageability and restoration on carrying capacity of oil tanks are offered.

В настоящее время более, 75 % резервуарного парка Украины имеет срок эксплуатации, превышающий нормативный, и находится в стадии активного физического износа [1]. В связи с этим в последние годы в значительной мере повысился фактический риск отказов нефтяных резервуаров (РВС) и, тем самым, возросла роль фактора их восстановления в процессе эксплуатации. Все это требует уточнения действующих нормативных документов [2; 3] в части сроков ревизий технического состояния резервуаров, находящихся в эксплуатации, что связано с разработкой новых моделей и методов управления эксплуатационной надежностью этих сооружений в условиях физического износа.

В статье предлагаются модели эксплуатационного состояния и эксплуатационной надежности стальных конструкций нефтяных резервуаров, отличительной особенностью которых является комплексный учет факторов начальной дефектности, эксплуатационной повреждаемости и восстановления, присущих процессу эксплуатации этих сооружений. Эксплуатационное состояние конструкций описывается в терминах случайных функций, а в качестве показателя надежности рассматривается вероятность безотказной работы. Начальная дефектность конструкций учитывается постоянными коэффициентами, а их эксплуатационная повреждаемость отражается соответствующими поправками, зависящими от времени. Восстановление рассматривается в контексте управления эксплуатационной надежностью РВС.

При проектировании в прообраз резервуара закладываются определенные запасы прочности, устойчивости и герметичности. После изготовления и монтажа резервуар, как правило, имеет те или иные дефекты, обусловленные несовершенством существующих технологий. В процессе эксплуатации происходит физический износ резервуарных конструкций, периодически производятся ремонтно-восстановительные мероприятия. Эти факторы начальной дефектности, физического износа (эксплуатационной повреждаемости) и восстановления влияют на проектные запасы функциональных качеств резервуара и должны учитываться в моделях его эксплуатационного состояния.

Начальная дефектность нефтяных резервуаров связана в основном с отклонениями образующих цилиндрической стенки от вертикали, с отклонениями линии опирания нижнего пояса на днище от правильной окружности и горизонтальной плоскости, а также отрицательными допусками на листовую прокат [4]. Все это всегда снижает проектную несущую способность этих сооружений. Физический износ проявляется главным образом в развитии и накоплении коррозионных и усталостных повреждений, постепенно ухудшающих техническое состояние резервуара в процессе эксплуатации. Коррозия далее рассматривается как фактор, изменяющий сечение конструктивных элементов и их прочностные характеристики. При этом различается необратимый коррозионный износ, регламентирующий остаточную толщину конструктивных элементов, и локальный коррозионный износ, определяемый глубиной местных



коррозионных повреждений. Усталостные повреждения рассматриваются в контексте возможного подрастания трещиновидных дефектов, гипотетически имеющих в корпусе резервуара. Устранение необратимого коррозионного износа и усталостных повреждений требует капитальных ремонтов, а устранение локальных коррозионных повреждений возможно на основе несложных текущих ремонтов.

Ревизии технического состояния резервуарных конструкций периодически восстанавливают их работоспособность в период эксплуатации. Для нефтяных резервуаров характерны три способа восстановления: полное, частичное и усиление. Полное восстановление конструкции приводит к обновлению ее технического состояния, частичное восстановление – к устранению локальных повреждений, ограничивающих работоспособность, а усиление производится применительно к несущим конструкциям резервуара с целью повышения их несущей способности. Полное восстановление и усиление связаны с капитальными ремонтами, а частичному восстановлению соответствуют текущие ремонты.

Стальной вертикальный цилиндрический резервуар можно рассматривать как систему четырех основных конструктивных элементов: цилиндрической стенки, узла сопряжения стенки с днищем (уторного узла), днища и кровли. Прочность резервуара определяется совместной прочностью его цилиндрической стенки и уторного узла, устойчивость резервуара обычно рассматривается в контексте общей устойчивости цилиндрической стенки, а его герметичность обуславливается герметичностью перечисленных выше конструктивных элементов.

Цилиндрическая стенка резервуара, находящегося в эксплуатации, должна отвечать требованиям прочности, устойчивости и герметичности. Принимая во внимание нормативные документы [2,3], модель эксплуатационного состояния этого конструктивного элемента можно сформулировать в виде следующей системы неравенств:

$$\eta_i R_{yi} \psi_i(t) v_i(t) [\delta_{i0} - \varepsilon_i(t)] - p_i r \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

$$1 - \frac{\sigma_1 [\delta_{\min}(t)]}{\sigma_{cr1} [\delta_{\min}(t)]} - \frac{\sigma_2 [\delta_c(t)]}{\sigma_{cr2} [\delta_c(t)]} \geq 0, \quad (2)$$

$$\delta_{i0} - \xi_i(t) - \Delta_i^- \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где  $\eta_i$  – поправка, учитывающая возможное снижение проектной несущей способности  $i$ -го

пояса вследствие его начальной дефектности после изготовления и монтажа (согласно [1; 5] среднестатистическое значение этой поправки равно 0,87...0,88 для нижнего пояса и 0,97...0,98 – для остальных поясов);  $R_{yi}$ ,  $\delta_{i0}$  – соответственно, расчетное сопротивление и проектная толщина  $i$ -го пояса;  $p_i$ ,  $r$  – соответственно, расчетное значение внутреннего давления в  $i$ -м поясе и радиус срединной поверхности резервуара;  $n$ ,  $t$  – соответственно число поясов и время пребывания резервуара в эксплуатации;  $\psi_i(t)$  – поправка, учитывающая возможное изменение несущей способности  $i$ -го пояса вследствие усталостных повреждений, возникающих в нем под воздействием циклического заполнения резервуара нефтепродуктом;  $v_i(t)$  – поправка, учитывающая возможное изменение прочности  $i$ -го пояса вследствие его повреждений коррозией;  $\varepsilon_i(t)$  – поправка, учитывающая возможное изменение толщины  $i$ -го пояса вследствие коррозионного износа;  $\sigma_1 [\delta_{\min}(t)]$ ,  $\sigma_2 [\delta_c(t)]$  – текущие значения, соответственно меридиональных и кольцевых напряжений, возникающих в стенке от продольных и радиальных внешних нагрузок [7];  $\sigma_{cr1} [\delta_{\min}(t)]$ ,  $\sigma_{cr2} [\delta_c(t)]$  – критические значения напряжений при сжатии соответственно, в осевом и радиальном направлении [7];  $\delta_{\min}(t)$  – текущее значение минимальной толщины цилиндрической стенки

$$\delta_{\min}(t) = \min [\delta_{i0} - \varepsilon_i(t)], \quad i = \overline{1, n};$$

$\delta_c(t)$  – текущее значение средней толщины цилиндрической стенки

$$\delta_c(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\delta_{i0} - \varepsilon_i(t)];$$

$\xi_i(t)$  – поправка, учитывающая изменение глубины локальных коррозионных повреждений  $i$ -го пояса;  $\Delta_i^-$  – величина отрицательного допуска на толщину листового проката [4], используемого при изготовлении  $i$ -го пояса.

На протяжении всего срока службы нефтяных резервуаров в рамках действующей системы технического обслуживания и ремонтов производится периодическое восстановление работоспособности их стальных конструкций. Тем самым техническое состояние конструктивных элементов резервуаров в процессе эксплуатации не только ухудшается вследствие физического износа, но и улучшается.

В моделях эксплуатационного состояния резервуарных конструкций данное обстоятельство можно учесть посредством должной коррекции поправок, отражающих влияние фактора эксплуатационной повреждаемости на их работоспособность. Применительно к цилиндрической стенке возможно как полное и частичное восстановление, так и усиление ее поясов.

В зависимости от предыстории ремонтно-восстановительных мероприятий поправки  $\varepsilon_i(t)$ ,  $\xi_i(t)$ ,  $v_i(t)$ ,  $\psi_i(t)$  в моделях (1)–(3) могут быть определены следующим образом.

1. Если на протяжении времени  $t$  восстановление поясов цилиндрической стенки вообще не производилось, то указанные поправки согласно [3] определяются по формулам:

$$\varepsilon_i(t) = \int_0^t u_i dt; \quad (4)$$

$$\xi_i(t) = \int_0^t V_i dt; \quad (5)$$

$$v_i(t) = \exp\left(-\frac{\beta_i \varepsilon_i(t)}{k_{pi} \delta_{i0}}\right), \quad (6)$$

$$\psi_i(t) = \psi_i^*(t), \quad (7)$$

где  $u_i$ ,  $V_i$  – скорости соответственно поверхностной и локальной коррозии  $i$ -го пояса, определяемые по модели Э. М. Гутмана [8]

$$u_i = u_0 \exp[\bar{k} \sigma_i(t)];$$

$$V_i = V_0 \exp[\hat{k} \sigma_i(t)];$$

$u_0, V_0$  – скорости соответственно поверхностной и локальной коррозии ненапряженного металла, рассматриваемые как случайные величины, статистические характеристики которых определяются по данным натурных обследований резервуаров;

$\sigma_i(t)$  – текущее значение напряжений в  $i$ -м поясе;  $\bar{k}, \hat{k}$  – адаптационные параметры моделей скорости коррозии, определяемые путем статистической обработки данных натурных обследований резервуаров;  $\beta_i, k_{pi}$  – коэффициенты соответственно шероховатости и питтингообразования  $i$ -го пояса [3];  $\psi_i^*(t)$  – текущее значение коэффициента подрастания трещиновидных дефектов, гипотетически имеющих в  $i$ -м поясе, которое определяется по табличным данным [3] в зависимости от рас-

четного количества циклов нагружения и разности напряжений в  $i$ -м поясе при максимальном и минимальном уровнях залива резервуара нефтепродуктом.

2. Если на протяжении времени  $t$  производились только частичные восстановления  $i$ -го пояса, то поправки  $\varepsilon_i(t)$ ,  $v_i(t)$  и  $\psi_i(t)$  определяются по формулам (4), (6) и (7), а поправка  $\xi_i(t)$  вычисляется так

$$\xi_i(t) = \int_{\tau_i^q}^t V_i dt, \quad (8)$$

где  $\tau_i^q$  – момент проведения последнего частичного восстановления  $i$ -го пояса.

3. Если на протяжении времени  $t$  производились полные и возможно частичные восстановления  $i$ -го пояса, то

$$\varepsilon_i(t) = \int_{\tau_i^n}^t u_i dt, \quad (9)$$

$$\xi_i(t) = \int_{\tau_i^*}^t V_i dt, \quad (10)$$

$$v_i(t) = \exp\left(-\frac{\beta_i \int_{\tau_i^n}^t u_i dt}{k_{pi} \delta_{i0}}\right), \quad (11)$$

$$\psi_i(t) = \psi_i^*(t - \tau_i^n), \quad (12)$$

где  $\tau_i^n$  – момент проведения последнего полного восстановления  $i$ -го пояса, а

$$\tau_i^* = \max(\tau_i^q, \tau_i^n).$$

4. Если на протяжении времени  $t$  производилось усиление и возможно частичные восстановления  $i$ -го пояса, то поправки  $\xi_i(t)$ ,  $v_i(t)$  и  $\psi_i(t)$  определяются по (5)–(7), а поправка  $\varepsilon_i(t)$  имеет вид

$$\varepsilon_i(t) = \int_0^t u_i dt - \Delta_i^y, \quad (13)$$

где  $\Delta_i^y$  – приведенная толщина конструкций усиления  $i$ -го пояса, зависящая от выбранной технологии усиления.

5. Если на протяжении времени  $t$  применялись все способы восстановления  $i$ -го пояса, то при  $\tau_i^y < \tau_i^\Pi$  ( $\tau_i^y$  – момент производства усиления  $i$ -го пояса) поправки  $\varepsilon_i(t)$ ,  $\xi_i(t)$ ,  $v_i(t)$ ,  $\psi_i(t)$  определяются по формулам (9)–(12), а при  $\tau_i^y > \tau_i^\Pi$  поправки  $\xi_i(t)$ ,  $v_i(t)$ ,  $\psi_i(t)$  определяются по тем же формулам, а  $\varepsilon_i(t)$  имеет следующий вид:

$$\varepsilon_i(t) = \int_{\tau_i^\Pi}^t u_i dt - \Delta_i^y. \quad (14)$$

Узел сопряжения цилиндрической стенки с днищем (уторный узел) в период эксплуатации должен отвечать требованиям прочности и герметичности. Принимая во внимание нормативные документы [2; 3], модель эксплуатационного состояния этого конструктивного элемента можно сформулировать в виде следующей системы неравенств:

$$\gamma_c \psi_x(t) v_x(t) R_{y1} [\delta_{10} - \varepsilon_x(t)]^2 - 6M_0(t) \geq 0, \quad (15)$$

$$\delta_{10} - \xi_x(t) - \Delta_1^- \geq 0, \quad (16)$$

где  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы, согласно [2] принимаемый равным  $\gamma_c = 1,22$ , (в [1] показано, что этим коэффициентом в нормах [2] учитывается возможная начальная дефектность уторного узла и развития в нем умеренных пластических деформаций);  $R_{y1}$ ,  $\delta_{10}$  – соответственно, расчетное сопротивление и проектная толщина нижнего пояса;  $\psi_x(t)$ ,  $v_x(t)$ ,  $\varepsilon_x(t)$  и  $\xi_x(t)$  – поправки, отражающие фактор эксплуатационной повреждаемости нижнего пояса в зоне краевого эффекта, имеющие тот же смысл, что и поправки  $\psi_i(t)$ ,  $v_i(t)$ ,  $\varepsilon_i(t)$  и  $\xi_i(t)$  в (1);  $M_0(t)$  – текущее значение изгибающего момента в точках сопряжения нижнего пояса стенки с днищем, определяемое по известной методике [6].

В процессе эксплуатации возможны полные и частичные восстановления уторного узла. Поправки  $\varepsilon_x(t)$ ,  $\xi_x(t)$ ,  $v_x(t)$  и  $\psi_x(t)$  в моделях (15) и (16) зависят от предыстории восстановлений и в общем случае могут быть определены по следующим формулам:

$$\varepsilon_x(t) = \int_{\tau_x^\Pi}^t u_x dt, \quad (17)$$

$$\xi_x(t) = \int_{\tau_x^*}^t V_x dt, \quad (18)$$

$$v_x(t) = \exp\left(-\frac{\beta_x \varepsilon_x(t)}{k_{px} \delta_{10}}\right), \quad (19)$$

$$\psi_x(t) = \psi_1^*(t - \tau_x^\Pi), \quad (20)$$

где  $u_x$ ,  $V_x$  – скорости соответственно поверхностной и локальной коррозии в зоне краевого эффекта, определяемые аналогично скоростям коррозии  $u_i$  и  $V_i$  в (4), (5);

$$\tau_x^* = \max(\tau_x^\Pi, \tau_x^q),$$

$\tau_x^q$  – момент проведения последнего частичного восстановления уторного узла (если за время эксплуатации  $t$  данный конструктивный элемент вообще не восстанавливается, то  $\tau_x^* = 0$ ).

Условие герметичности днища в процессе эксплуатации определяется исходя из требования отсутствия сквозных повреждений и связанного с ним ограничения на минимально допустимую толщину листов, которая регламентируется действующими нормами [2]. Это условие можно сформулировать в виде следующей системы неравенств:

$$\delta_{d0} - \varepsilon_d(t) - \xi_d(t) - \Delta_d^- \geq 0, \quad (21)$$

$$\delta_{d0} - \varepsilon_d(t) - \delta_d^- \geq 0, \quad (22)$$

где  $\delta_{d0}$  – проектное значение толщины листов днища;  $\delta_d^-$  – минимально допустимая остаточная толщина листов днища, определяемая по [2];  $\Delta_d^-$  – величина отрицательного допуска на толщину листового проката [4];  $\varepsilon_d(t)$  – поправка, отражающая возможное изменение толщины листов днища вследствие коррозионного износа;  $\xi_d(t)$  – поправка, определяющая глубину локальных коррозионных повреждений листов днища.

Аналогично (21)–(22) записывается условие герметичности кровли в процессе эксплуатации

$$\delta_{k0} - \varepsilon_k(t) - \xi_k(t) - \Delta_k^- \geq 0 \quad (23)$$

$$\delta_{k0} - \varepsilon_k(t) - \delta_k^- \geq 0, \quad (24)$$

где все обозначения имеют тот же смысл, что и в модели (21)–(22), но относятся к листам настила кровли.

В процессе эксплуатации возможны полные и частичные восстановления днища и кровли. Поправки  $\varepsilon_d(t)$ ,  $\xi_d(t)$ ,  $\varepsilon_k(t)$  и  $\xi_k(t)$ , отражающие в моделях (21)–(24) фактор эксплуатационной повреждаемости, зависят от предыстории ремонтно-восстановительных мероприятий и в общем случае могут быть определены следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_d(t) &= \int_{\tau_d^{\Pi}}^t u_d dt \\ \xi_d(t) &= \int_{\tau_d^*}^t V_d dt; \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_k(t) &= \int_{\tau_k^{\Pi}}^t u_k dt, \\ \xi_k(t) &= \int_{\tau_k^*}^t V_k dt, \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

где  $u_d$ ,  $V_d$ ,  $u_k$ ,  $V_k$  – скорости соответственно необратимого и локального коррозионного износа листов днища и настила кровли, рассматриваемые как случайные величины, статистические характеристики которых определяются по данным натурных обследований нефтяных резервуаров;  $\tau_d^{\Pi}$ ,  $\tau_k^{\Pi}$  – моменты последнего полного восстановления, соответственно, днища и кровли (если за время эксплуатации  $t$  такое восстановление не производилось, то  $\tau_d^{\Pi} = \tau_k^{\Pi} = 0$ );

$$\tau_d^* = \max(\tau_d^{\Pi}, \tau_d^{\text{ч}});$$

$\tau_d^{\text{ч}}$  – момент последнего частичного восстановления днища (если за время эксплуатации  $t$  восстановление днища вообще не производилось, то  $\tau_d^* = 0$ );

$$\tau_k^* = \max(\tau_k^{\Pi}, \tau_k^{\text{ч}});$$

$\tau_k^{\text{ч}}$  – момент последнего частичного восстановления кровли (если за время эксплуатации  $t$  восстановление кровли вообще не производилось, то  $\tau_k^* = 0$ );

Модели (1)–(26) составляют методологическую основу для вероятностного анализа эксплуатационного состояния резервуарных конструкций. Ниже рассматриваются модели, определяющие вероятности сохранения прочности,

устойчивости и герметичности, а также вероятности безотказной работы основных конструктивных элементов нефтяных резервуаров в процессе эксплуатации от момента последнего восстановления до текущего момента времени  $t$ .

Вероятность сохранения прочности  $i$ -го пояса цилиндрической стенки в процессе эксплуатации определяется вероятностью выполнения  $i$ -го неравенства системы (1) в момент времени  $t$ . Эту вероятность можно представить в виде интеграла

$$P_i^{\Pi}(t) = \int_0^{u_i^*} f(u_0) du_0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (27)$$

где  $f(u_0)$  – плотность распределения вероятностей случайной величины  $u_0$ , а верхний предел интегрирования  $u_i^*$  находится из уравнения

$$\eta_i R_{yi} \psi_i(t) v_i(t) [\delta_{i0} - \varepsilon_i(t)] - p_i r = 0, \quad (28)$$

решаемого относительно  $u_0$  при фиксированном значении  $t$ .

Аналогично (27) определяются вероятности сохранения устойчивости цилиндрической стенки и прочности уторного узла в процессе эксплуатации

$$P_{\text{ст}}^y(t) = \int_0^{u^*} f(u_0) du_0, \quad (29)$$

$$P_x^{\Pi}(t) = \int_0^{u_x^*} f(u_0) du_0, \quad (30)$$

где  $u^*$ ,  $u_x^*$  – это положительные корни уравнений соответственно

$$1 - \frac{\sigma_1 [\delta_{\min}(t)]}{\sigma_{cr1} [\delta_{\min}(t)]} - \frac{\sigma_2 [\delta_c(t)]}{\sigma_{cr2} [\delta_c(t)]} = 0 \quad (31)$$

и

$$\gamma_c \psi_x(t) v_x(t) R_{y1} [\delta_{l0} - \varepsilon_x(t)]^2 - 6M_0(t) = 0, \quad (32)$$

решаемых относительно  $u_0$  при фиксированном значении  $t$ .

Вероятность сохранения прочности цилиндрической стенки в процессе эксплуатации определяется вероятностью выполнения всех  $n$  неравенств системы (1) в текущий момент времени. Учитывая то, что левые части данных неравенств являются функциями одной и той же случайной величины  $u_0$ , эту вероятность можно найти по формуле

$$P_{\text{ст}}^{\Pi}(t) = \int_0^{u_c^*} f(u_0) du_0, \quad (33)$$

где верхний предел интегрирования  $u_c^*$  – это минимальный из корней уравнений

$$\eta_i R_{yi} v_i(t) [\delta_{i0} - \varepsilon_i(t)] - p_i r = 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (34)$$

решаемых относительно  $u_0$  при фиксированном значении  $t$ .

Из (33) легко видеть, что с уменьшением верхнего предела интегрирования уменьшается вероятность  $P_{\text{ст}}^{\Pi}(t)$ . Это значит, что при величине этого предела равной  $u_c^*$  достигается наименьшая вероятность сохранения прочности поясов цилиндрической стенки в текущий момент времени. Отсюда следует равенство

$$P_{\text{ст}}^{\Pi}(t) = \min P_i^{\Pi}(t), \quad i = \overline{1, n}. \quad (35)$$

Тем самым вероятность сохранения прочности цилиндрической стенки в процессе эксплуатации определяется в соответствии с моделью наислабейшего звена [9], если в качестве звеньев рассматривать пояса стенки. Эта же модель наислабейшего звена справедлива при определении вероятности сохранения прочности всего (включая безмоментную и моментную зоны) корпуса резервуара в процессе эксплуатации

$$P_{\text{кор}}^{\Pi}(t) = \min [P_{\text{ст}}^{\Pi}(t), P_x^{\Pi}(t)]. \quad (36)$$

Аналогично (27), (30), (35) и (36) записываются вероятности сохранения герметичности отдельных поясов, уторного узла, цилиндрической стенки и корпуса резервуара в процессе эксплуатации

$$\left. \begin{aligned} P_i^{\Gamma}(t) &= \int_0^{V_i^*} f(V_0) dV_0, \quad i = \overline{1, n}, \\ P_x^{\Gamma}(t) &= \int_0^{V_x^*} f(V_0) dV_0; \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{ст}}^{\Gamma}(t) &= \min P_i^{\Gamma}(t), \quad i = \overline{1, n}, \\ P_{\text{кор}}^{\Gamma}(t) &= \min [P_{\text{ст}}^{\Gamma}(t), P_x^{\Gamma}(t)], \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

где  $f(V_0)$  – плотность распределения вероятностей случайной величины  $V_0$ , а  $V_i^*$  и  $V_x^*$  – корни уравнений соответственно

$$\left. \begin{aligned} \delta_{i0} - \xi_i(t) - \Delta_i^- &= 0; \\ \delta_{i0} - \xi_x(t) - \Delta_i^- &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (39)$$

решаемых относительно  $V_0$  при фиксированном значении  $t$ .

Вероятность сохранения герметичности днища резервуара в процессе эксплуатации определяется вероятностью выполнения системы неравенства (21)–(22) в момент времени  $t$ . Эту вероятность можно представить в виде интеграла

$$P_{\text{дн}}^{\Gamma}(t) = \iint_{D_{\text{д}}} f(u_{\text{д}}) f(V_{\text{д}}) du_{\text{д}} dV_{\text{д}}, \quad (40)$$

где область интегрирования  $D_{\text{д}}$  описывается системой ограничений (21)–(22).

Аналогично (40) определяется вероятность сохранения герметичности кровли резервуара в процессе эксплуатации

$$P_{\text{кр}}^{\Gamma}(t) = \iint_{D_{\text{к}}} f(u_{\text{к}}) f(V_{\text{к}}) du_{\text{к}} dV_{\text{к}}, \quad (41)$$

где область интегрирования  $D_{\text{к}}$  описывается системой ограничений (23)–(24).

Рассматривая скорости коррозии  $u_0$ ,  $V_0$ ,  $u_{\text{д}}$ ,  $V_{\text{д}}$ ,  $u_{\text{к}}$  и  $V_{\text{к}}$  как независимые случайные величины и принимая во внимание соотношения (27)–(41), вероятности безотказной работы  $i$ -го пояса  $P_i(t)$ , уторного узла  $P_x(t)$ , цилиндрической стенки  $P_{\text{ст}}(t)$ , корпуса резервуара  $P_{\text{кор}}(t)$ , днища  $P_{\text{дн}}(t)$ , кровли  $P_{\text{кр}}(t)$  и всего резервуара  $P_{\text{р}}(t)$  в процессе эксплуатации от момента последнего восстановления до текущего момента времени можно определить следующим образом:

$$P_i(t) = P_i^{\Pi}(t) P_i^{\Gamma}(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad (42)$$

$$P_x(t) = P_x^{\Pi}(t) P_x^{\Gamma}(t), \quad (43)$$

$$P_{\text{ст}}(t) = \min [P_{\text{ст}}^{\Pi}(t), P_{\text{ст}}^{\Gamma}(t)] P_{\text{ст}}^{\Gamma}(t), \quad (44)$$

$$P_{\text{кор}}(t) = \min [P_{\text{ст}}^{\Pi}(t), P_{\text{ст}}^{\Gamma}(t), P_x^{\Pi}(t)] \times \times \min [P_{\text{ст}}^{\Gamma}(t), P_x^{\Gamma}(t)], \quad (45)$$

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{дн}}(t) &= P_{\text{дн}}^{\Gamma}(t); \\ P_{\text{кр}}(t) &= P_{\text{кр}}^{\Gamma}(t), \end{aligned} \right\} \quad (46)$$

$$P_{\text{р}}(t) = P_{\text{кор}}(t) P_{\text{дн}}(t) P_{\text{кр}}(t). \quad (47)$$

Заметим, что приведенные выше модели (1)–(26) описывают эксплуатационное состояние основных конструктивных элементов стальных

резервуаров в терминах случайных функций, модели (27)–(41) позволяют с позиций прочности, устойчивости и герметичности дать вероятностную оценку эксплуатационного состояния резервуарных конструкций, а модели (42)–(47) отражают изменение во времени их эксплуатационной надежности.

### Выводы

Предложенные модели эксплуатационной надежности резервуарных конструкций дают обобщенную оценку влияния факторов начальной дефектности, эксплуатационной повреждаемости и восстановления на несущую способность нефтяных резервуаров. Параметры этих моделей могут уточняться по данным натурных обследований, что повышает точность прогноза в каждом отдельном случае. Кроме того, данные модели могут быть полезны при решении разнообразных задач технической диагностики и управления надежностью нефтяных резервуаров в процессе эксплуатации.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоров Е. А. Исследования и методы расчетной оценки прочности, устойчивости и остаточного

- ресурса стальных резервуаров, находящихся в эксплуатации. – Д.: Навч. кн., 2002. – 95 с.
2. ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації / Держбуд України. – К.: Укрнафтопродукт, 1995. – 46 с.
3. Правила технічної експлуатації резервуарів та інструкції по їх ремонту // Доповнення та зміни. – К.: Укрнафтопродукт, 1997. – 297 с.
4. ГОСТ 19903-74. Сталь листовая горячекатаная. Сортамент. – М.: Изд-во Стандартов, 1974. – 16 с.
5. Овчинников И. Г. Эксплуатационная надежность и оценка состояния резервуарных конструкций / И. Г. Овчинников, Н. Б. Кудайбергенов, А. А. Шеин. – Саратов: СГТУ, 1999. – 316 с.
6. Лессиг Е. Н. Листовые конструкции / Е. Н. Лессиг, А. Ф. Лилеев, А. Г. Соколов. – М.: Стройиздат, 1970. – 480 с.
7. СНиП 11-23-81. Стальные конструкции. Нормы проектирования. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
8. Гутман Э. М. Прочность газопромысловых труб в условиях коррозионного износа. – М.: Недра, 1983. – 150 с.
9. Капур К. Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон. – М.: Мир, 1980. – 604 с.

Поступила в редколлегию 05.12.2005.

Н. Н. СЕНДЕЦКИЙ (Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники Вооруженных сил Украины)

## **ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ МОБИЛЬНОСТИ КОМПЛЕКСА ДЛЯ СБОРКИ И УКЛАДКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ**

Розглядається теоретичне обґрунтування критерію ефективності формування збирально-укладальних комплексів з подальшою розробкою методики вибору технічних засобів.

Рассматривается теоретическое обоснование критерия эффективности формируемых сборочно-укладочных комплексов с последующей разработкой методики выбора технических средств.

The article considers theoretical grounds for efficiency criterion of assembly-making/laying complexes being formed, with subsequent development of methods of technical means selection.

Важнейшей особенностью современных условий совершенствования Государственной специальной службы транспорта (ГССТ) является необходимость приведения их возможностей в соответствие с условиями и характером выполнения заданий по восстановлению и строительству железных дорог. Для достижения поставленной цели необходимо добиться более высокого уровня технической оснащенности частей и подразделений. В ходе реформирования предстоит сократить номенклатуру технических средств и их количество, заменить устаревшие образцы на современные машины и механизмы, провести качественное изменение в оснащении ГССТ техникой на основе внедрения новых современных образцов универсальных мобильных машин.

В соответствии с «Программой формирования и строительства Госспецтрансслужбы до 2015 года» определено укрепить роль и место Госспецтрансслужбы в системе военной организации государства, обеспечение эффективного функционирования национальной транспортной системы Украины, завершение технического перевооружения службы [1].

Поэтому необходимость создания отдельных мобильных железнодорожных отрядов позволит выполнять весь комплекс восстановительных работ. Данные отряды должны быть сформированы по модульному принципу и иметь высокопроизводительную технику для проведения скоростного строительства и восстановления транспортных коммуникаций. Задание обеспечения подразделений ГССТ машинами, в полной мере отвечающими военно-техническим требованиям, в настоящее время решена не в полном объеме. По-прежнему важным остается вопрос оснащения путевых отрядов средствами для сборки и укладки железнодорожного пути.

В настоящее время на вооружении путевых отрядов состоят средства для механизации звеньевым способом производства работ, наиболее характерного при капитальном ремонте и строительстве железных дорог. В условиях же восстановления будут применяться и другие способы, например, раздельный или комбинированный. Однако для их эффективной реализации в ГССТ отсутствует необходимое техническое обеспечение.

Устранение данного несоответствия, а в конечном счете — выработка обоснованных предложений по комплектованию путевых отрядов техникой, определяет актуальность настоящей статьи.

Наиболее эффективным решением является комплексный подход к оснащению ГССТ машинами и механизмами, в зависимости от сложившихся условий, используемыми при различных технологических способах ведения работ. Создание эффективных сборочно-укладочных комплексов возможно на основе разработки научной методики их формирования. Такая методика должна быть универсальной и, в то же время, иметь узкую направленность с целью выявления и учета большого числа факторов, влияющих на выполнение работ.

С учетом вышеизложенного решается следующая научная задача: теоретическое обоснование критерия эффективности формируемых сборочно-укладочных комплексов с последующей разработкой методики выбора технических средств, проверкой ее эффективности и работоспособности.

Подход к вопросу наиболее эффективного оснащения частей техническими средствами можно представить себе как выбор наилучших вариантов машин (комплексов) по конструктивным и технологическим показателям.

Выбор предполагает наличие двух необходимых основных элементов: параметров, варьированием которых получают различные варианты создаваемой структуры, и критерия сравнения, позволяющего указать лучший из выбранных вариантов.

Формализация задачи оптимального проектирования структуры состоит в математическом описании основных элементов процесса выбора (варьируемых параметров и критерия), связей и ограничений, налагаемых на значения параметров, т. е. построение математической модели. Итак, прежде всего, должен быть выделен некоторый набор показателей:  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ , значения которых определяют создаваемую структуру.

Набор  $r$  чисел  $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$  может быть представлен точкой в  $r$  – мерном евклидовом пространстве  $E^r$ , тогда условия и ограничения, накладываемые на показатели, зададут некоторую область  $G \in E^r$ , которой точка  $\alpha$  должна принадлежать.

Критерий, по которому сравниваются варианты, например:  $\alpha_1 = (\alpha_{11}, \alpha_{12}, \dots, \alpha_{1n})$  и  $\alpha_2 = (\alpha_{21}, \alpha_{22}, \dots, \alpha_{2n})$  представляется в виде числовой функции  $\Phi(\alpha) = \Phi(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$  от  $r$  переменных, причем считается, что  $\alpha_1$  лучше  $\alpha_2$ , если  $\Phi(\alpha_1) > \Phi(\alpha_2)$ . Таким образом, задача поиска наилучшего варианта, т. е. выбора наилучшей комбинации показателей  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$  состоит в поиске такой точки (вектора)  $\alpha^* \in G$ , в которой функция  $\Phi$  достигает максимума, т. е.:

$$\Phi(\alpha^*) \rightarrow \max \Phi(\alpha), \quad \alpha \in G.$$

В общем случае для того, чтобы найти оптимальный вариант, необходимо в процессе постановки задачи учесть три вида ограничений-параметрические, функциональные и критериальные.

Параметрические ограничения имеют вид

$$\alpha_j^* \leq \alpha_j \leq \alpha_j^{**} \quad j=1, r, \quad (1)$$

где  $\alpha_j^*$  – худшее значение параметра;  $\alpha_j^{**}$  – лучшее значение параметра.

Функциональные ограничения можно записать в виде

$$C_1^* \leq f_1(\alpha) \leq C_1^{**}, \quad 1=1, t, \quad (2)$$

где  $f_1(\alpha)$  – функция от  $\alpha$ ,  $C_1^*, C_1^{**}$  – ограничения нормативного вида, нарушать которые чаще всего просто нельзя.

Имеются локальные критерии качества – производительность, энергоемкость и т. д. Эти критерии при прочих равных условиях всегда стремятся экстремизировать. Чтобы избежать ситуации, когда значения отдельных критериев становятся недопустимо плохими, необходимо ввести критериальные ограничения:

$$\Phi_v(\alpha) \leq \Phi_v^{**}, \quad v=1, k, \quad (3)$$

где  $\Phi_v^{**}$  – худшее значение критерия  $\Phi_v(\alpha)$ , которое может быть получено.

Разница между критериальными и функциональными ограничениями состоит в том, что значения первых не являются жесткими они зависят от физического смысла критериев и могут пересматриваться в процессе решения задачи.

Перечисленные ограничения (1)–(3) выделяют допустимое множество  $D$ . Т. е. множество вариантов  $\alpha^i$  решения, удовлетворяющих этим ограничениям, так что  $D \subset G$ .

Требуется найти такое множество  $P \subset D$ , для которого

$$\Phi(P) = \min \Phi(\alpha), \quad \alpha \in D, \quad (4)$$

где  $\Phi(\alpha) = [\Phi_1(\alpha), \dots, \Phi_k(\alpha)]$  – вектор критериев.

После решения данной задачи должен быть определен вектор  $\alpha^0 \in P$ , являющийся наиболее предпочтительным из всех векторов множества  $P$ . В тех случаях когда не все основные критерии качества могут быть формализованы, оптимальное решение следует искать на всем множестве  $D$ .

Итак, в общем виде математической моделью выбора оптимального состава технических средств можно считать совокупность целевой функции (критерия)  $\Phi(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$  и ограничений. Задача оптимального проектирования состоит в выборе вектора  $\alpha^*$ , удовлетворяющего всем ограничениям и максимизирующего функцию  $\Phi(\alpha)$  [2].

Предложенный алгоритм предполагает решение ряда частных задач с привлечением математического аппарата.

На основании военно-технических требований к средствам для восстановления железных дорог, необходимо определить номенклатуру показателей качества и параметров для проведения сравнительного анализа по выбранному критерию эффективности.



Определение значений показателей качества позволяет установить параметры комплексов, влияющие на величину критерия эффективности и подлежащие рассмотрению при сравнительном анализе.

Параметром можно считать любую постоянную для данной машины величину, которая характеризует существенное свойство, отличающее машину или процесс от других им подобных. Иначе говоря, параметры машины являются числовыми характеристиками их качеств, выделяющими конкретную машину (комплекс) из множества типов и определяющими эффективность использования ее в конкретных условиях.

Проанализировав работы военных авторов [2–5], дающих оценку техническим средствам по определенным свойствам, несложно прийти к выводу, что все они едины в определении важнейших свойств техники ГССТ: производительность, мобильность, универсальность, надежность, экономичность, удельная энергоемкость, уровень механизации, удельная трудоемкость. Таким образом, анализ комплексов в настоящей статье проводится по 8 определенным показателям, а критерий эффективности в общем виде можно выразить как:

$$K^* = f(P, M, K_y, K_n, K_m, ПЗУ, N, Э) \rightarrow \max, \quad (5)$$

где  $P$  – сменная производительность (м/смену);  $M$  – показатель мобильности (ч);  $K_y$  – коэффициент универсальности;  $K_n$  – коэффициент надежности;  $K_m$  – коэффициент, характеризующий уровень механизации;  $ПЗУ$  – приведенные затраты на укладку 1 км пути;  $N$  – удельная трудоемкость работ (чел. дн.);  $Э$  – удельная энергоемкость.

Среди данных показателей и параметров есть детерминированные и вероятностные величины. С целью получения количественных значений, важно иметь частные методики их определения.

Определение численных значений частных показателей комплексов связано с констатацией детерминированных и получением прогнозируемых данных. Их источниками могут служить результаты расчетов, испытаний, использования машин, проведения учений и экспериментальных работ по созданию новой техники.

Из восьми принятых частных показателей рассмотрим определение показателя мобильности (самоходного мобильного путеукладчика).

Под показателем мобильности понимается способность машины (комплекса) переместиться на новый объект и приступить к выполнению задания. В общем показатель мобильности имеет вид

$$M = \frac{M(L)}{M(V)} - t_3 - t_4. \quad (6)$$

Можно проанализировать эффективность данного комплекса по показателю мобильности, устремив  $M$  к  $\min$ .

При определении показателя мобильности для универсального комплекса используем выражение

$$M = \sum M_i \cdot k_j, \quad (7)$$

где  $M_i$  – показатель мобильности каждой ведущей машины;  $K_j$  – коэффициент использования машины в зависимости от способа выполнения работ.

Для расчета показателя мобильности необходимо определиться со степенью влияния случайных величин, входящих в выражение (7). Показатель мобильности является линейной функцией двух случайных величин  $T_0$  и  $L$ , следовательно, легко можно получить дисперсию  $D(M)_{T_0L}$ :

$$M(M) = P \cdot M(T_0) - \frac{P}{V} M(L) - P(t_3 + t_4); \quad (8)$$

$$D(M)_{T_0L} = P^2 D(T_0) - \frac{P^2}{V^2} D(L) + 2 \frac{P^2}{V} \cdot K_{T_0L}, \quad (9)$$

где  $K_{T_0L}$  – корреляционный момент величин  $T_0$  и  $L$ .

Вычисляем по наиболее типичным числовым характеристикам  $T_0$  и  $L$  корреляционный момент  $K_{T_0L}$ .

Коэффициент корреляции величин  $T_0$  и  $L$

$$r_{T_0L} = \frac{K_{T_0L}}{\sigma_{T_0} \sigma_L}.$$

Следовательно, между величинами  $T_0$  и  $L$  имеется положительная корреляция и довольно тесная линейная зависимость.

По определенной дисперсии  $D(M)$  можно определить среднее квадратичное отклонение  $\sigma_M$  и его относительное значение (коэффициент вариации), равное

$$\Delta\sigma_M = \frac{\sigma_M}{M(M)}. \quad (10)$$

Очевидно, что числовые характеристики  $M$  как системы случайных величин  $T_0$  и  $L$  зависят от значений постоянных величин  $\Pi$  и  $V$ .

По данным расчетов можно сделать вывод, что изменения величины производительности не сказываются на величине относительного среднего квадратичного отклонения и это отклонение является сравнительно устойчивым при самых резких колебаниях значений  $\Pi$  и  $V$ .

Следовательно, значения показателя мобильности достаточно устойчивы при колебаниях величин  $T_0$  и  $L$ , поэтому за исходные данные для расчетов можно принимать любые величины  $T_0$  и связанные с ними дальности перемещения машин.

### Вывод

Таким образом, используя методику определения частных показателей (в данном случае мобильности), можно получить их количественные значения для сравнения комплексов между собой и принятия решений.

Вычислив значение  $K^*$  для каждого из них, можно определить расчетное значение эффективности каждого комплекса по отношению к табельному.

Представленная методика позволит с большей эффективностью подойти к формированию табеля к штату путевых отрядов ГССТ. Обоснованные и рассчитанные параметры позволят не только выбирать наиболее эффективные машины, из выпускаемых на сегодняшний день, но и могут быть положены в основу технических заданий на разработку перспективных технических средств.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мальков М. И. Державна спеціальна служба транспорту. – складова частина воєнної організації держави. – К.: // Наука і оборона. – 2004. – № 4. – С. 18.
2. Вентлець Е. С. Исследование операций задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1988. – 206 с.
3. Гермейер Ю. Б. Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука, 1971. – 382 с.
4. Завадскас Э. К. Системотехническая оценка технологических решений строительного производства. – Л.: Стройиздат, 1991. – 256 с.
5. Соболев И. М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И. М. Соболев, Р. Б. Стадников. – М.: Наука, 1981. – 111 с.

Поступила в редколлегию 29.05.2006.

## МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ МЕЖДУ БАЛКАМИ В ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЯХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ ПО ДАННЫМ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Запропонований метод побудови поперечних ліній впливу коефіцієнтів розподілу для прогонових будов автодорожніх мостів за результатами всього однієї установки випробувального навантаження.

Предложен метод построения поперечных линий влияния коэффициентов распределения для пролетных строений автодорожных мостов по результатам всего одной установки испытательной нагрузки.

The article proposes a method of constructing the transversal lines of distribution ratios influence for the span structures of road bridges, based on the results of just one application of tester loading.

Предлагаемый метод применим для плитных и ребристых мостовых балочных пролетных строений с однотипными несущими элементами в поперечном сечении. Именно такие пролетные строения являются самыми массовыми и составляют до 95 % от общего числа эксплуатируемых в Украине пролетных строений автодорожных мостов [1].

Метод, назовем его «условной поперечной балки», отличается от известного способа построения натуральных поперечных линий влияния значительно меньшим числом требуемых установок испытательной нагрузки поперек пролетного строения, а точнее – всего одной. Напомним, что согласно [2] для построения натуральных поперечных линий влияния число установок нагрузки на поперечном сечении проезжей части пролетного строения должно быть не менее 5. При этом установки должны назначаться симметрично относительно оси пролетного строения, а крайние установки – как можно ближе к бордюрам.

Большое число установок, с учетом необходимости их повторов, требует больших затрат времени на проведение испытаний. Закрытие эксплуатируемых сооружений с интенсивным автомобильным движением на длительное время крайне нежелательно, а порой и невозможно. Поэтому следует стремиться к такой организации проведения натуральных испытаний, которая бы позволяла при минимальном числе загрузений (установок) получать достаточно данных для всесторонней оценки работы сооружения под нагрузкой и, в частности, строить поперечные линии влияния коэффициентов распределения усилий между балками (плитами) испытываемого пролета.

Этой цели вполне соответствует предлагаемый метод, позволяющий по результатам измерения вертикальных упругих прогибов поперечного сечения в середине длины испытываемого пролетного строения строить такие линии влияния всего при одном (строго симметричном относительно продольной оси) загрузении пролетного строения испытательной нагрузкой.

Для нахождения коэффициентов распределения усилий между балками (плитами) от внешних нагрузок у пролетных строений с однотипными несущими элементами в поперечном сечении, например, такими, как показано на рис. 1, правомерна расчетная схема пролетного строения, представленная на рис. 2.

В ней в качестве элемента, связующего главные балки (плиты) и распределяющего между ними внешнюю нагрузку, вводится условная поперечная балка постоянной жесткости. Эта условная поперечная балка под воздействием внешней нагрузки работает как балка на упругом (винклеровом) основании. Роль последнего выполняют главные балки (плиты) пролетного строения.

Жесткость  $EI$  условной поперечной балки и коэффициент упругого основания  $k$  можно определить, измерив в натуре вертикальные упругие прогибы по всей ширине поперечного сечения под действием испытательной нагрузки, заранее взвешенной по осям и установленной определенным образом на пролетном строении.

На рис. 1 приведен пример размещения прогибомеров по всей ширине поперечного сечения в середине испытываемого пролетного строения, а на рис. 3 представлена расчетная схема условной поперечной балки на упругом основании и активной (испытательной) и реактивной нагрузок, которые на нее действуют.

Измерив в натуре прогибы поперечного сечения и приведя вес фактической испытательной нагрузки к середине пролета, легко подсчитать коэффициент упругого основания  $k$  по формуле

$$k = \frac{P}{a \int_0^a v(z) dz},$$

где  $P$  – приведенный вес испытательной нагрузки (вертикальная нагрузка в среднем сечении пролетного строения, вызывающая такой же по величине прогиб этого сечения, как и реальная испытательная нагрузка);  $v(z)$  – вертикальный прогиб поперечного сечения, он же вертикальный прогиб условной поперечной балки на упругом основании;  $a$  – ширина поперечного сечения (длина условной поперечной балки).

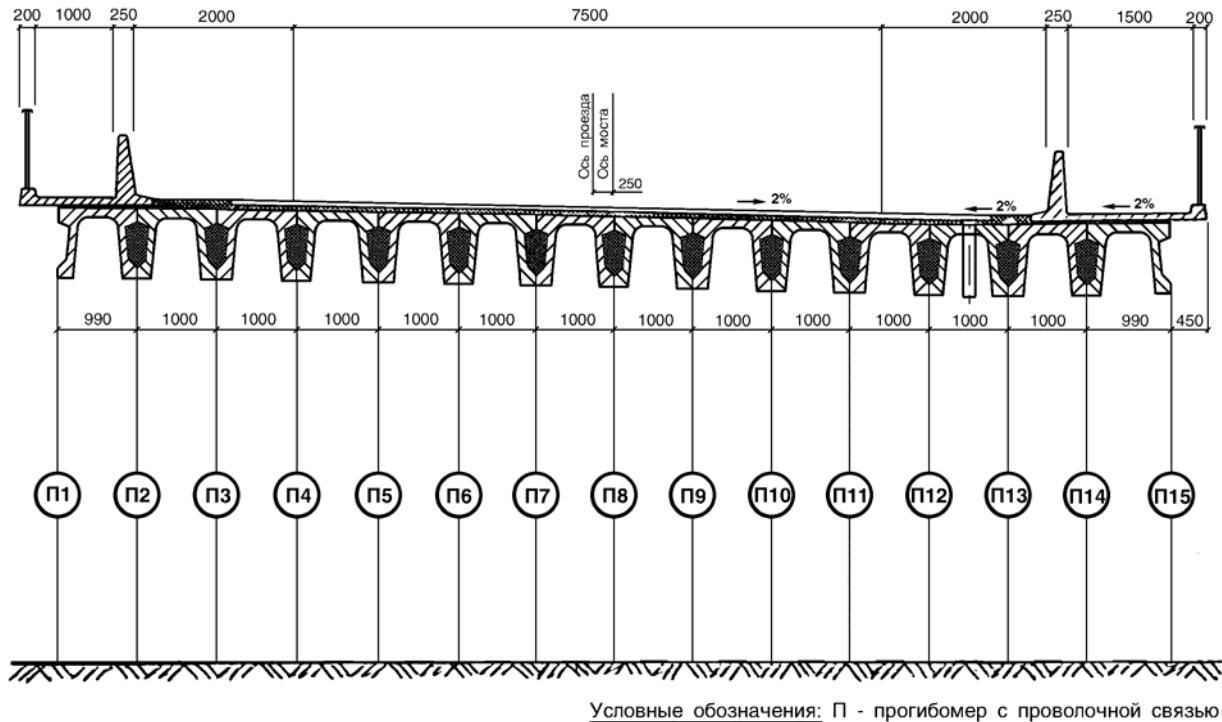


Рис. 1. Поперечное сечение 18-метрового автодорожного пролетного строения (проект ВСК 31-87) и схема установки прогибомеров в середине длины его пролета

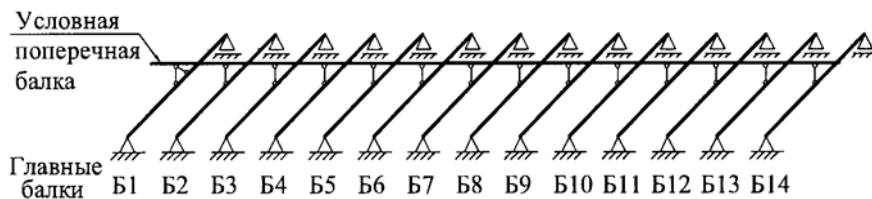


Рис. 2. Расчетная схема пролетного строения

Далее, для нахождения изгибной жесткости  $EI$  условной поперечной балки, удобно используя принцип симметрии, рассчитать прогиб консоли с жесткой заделкой длиной равной половине ширины пролетного строения (или, что тоже самое, половине длины условной поперечной балки), под действием нагрузок, приведенных на рис. 3, в. У консоли известен прогиб  $\Delta$  (берется как разность фактического упругого прогиба середины поперечного сечения пролетного строения и его края), а также значения активной и реактивной нагрузок на консоль. Активная (испы-

тательная) нагрузка равна  $1/2 P$  и направлена вниз. Реактивная нагрузка  $r(z)$  направлена вверх – это реакция винклера основания. Интенсивность ее по длине консоли задана величинами прогибов  $v(z)$ , умноженных на ранее найденный коэффициент упругого основания  $k$ .

Поскольку все нагрузки на консоль уже известны, известен и ее прогиб на конце  $\Delta$ , то постоянная по длине изгибная жесткость  $EI$  методами строительной механики определяется однозначно.

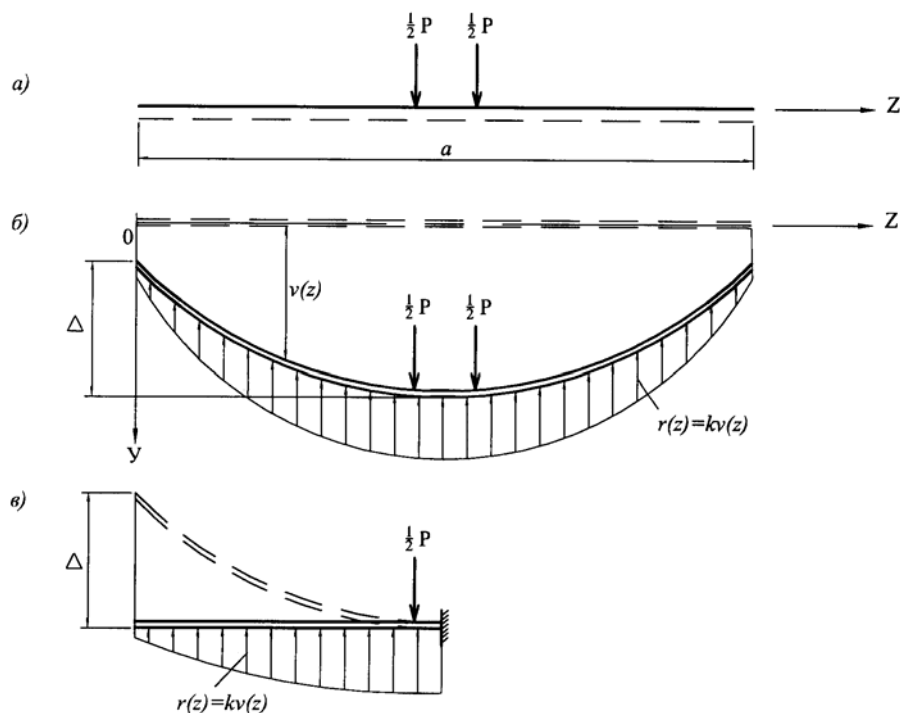


Рис. 3. Расчетная схема условной поперечной балки:

- а – балка конечной длины на упругом основании, симметрично нагруженная приведенной испытательной нагрузкой  $P$ ;  
 б – деформированное состояние балки и силы, которые на нее действуют;  
 в – расчетная схема для определения изгибной жесткости балки  $EI$

Дальнейшие действия сводятся к построению линий влияния прогибов условной поперечной балки на упругом основании для тех ее сечений, где расположены оси главных балок (плит) пролетного строения. Ординаты этих линий влияния, будучи разделенными на сумму ординат под всеми балками в поперечном сечении пролетного строения, дают нам искомые поперечные линии влияния коэффициентов распределения для каждой конкретной

балки (плиты) пролетного строения. Расчет ординат линий влияния удобно выполнять на ЭВМ, используя формулы деформации балки конечной длины на упругом основании [3].

На рис. 4 приведены построенные описанным методом поперечные линии влияния коэффициентов распределения для подвергнутого статическим испытаниям автодорожного пролетного строения длиной 18 м, поперечное сечение которого показано на рис. 1.

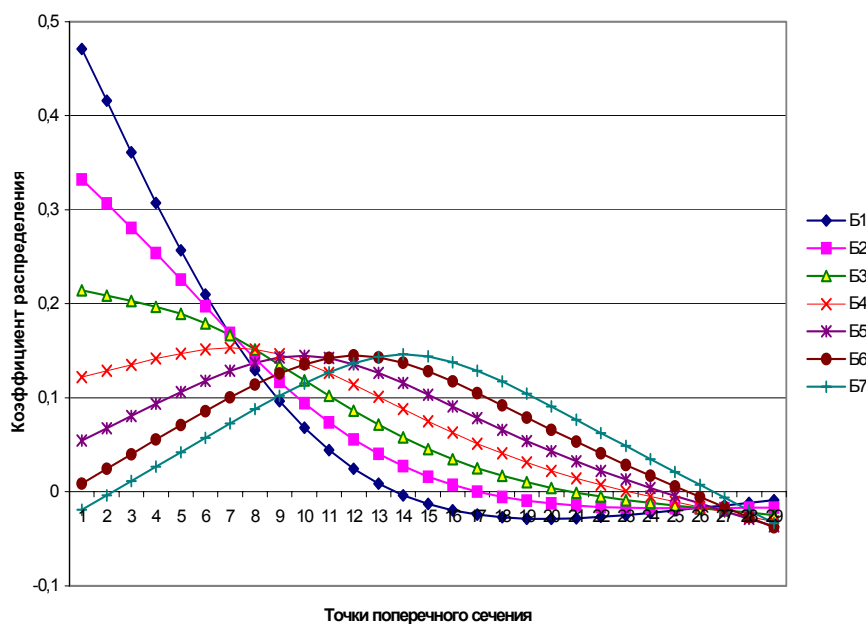


Рис. 4. Поперечные линии влияния коэффициентов распределения для 18-метрового автодорожного пролетного строения (проект ВСК 31-87) с П-образными балками

На рис. 5 и рис. 6 для сравнения приводятся поперечные линии влияния коэффициентов распределения усилий соответственно на балку Б3 и балку Б6 (счет балок в поперечном сечении слева направо), построенные методом

«условной поперечной балки» с натурными поперечными линиями влияния для этих же главных балок.

Как видим, между ними имеет место достаточно хорошее совпадение.

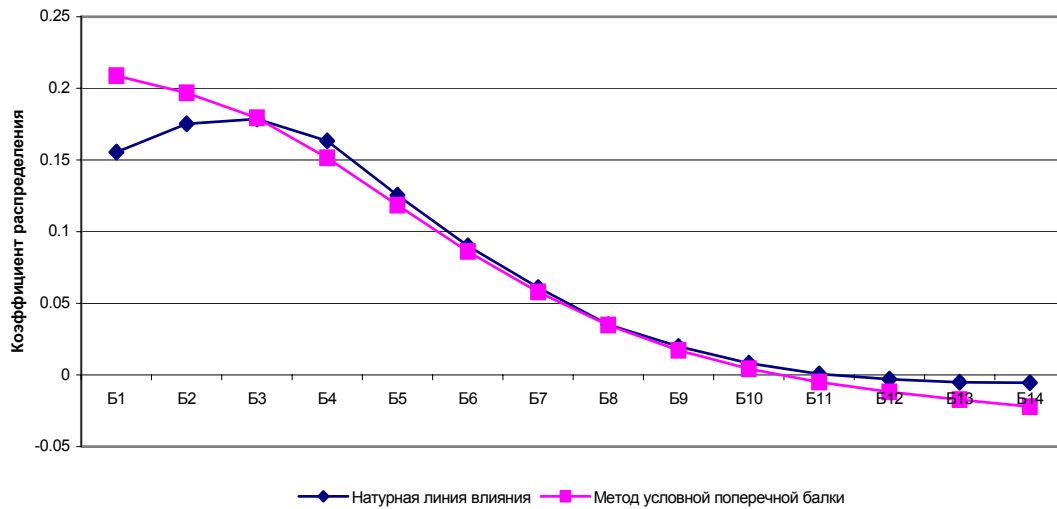


Рис. 5. Сравнение поперечной линии влияния коэффициента распределения усилия на балку Б3, построенной методом «условной поперечной балки», с натурной линией влияния

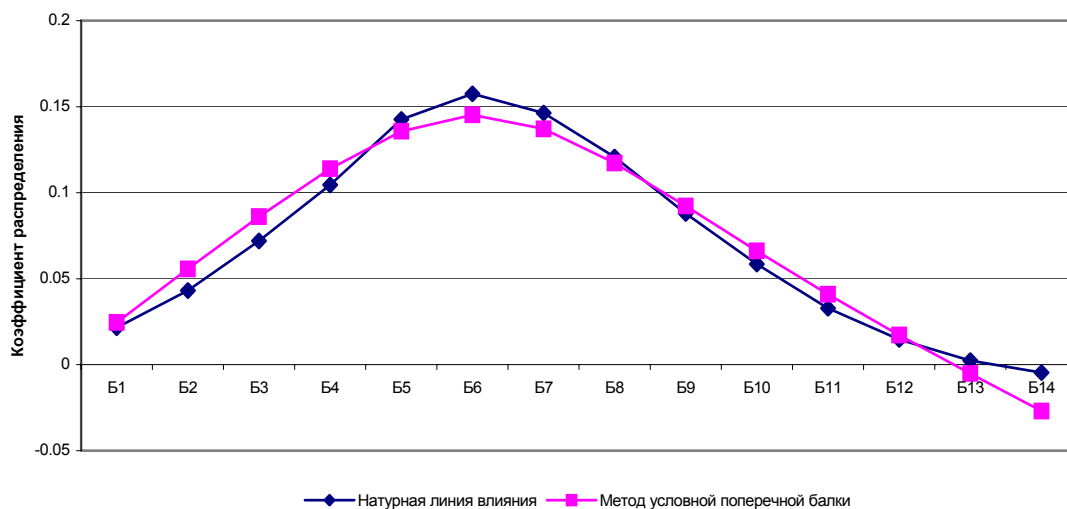


Рис. 6. Сравнение поперечной линии влияния коэффициента распределения усилия на балку Б6, построенной методом «условной поперечной балки», с натурной линией влияния

Предложенный метод удобен для представления результатов в виде матрицы коэффициентов распределения и создания банка данных на все испытанные пролетные строения.

В таблице представлена матрица фактических коэффициентов распределения для подвергнувшегося испытанию пролетного строения длиной 18 м (проект ВСК 31-87) в той форме, которая используется в инструкции [2] для железобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов, коэффициенты распределения по которым получены теоретически пространственным расчетом.

В завершение подчеркнем еще одну положительную особенность предложенного метода, выгодно отличающего от традиционного способа построения натуральных поперечных линий влияния. При традиционном способе возможно построение натуральных поперечных линий влияния лишь для тех главных балок (плит) в поперечном сечении, над осями которых может быть установлена при загрузке сооружения испытательная нагрузка, то есть для тех балок (плит), которые расположены в пределах ширины проезжей части пролетного строения.

**Матрица ординат поперечных линий влияния для пролетного строения с П-образными балками  
длиной 18,0 м (проект ВСК 31-87)**

№ точек	<div><div>№ точек</div><div>1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29</div><div>№ балок</div><div><div>I</div><div>II</div><div>III</div><div>IV</div><div>V</div><div>VI</div><div>VII</div><div>VIII</div><div>IX</div><div>X</div><div>XI</div><div>XII</div><div>XIII</div><div>XIV</div></div></div> <div><div>1000</div></div>																											
	Б-1	Б-2	Б-3	Б-4	Б-5	Б-6	Б-7																					
1	0,471	0,332	0,214	0,122	0,054	0,009	−0,019																					
2	0,416	0,307	0,209	0,129	0,068	0,025	−0,003																					
3	0,361	0,281	0,203	0,135	0,081	0,040	0,012																					
4	0,307	0,254	0,197	0,142	0,094	0,056	0,027																					
5	0,257	0,226	0,189	0,147	0,106	0,071	0,042																					
6	0,210	0,197	0,179	0,151	0,118	0,086	0,058																					
7	0,167	0,169	0,167	0,153	0,129	0,100	0,073																					
8	0,129	0,142	0,152	0,152	0,137	0,114	0,088																					
9	0,096	0,117	0,135	0,146	0,143	0,126	0,102																					
10	0,068	0,094	0,119	0,137	0,145	0,136	0,116																					
11	0,044	0,074	0,102	0,126	0,142	0,142	0,127																					
12	0,025	0,056	0,086	0,114	0,136	0,145	0,137																					
13	0,009	0,040	0,071	0,101	0,127	0,143	0,144																					
14	−0,003	0,027	0,058	0,088	0,116	0,137	0,146																					
15	−0,013	0,016	0,046	0,075	0,104	0,128	0,144																					
16	−0,020	0,007	0,035	0,063	0,091	0,117	0,138																					
17	−0,024	0,000	0,025	0,052	0,078	0,105	0,129																					
18	−0,027	−0,005	0,017	0,041	0,066	0,092	0,117																					
19	−0,028	−0,009	0,010	0,031	0,054	0,079	0,105																					
20	−0,029	−0,012	0,004	0,023	0,043	0,066	0,091																					
21	−0,028	−0,015	−0,001	0,015	0,033	0,053	0,077																					
22	−0,026	−0,016	−0,005	0,008	0,023	0,041	0,063																					
23	−0,024	−0,017	−0,009	0,001	0,013	0,029	0,049																					
24	−0,022	−0,017	−0,012	−0,005	0,004	0,017	0,035																					
25	−0,020	−0,017	−0,015	−0,011	−0,004	0,006	0,021																					
26	−0,017	−0,017	−0,017	−0,016	−0,012	−0,005	0,007																					
27	−0,014	−0,017	−0,020	−0,021	−0,020	−0,016	−0,006																					
28	−0,011	−0,017	−0,022	−0,026	−0,028	−0,027	−0,020																					
29	−0,009	−0,017	−0,024	−0,031	−0,036	−0,038	−0,033																					

Для тех же главных балок (плит), над которыми находятся боковые пешеходные тротуары и установить испытательную нагрузку невозможно, построить натурные поперечные линии влияния по всей ширине пролетного строения не удастся. Метод «условной поперечной балки» предоставляет такую возможность. И еще, как правило, испытательная нагрузка – это за-

груженные автомашины, ширина колеи которых может отличаться от колеи нормативной СНиП-овской нагрузки А11 и, тем более, от ширины колеи тяжелой колесной нагрузки НК-80 [4]. А раз так, то натурные поперечные линии влияния, строго говоря, напрямую без соответствующей корректировки не могут использоваться при подсчете коэффициентов по-

перечной установки для нормативных нагрузок Н-30, А11 или НК-80, необходимых для уточнения фактической грузоподъемности испытываемого пролетного строения. Объясняется это тем, что натурные поперечные линии влияния – это всегда линии влияния, полученные не от действия одной единичной силы для всех ее положений по ширине пролетного строения, а от двух сил величиной по 0,5 каждая с расстоянием между ними равном ширине колеи испытательной нагрузки.

Предложенный метод «условной поперечной балки» дает возможность строить поперечные линии влияния коэффициентов распределения усилий на главные балки (плиты) пролетного строения именно от действия единичной силы. Это облегчает подсчет коэффициентов поперечной установки для тех или иных нормативных

нагрузок или же для любой другой тяжелой нагрузки, возможность и условия пропуска которой по пролетному строению моста необходимо выяснить.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Страхова Н. Є. Експлуатація і реконструкція мостів / Н. Є. Страхова, В. О. Голубев, П. М. Ковальов та ін. – К.: Транспортна академія України, 2000. – 384 с.
2. Инструкция по определению грузоподъемности железобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов. ВСН 32-78. Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1979. – 142 с.
3. Рудницин М. Н. Справочное пособие по сопротивлению материалов / М. Н. Рудницин, П. Я. Артемов, М. И. Любошин. – Минск: Высш. шк., 1970. – 630 с.
4. СНиП 2.05.03-84\*. Мосты и трубы / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП. 2001. – 214 с.

Поступила в редколлегию 15.05.06.



А. Л. ТЮТКИН (ДИИТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ТОННЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Наведено результати дослідження основних параметрів вибухового впливу для практичних розрахунків міцності та стійкості тунельних конструкцій. Отримані залежності основних параметрів є функціями і носять прикладний характер.

Приведены результаты исследования основных параметров взрывного воздействия для практических расчетов прочности и устойчивости тоннельных конструкций. Полученные зависимости основных параметров являются функциями и носят прикладной характер.

The article presents the results of studying the basic parameters of explosive influence for practical calculations of durability and stability of tunnel constructions. The obtained dependences of basic parameters are functions and have an applied nature.

В настоящее время все большую актуальность приобретают исследования прочности и устойчивости тоннельных конструкций при особом сочетании нагрузок. Это обусловлено тем, что расчетов прочности и устойчивости на постоянное и временное сочетание недостаточно, так как влияние особого воздействия все чаще наблюдается в работе подземных сооружений, в том числе сооружений метрополитена глубокого и мелкого заложения – станций и перегонных тоннелей.

Следует отметить, что исследование прочности и устойчивости строительных конструкций концептуально построено на отыскании, дальнейшем анализе их напряженно-деформированного состояния (НДС) и сравнении его параметров с условиями прочности и устойчивости. Таким образом, исследование прочности и устойчивости строительных конструкций с учетом особых воздействий также должно опираться на определение НДС, но достаточно часто процесс расчета напряжений и деформаций в элементах конструкции на особое сочетание затруднен вследствие недостаточной разработанности математического аппарата методов расчета, отсутствия адекватных исследуемым реальным объектам моделей, а также недостаточной репрезентативностью аналитических данных о природе особых воздействий.

Последнее замечание особенно важно, так как в методах расчета подземных конструкций при наличии значительно разработанных расчетных схем, прикладываемые к ним особые воздействия представляют собой некоторые стандартные нагрузки, используемые в разде-

лах механики сплошной среды (теория упругости и строительная механика), которые не отражают специфическую природу их возникновения и кинетику распространения.

Следует также отметить, что грунтовой массив является в общем случае упруговязкопластичной средой, изменяющей свои свойства при изменении нагрузки и со временем. Причем многообразие грунтов, составляющих из общих упруговязкопластичных свойств отдельные комбинации (упругопластические, вязкопластические, упруговязкие и т. д.), до сих пор не систематизировано, и расчеты подземных сооружений при взаимодействии с окружающим массивом носят частный характер, так как учет всех основных свойств грунта очень сложен [1; 2].

Следовательно, проблема исследования прочности и устойчивости подземных конструкций актуальна, так как малая разработанность подхода к ней, отсутствие систематизации методов исследования НДС, а также недостаточная адекватность предложенных моделей их расчета на особое сочетание нагрузок, требует разработки нового подхода к этой проблеме, который даст возможность ее решения.

К особым воздействиям, входящим в особое сочетание, чаще всего относят сейсмическое воздействие [3] и специальные динамические нагрузки [4]. Следует отметить, что на данный момент практические расчеты на сейсмическое воздействие разработаны недостаточно и носят поверочный характер [5], а расчеты на специальные динамические нагрузки немногочисленны [6–10], их применение для расчетов подземных сооружений единично [11; 12].

Следует отметить, что недостаточная разработка проблемы расчета прочности и устойчивости на особое сочетание нагрузок заключается в характере особого воздействия, который можно классифицировать следующим образом:

- сейсмическое воздействие (нагрузка от землетрясений);
- импульсные воздействия различной природы (нагрузки от взрыва взрывчатых веществ, пыли- и газо-воздушных смесей, баллонов со сжатым газом, импульсные воздействия от движения поезда);
- ударные воздействия (различные удары аварийной природы).

Более подробно остановимся на исследовании импульсных воздействий, причем в данной работе рассматриваются взрывные нагрузки, так как их влияние на НДС подземных сооружений мало изучено, а появление в подземных условиях в результате террористических актов отмечено высокой вероятностью; также следует отметить вероятность взрыва в аварийных ситуациях [13] и при проведении взрывов при проходке выработок, расположенных в некоторой близости от действующих объектов метрополитена.

Известно, что особое взрывное воздействие является импульсным, что следует из определения взрыва [14] и из исследований его действия на конструкции [15]. Значение также имеет природа взрыва, так как форма импульса значительно влияет на величину полного импульса [15]

$$I = \int_0^{\tau} P(t) dt, \quad (1)$$

где  $I$  – значение полного импульса;  $P(t)$  – функция, описывающая форму импульса;  $\tau$  – длительность импульса.

Считается, что  $P(t) = 0$ , если  $\tau < 0$  и  $\tau > t$ , то есть  $P(t)$  существует в пределах  $0 \dots \tau$  [15]. Некоторую двойственность в понимании взрывного воздействия на конструкцию вносит тот факт, что на выбор расчетной схемы конструкции для определения ее прочности и устойчивости влияет соотношение между периодом собственных колебаний конструкции  $T$  и длительностью импульса  $\tau$  [16].

Если отношение  $\tau/T \leq 1$ , то расчет производится на импульс взрыва; если  $\tau/T > 1$  – на остаточное максимальное давление, то есть в первом случае инерционные свойства конструкции учитываются, а во втором – постановка задачи становится квазистатической.

Таким образом, действие импульса взрыва отмечается только на близких расстояниях, поэтому часто расчеты ведутся в квазистатической постановке на максимальное давление, что практически не отличается от статических расчетов [16]. Исследователями предлагаются другие значения:

- расчет на импульсное воздействие при

$$\tau/T \leq 0,375;$$

- расчет на полное давление [17] при

$$\tau/T > 0,375.$$

Таким образом, подход к этому вопросу отличается противоречиями, о чем также могут свидетельствовать данные о периодах собственных колебаний различных сооружений, приведенные в работах [16; 17].

Следует также отметить, что выбор метода расчета для подземного сооружения значительно усложнен, так как определить для них период собственных колебаний сложно, что объясняется взаимодействием подземной конструкции с окружающим массивом, который, возможно, участвует в процессе колебания как присоединенная масса. Таким образом, в данном вопросе нет однозначности, тем более, что в справочной литературе представленное выше отношение равно

$$\tau/T \geq 2,5,$$

причем при  $\tau/T = 0,1$  форма импульса может не учитываться [18].

Некоторая неоднозначность определения также присуща и основным зависимостям параметров импульсного взрывного воздействия: давление на фронте  $\Delta P$ , длительность импульса  $\tau$  и значение импульса  $I$ , предложенных академиком М. А. Садовским:

$$\Delta P = 10g \left( 7 \frac{q}{R^3} + 2,7 \frac{q^{2/3}}{R^2} + 0,84 \frac{q^{1/3}}{R} \right), \quad (2)$$

$$\tau = 0,0015 \sqrt{R} \sqrt[6]{q}, \quad (3)$$

$$I = 40g \frac{q^{2/3}}{R}. \quad (4)$$

Данные формулы разработаны для взрыва сферического открытого заряда в воздухе [16; 19], где  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;  $q$  – масса тротилового заряда, кг;  $R$  – расстояние от места взрыва, м.

Коэффициенты в формулах (2)–(4) получены из условий теории подобия и обработки многочисленных экспериментов [19].

Границы применения формул (2)–(4) определены всеми значениями  $R$  и  $q$  больше нуля, но с выполнением следующего условия

$$R \geq r,$$

где  $r$  – радиус сферического тротилового заряда, то есть функциональные зависимости существуют при следующих условиях:

$$q > 0 \text{ и } R \geq r.$$

Известно, что переход детонационной волны в ударную (процесс взрывчатого превращения) характеризуется плоскостью Чепмена-Жуге, то есть плоскостью, на границе которой прекращается химическое превращение и образуются газообразные продукты взрыва. Проверочным условием формулы (2) является условие максимального давления  $\Delta P_{\max}$  в плоскости Чепмена-Жуге, полученного в соответствии с гидродинамической теорией на основе законов сохранения энергии и импульса

$$\Delta P_{\max} = \frac{\rho_{BB} D^2}{n+1}, \quad (6)$$

где  $\rho_{BB}$  – начальная плотность ВВ, кг/м<sup>3</sup>;  $D$  – скорость детонации, м/с;  $n$  – показатель политропы,  $n = 3$  для обычных ВВ.

Из формулы (6) следует, что  $\Delta P_{\max}$  для тротилового заряда с  $\rho_{BB} = 1550 \dots 1600$  кг/м<sup>3</sup>, равно  $9\,687,5 \dots 10\,000$  МПа. Следует отметить, что плоскость Чепмена-Жуге в общем случае не совпадает с плоскостью раздела сред (заряда ВВ и воздуха) и следует давление  $\Delta P_{\max}$  скорректировать с учетом скорости движения продуктов взрыва за плоскостью Чепмена-Жуге и характером ВВ (поправка на твердые ВВ):

$$\Delta P_{\max} = \frac{\rho_{BB} D^2}{4}, \quad (7)$$

откуда максимальное давление на границе раздела сред будет равняться для тротилового заряда с  $\rho_{BB} = 1550 \dots 1600$  кг/м<sup>3</sup> –  $4\,690 \dots 5\,000$  МПа.

Следует отметить, что максимальное давление тротилового заряда  $\Delta P_{\max}$  было рассчитано для зарядов с массой  $0,1 \dots 1\,000$  кг. Для зарядов тротила с плотностью  $1\,600$  кг/м<sup>3</sup> изменение радиуса заряда удовлетворительно описывается зависимостью

$$r = 0,05 \sqrt[3]{m},$$

где  $m$  – масса заряда, что иллюстрируется аппроксимированным графиком (рис. 1).

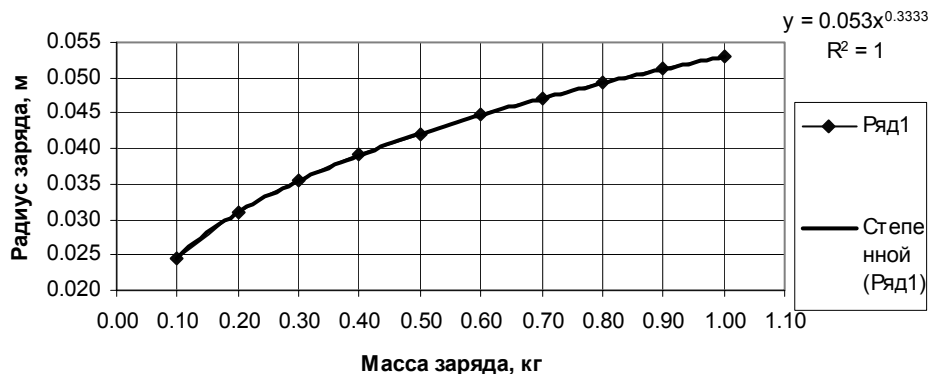


Рис. 1. График зависимости радиуса от массы заряда

Уравнение аппроксимации (см. рис. 1) приведено к несколько упрощенному типу, но это упрощение уменьшает точность аппроксимации на 5,7 %, что можно считать достаточно точным и свидетельствует о функциональной зависимости.

Используя формулу (7) и зависимость радиуса от массы заряда, полученные значения максимального давления на разделе двух сред – ВВ и воздуха, – равны  $4\,694 \dots 4\,708$  МПа, что совпадает со значением  $\Delta P_{\max}$  (относительная погрешность

$$\delta = \frac{\Delta P - \Delta P_{\max}}{\Delta P_{\max}} 100\%$$

составляет не более 6 %, что свидетельствует о высокой точности). Из этого также следует, что на расстояниях, кратных радиусу  $r$  тротилового заряда разной массы  $m$ , давление на фронте взрывной или ударной воздушной волны (УВВ) является постоянной величиной.

Данное предположение косвенно доказывается полученным значением  $\Delta P_{\max}$  на гра-

нице тротилового заряда и воздуха ( $R=r$ ), и этот факт, логически следующий из анализа формулы (7), имеет практическое значение при расчетах строительных конструкций на особое сочетание нагрузок, так как качественно описывает параметры взрыва зарядов различной массы для их радиусов и кратных им расстояниям.

Следует разъяснить, что кроме разрушающего действия продуктов детонации (ПД), которое затухает на небольшом расстоянии от заряда [14], на конструкции также разрушительно действует ударная воздушная волна (УВВ), причины образования и характер распространения которой исследованы многими учеными [14; 16; 17; 19].

Параметры УВВ также описываются формулами академика М. А. Садовского (2)–(4), но для их практического использования в расчетах подземных конструкций, автор данной работы предлагает их применять с расстояния  $(8...15)r$ , что соответствует расстоянию отрыва УВВ от расширяющихся ПД, что было предложено профессором А. А. Гуриным [16] на основе экспериментов Ю. А. Юрманова [20].

Используя для расчетов формулы (2)–(4), автором получены значения  $\Delta P$  для данных расстояний: при  $8r$   $\Delta P = 10,66$  МПа; при  $15r$   $\Delta P = 1,89$  МПа. При этом были аппроксимированы зависимости постоянного давления на фронте УВВ  $\Delta P$  от массы  $m$  и радиуса  $r$  заряда (рис. 2 и 3).

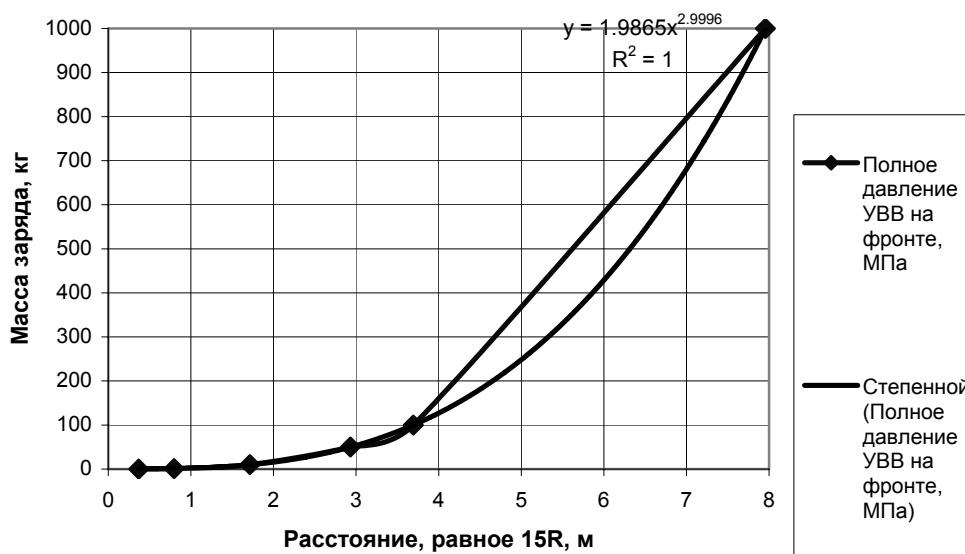


Рис. 2. Зависимость постоянного давления на фронте УВВ  $\Delta P$  ( $R = 15r$ )

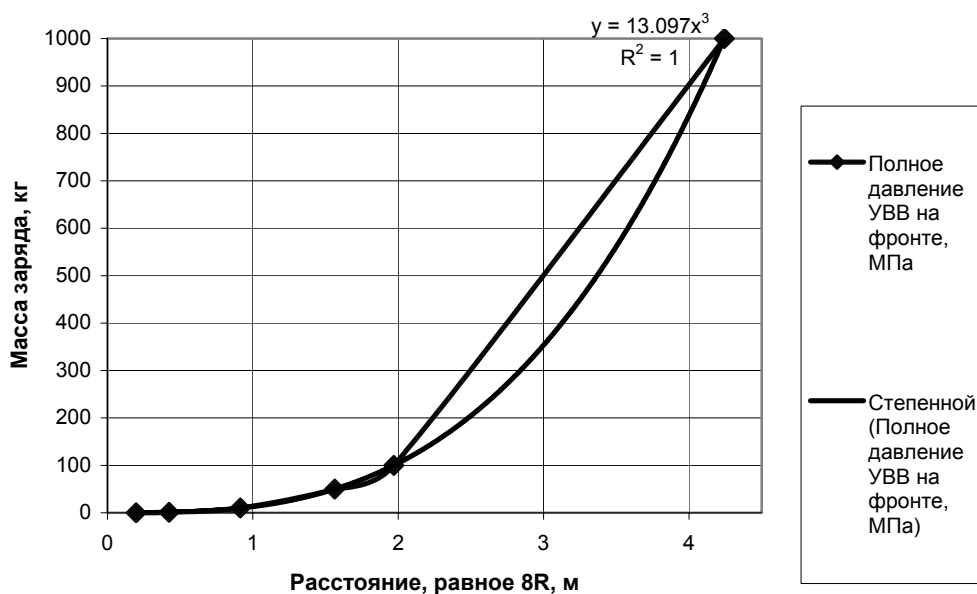


Рис. 3. Зависимость постоянного давления на фронте УВВ  $\Delta P_{\max}$  ( $R = 8r$ )

Полученные тренды аппроксимации являются степенной функцией вида  $r = am^3$ , причем точность аппроксимации  $R^2 = 1$  (см. рис. 2, 3), что свидетельствует о функциональной зависимости.

Коэффициент  $a$  при аргументе функции изменяется следующим образом: при  $R = r$ ,  $a = 6692,9$ ; при  $R = 8r$ ,  $a = 13,1$ ; при  $R = 15r$ ,  $a = 1,99$ .

Изложенные аналитические построения можно непосредственно использовать при исследовании влияния импульсной нагрузки взрывного характера при действии УВВ на конструкции подземных сооружений. Автором построены и аппроксимированы графики основных параметров УВВ (рис. 4–6).

Характер графиков свидетельствует об их подобии, что закономерно отражает вид уравнений (2)–(4). Все аппроксимированные тренды степенного вида:

- для зависимости давления на фронте УВВ  $\Delta P$  от расстояния, МПа

$$\Delta P = a_1 \frac{2,6}{R}; \quad (8)$$

- для зависимости времени действия  $\tau$  от расстояния, с

$$\tau = a_2 \sqrt{R}; \quad (9)$$

- для зависимости импульса давления  $I$  от расстояния, МПа·с/м<sup>2</sup>

$$I = a_3 \frac{1}{R}. \quad (10)$$

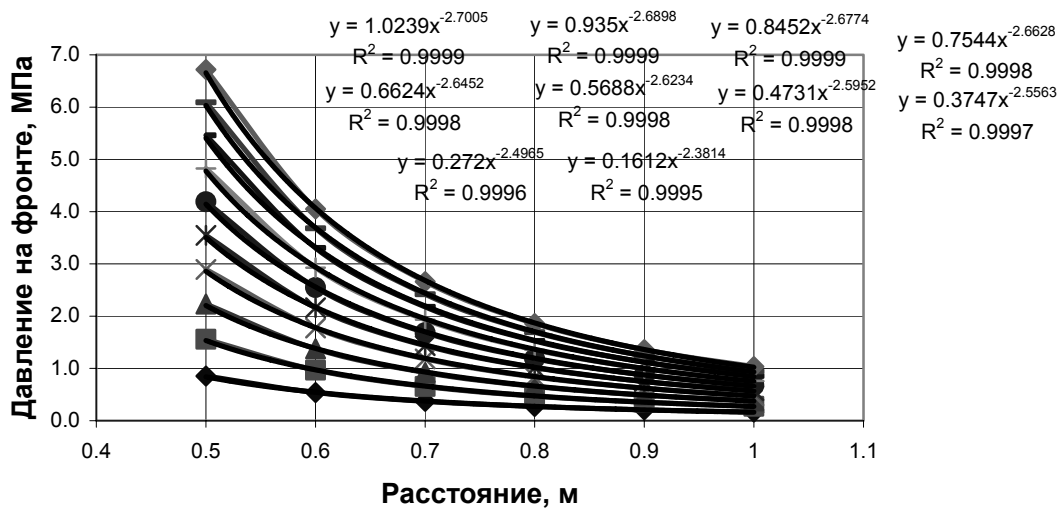


Рис. 4. Зависимость давления на фронте УВВ  $\Delta P$  от расстояния

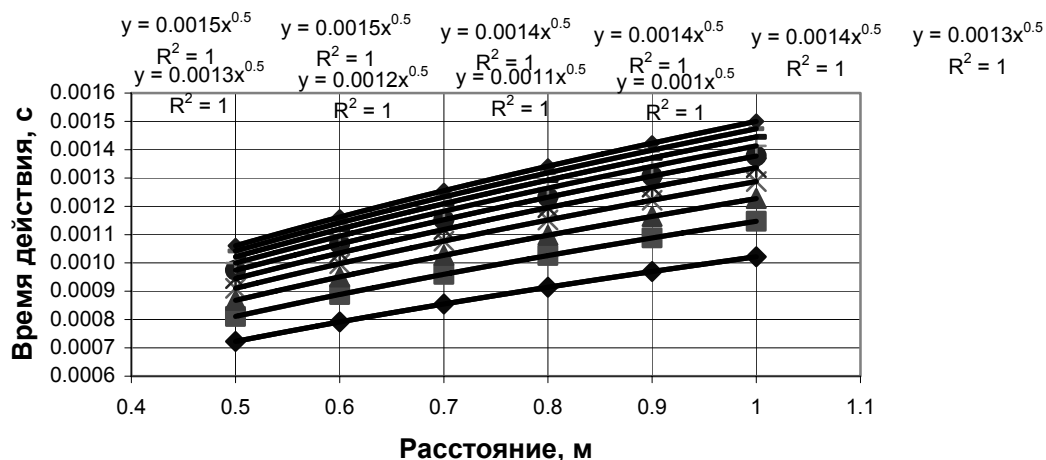


Рис. 5. Зависимость времени действия  $\tau$  от расстояния

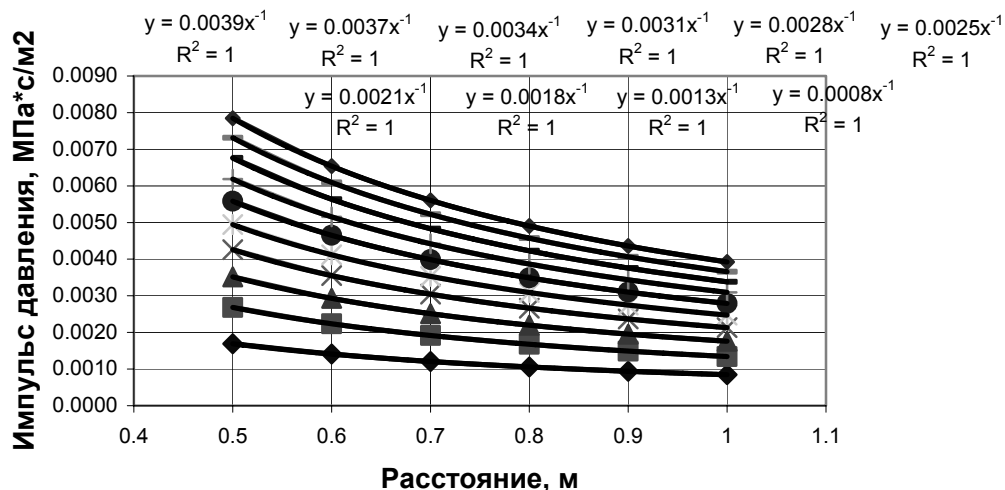


Рис. 6. Зависимость импульса давления  $I$  от расстояния

Как видно из данных аппроксимации (см. рис. 4–6), ее точность составляет  $R^2 = 1$ , что свидетельствует о функциональном характере зависимостей (8)–(10).

В практических расчетах конструкций подземных сооружений зависимости (8)–(10) можно использовать для расчетов основных параметров ударных и ударно-воздушных волн, не прибегая к однообразным вычислениям или использованию не слишком удобных номограмм [4].

Заканчивая анализ основных параметров УВВ, следует также отметить следующую полученную закономерность: для величины длительности импульса  $\tau$ , рассчитанной по формулам (3) и (9), между массами зарядов, кратными 2, ее значения изменяются в 1,223 раза, а между расстояниями, кратными 2 – в 1,414 раза; для величины импульса  $I$ , рассчитанной по формулам (4) и (10), между массами зарядов, кратных 2, ее значения изменяются в 1,58 раза, а между расстояниями, кратными 2 – в 0,5 раза.

Эти данные носят прикладной характер, и их можно использовать при проведении значительного комплекса однотипных расчетов на динамические взрывные воздействия с шаговым изменением массы заряда и его расположения при выяснении закономерностей изменения частот и форм колебаний.

Таким образом, проблема исследования прочности и устойчивости конструкций подземных сооружений на особое сочетание нагрузок отличается большой сложностью и не отличается глубокой разработкой.

Предложенные аналитические построения для определения основных параметров взрывных волн могут быть применены в практических расчетах прочности и устойчивости таких конструкций, причем новизна этих построений относится не к исследованиям в области теории взрыва, а непосредственно к области расчетов на динамические импульсные воздействия.

Полученные вследствие обработки значительного массива данных функциональные зависимости носят прикладной характер и также могут применяться в практических расчетах. Исследование импульсных воздействий различной природы, в том числе и взрывных волн, с учетом характера их разработки и кинетики распространения, в дальнейшем даст возможность разработки новых методов расчета подземных сооружений на особое сочетание нагрузок.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петренко В. І. Розрахунок трисклепінчастих станцій метрополітену глибокого закладення / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін. – Д.: Наука і освіта, 2004. – 176 с.
2. Петренко В. І. Современные технологии строительства метрополитенов в Украине / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкин. – Д.: Наука і освіта, 2005. – 252 с.
3. СНиП 2.02.05-87. Фундаменты машин с динамическими нагрузками. – М.: Стройиздат, 1988. – 31 с.
4. Попов Н. Н. Расчет конструкций на динамические специальные нагрузки: Учебное пособие для вузов / Н. Н. Попов, Б. С. Расторгуев, А. В. Забегаев. – М.: Высш. шк., 1992. – 319 с.

5. Волков В. П. Тоннели и метрополитены / В. П. Волков, С. Н. Наумов, А. Н. Пирожкова, В. Г. Храпов; Под ред. В. П. Волкова. – М.: Транспорт, 1975. – 618 с.
6. Бондарь Н. Г. Устойчивость и колебания упругих систем в современной технике. – К.: Вища шк., 1987. – 200 с.
7. Кудрявцев И. А. Влияние вибрации на основания сооружений. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 274 с.
8. Филлипов А. П. Колебания деформируемых систем. – М.: Машиностроение, 1970. – 736 с.
9. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия (Справочник проектировщика) / Под ред. Б. Г. Коренева и И. М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.
10. Бондарь Н. Г. Нелинейные колебания, возбуждаемые импульсами. – К.; Донецк: Вища шк., 1978. – 213 с.
11. Дашевский М. А. Изучение упругих волн при движении пульсирующей нагрузки вдоль тоннеля кругового очертания, проложенного в грунте // Динамика сооружений: Сб. науч. трудов. – М.: Стройиздат, 1968. – С. 123–232.
12. Бакиров Р. О. Динамический расчет и оптимальное проектирование подземных сооружений: Учеб. пособие для вузов / Р. О. Бакиров, Ф. В. Лой. – М.: Стройиздат, 2002. – 464 с.
13. Власов С. Н. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов / С. Н. Власов, Л. В. Маковский, В. В. Меркин. – М.: ТИМР, 2000. – 200 с.
14. Покровский Г. И. Взрыв. – М.: Недра, 1957. – 173 с.
15. Вибрации в технике: Справочник: в 6 т. – Т.6. Защита от вибрации и ударов. – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.
16. Савенко С. К. Ударные воздушные волны в подземных выработках / С. К. Савенко, А. А. Гурин, П. С. Малый. – М.: Недра, 1973. – 152 с.
17. Попов Г. И. Железобетонные конструкции, подверженные действию импульсных нагрузок. – М.: Стройиздат, 1986. – 126 с.
18. Динамический расчет зданий и сооружений (Справочник проектировщика) / Под ред. Б. Г. Коренева и И. М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1984. – 303 с.
19. Садовский М. А. Опытные исследования механического действия ударной волны взрыва. – Л.: Изд-во АН СССР, 1945. – 43 с.
20. Юрманов Ю. А. Защита сооружений от действия ударной воздушной волны / Зап. ЛГИ, 1966. – Т. 52. – Вып. 1. – С. 117–121.

Поступила в редколлегию 03.02.2006.

## КОНТРОЛЛИНГ В СИСТЕМЕ СОВРЕМЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Розглядається питання про необхідність удосконалення системи управління сучасним підприємством шляхом упровадження системи контролінгу. У господарських умовах, що швидко змінюються на перший план виходить проблема виживання підприємств, запобігання їх банкрутству. Контролінг є ефективним інструментом управління, за допомогою якого можна уникнути негативних і небажаних результатів.

Рассматривается вопрос о необходимости усовершенствования системы управления современным предприятием путем внедрения системы контроллинга. В постоянно меняющихся хозяйственных условиях на первый план выходит проблема выживания предприятий, предупреждения их банкротства. Контроллинг является эффективным инструментом управления, с помощью которого можно избежать негативных и нежелательных результатов.

The article examines the questions of the needs for improving the management system at a modern enterprise by introduction of controlling. In constantly changing economic conditions, the problem of the enterprise survival and prevention of its bankruptcy comes to be of primary importance. The controlling is an effective instrument of management, whereby it is possible to avoid negative and undesirable results.

Украинские предприятия вынуждены существовать сегодня в сложных и нестабильных условиях внешней среды, что приводит к необходимости менять подходы к управлению предприятием. Чтобы успешно функционировать на современном рынке, работать с максимальным экономическим эффектом, необходимо применять современные методы управления предприятием, одним из которых является контроллинг.

Появление на современных предприятиях такого нововведения как контроллинг объясняется необходимостью усовершенствования системы управления предприятием, увеличения скорости реакции на изменения внешней среды, повышения гибкости предприятия. Так, на основе синтетической информации, полученной путем интеграции традиционных методов учета, анализа, нормирования и контроля, достигается эффективное управление предприятием.

Находясь на пересечении учета информационного обеспечения контроля и координации, контроллинг занимает особое место в управлении предприятием: он связывает воедино все эти функции, интегрирует и координирует, при этом, не заменяя собой управление предприятием, а лишь переводя его на качественно новый уровень.

Исследования в области применения и усовершенствования механизма контроллинга в системе управления предприятием прослеживаются во многих работах зарубежных и отечественных исследователей, что свидетельствует о повышенном интересе к вопросам функционирования контроллинга на предприятиях.

Наиболее часто в своих работах исследовали проблему внедрения контроллинга на предприятиях такие авторы: Э. Майэр, Д. Хан, А. Дайле, а также украинские и российские ученые – Л.Сухарева, И. Дмитренко, М. Пушкарь, Н. Данилочкина, Е. Ананькин, М. Чумаченко. В работах этих авторов можно встретить различные мнения о сущности контроллинга, но все они едины в том, что для перевода управления предприятием на более качественный уровень необходимо внедрять контроллинг.

Постановка задания данного исследования заключается в рассмотрении вопроса о необходимости внедрения системы контроллинга на предприятиях Украины. В постоянно меняющихся хозяйственных условиях на первый план выходит проблема выживания предприятий, предупреждения их банкротства. Поэтому сейчас как никогда важно использовать на практике новые направления и информационные технологии, ориентированные на долговременное и эффективное функционирование. Именно таким инструментом управления, с помощью которого можно избежать негативных и нежелательных результатов, является контроллинг.

Термин «контроллинг» произошел от английского «to control» – контролировать, управлять, зародился в Америке еще в первой половине XX века, однако, принят он был впервые в Германии только в начале 70-х гг.

В Украине определения контроллинга стали появляться в начале 90-х гг. в целом ряде работ.



Однако для большинства украинских предприятий контроллинг понятен пока в узком смысле — как вспомогательная техническая функция, призванная обслуживать процесс выработки и принятия управленческих решений.

В определении термин «контроллинг» объединяет две составляющие: контроллинг как философия и контроллинг как инструмент:

1. Контроллинг — философия и образ мышления руководителей, ориентированные на эффективное использование ресурсов и развитие предприятия (организации) в долгосрочной перспективе.

2. Контроллинг — ориентированная на достижение целей интегрированная система информационно-аналитической и методической поддержки руководителей в процессе планирования, контроля, анализа и принятия управленческих решений по всем функциональным сферам деятельности предприятия.

То есть концепция контроллинга предлагает совершенно новый подход к управлению предприятием, которая опирается на комплексное соединение процессов планирования, учета, контроля и экономического анализа, координацию мер по достижению целей предприятия, формирование информационной системы, соответствующей поставленным целям. Такое определение контроллинга имеет много общего с широким толкованием управленческого учета как явления. Поскольку отечественная терминология пока не устоялась, в Украине используют оба термина — и «контроллинг», и «управленческий учет». Однако, несмотря на то, что исследования по контроллингу и управленческому учету идут, как правило, параллельно друг другу, ученые, работающие над проблемами управленческого учета, оставляют без внимания публикации, посвященные контроллингу. В свою очередь, специалисты по контроллингу игнорируют результаты исследований проблем управленческого учета. При сопоставлении сущности управленческого учета в широком смысле этого понятия и концепции контроллинга выявлены несомненные преимущества контроллинга перед управленческим учетом.

Целевая задача контроллинга — построение на предприятии эффективной системы принятия, реализации, контроля и анализа управленческих решений. Основные постулаты современной философии контроллинга можно сформулировать следующим образом:

1. Главенство рентабельности (объемы выпуска, количество филиалов и клиентов, ассортимент продукции, сумма баланса и т.п. являются второстепенными по сравнению с эффективностью работы предприятия в целом и его подразделений).

2. Рост объемов бизнеса предприятия оправдан лишь при сохранении прежнего уровня или росте эффективности.

3. Мероприятия по обеспечению роста доходности не должны повышать допустимые для конкретных условий функционирования предприятия уровни рисков.

Как инструмент управления сложными производственными системами контроллинг десятилетиями применяется на предприятиях индустриально развитых стран и за это время доказал свою эффективность.

Главное преимущество контроллинга состоит в системной коммуникации управленческих функций, во взаимосвязи между ними, формировании единой информационной базы, т.е. контроллинг — это система взаимосвязи управленческих воздействий, посредством различных инструментов, на объекты управления с целью достижения максимальной эффективности деятельности.

Характерной чертой концепции является ориентация на будущее, т.е. контроллинг, используя управленческую информацию, стремится снизить неопределенность будущего и адаптировать действия предприятия к постоянно меняющимся условиям. Прошлое интересует его лишь в той мере, в которой оно влияет на будущее, способствует лучшей реализации целей в будущем. Мышление категориями взаимосвязи прошлого с будущим помогает через анализ отклонений и их причин накапливать знания для поиска и нахождения оптимальных контрмер.

В традиционном понимании обратная связь и анализ отклонений означают обычное сопоставление того, что есть, с тем, что ожидалось, то есть с прогностическими оценками. Мышление же категориями связи между прошлым и будущим создает позитивный импульс для формирования будущего и предпосылкой для этого является возможность учиться на прошлых ошибках, искать реальные причины отклонений, которые имели место. Вследствие этого контроллинг обеспечивает систематический целостный взгляд на деятельность предприятия в прошлом, настоящем и будущем, комплексный подход к выявлению и решению проблем, которые возникают перед предприятием. [2, с. 20]

В системе контроллинга, как и в управленческом учете, значительная роль принадлежит учету затрат по местам их возникновения (структурным подразделениям или участкам), по центрам ответственности, носителям издержек, элементам и статьям затрат, а также в других необходимых для управления организацией разрезах.

Однако в отличие от управленческого учета в системе контроллинга больше внимания уделяется оценке обоснованности затрат, поиску причинно-следственных связей между затратами и результатами, разграничению уровня ответственности за расходы и доходы. При этом по местам возникновения затрат и центрам ответственности учитывают не только затраты, но и объем выпуска продукции и услуг (объем продаж), производительность труда, финансовые результаты и т. д. Данные о затратах и результатах группируют по местам их возникновения и центрам ответственности уже на стадии планирования с использованием одной и той же методики распределения затрат, способов оценки активов и списания их стоимости, что необходимо для сопоставимости отчетных и плановых показателей.

Важную роль в контроллинге играет человеческий фактор. В отрасли управления персоналом контроллинг – это управление через согласование целей.

Органическое соединение управленческих процессов в системе контроллинга, в отличие от управленческого учета, проявляется и в том, что в контроллинге участвует каждый сотрудник в рамках его компетенции и поставленных перед ним задач.

Каждый сотрудник должен знать свои обязанности и осознавать цель работы. Так, работник выполняет определенный круг задач (то, чем он занимается) и достигает поставленной цели – то, к чему он стремился. Контрольная функция руководства наиболее результативно осуществляется менеджером путем общего с сотрудником анализа результатов его работы. Тем самым требования контроллинга реализуются каждым работником самостоятельно и дополняются коллективным контроллингом.

В данном разрезе контроллинг выступает как система, направленная на выявление внутреннего потенциала, на использование резервов и способностей персонала.

Управлять предприятием, не владея информацией, невозможно. Ежедневный рост объемов документации на предприятиях, необходимость получать постоянную оперативную информацию о реальных расходах на производство и реализацию продукции, составление точных калькуляций товаров – все это дает основание для разработки и внедрения системы контроллинга.

Прежде всего, в этой системе заинтересованы владельцы капитала, так как именно эффективность будет определять уровень издержек альтернативного вложения капитала.

Далее руководящий состав (top) результативность деятельности которого определяется эффективностью деятельности предприятия.

Весьма способствует этому наличие на рынке ПО достаточного количества качественных программ по автоматизации бухгалтерского учета, бюджетирования, контроллинга, доступных как для малых предприятий (с использованием таблиц в MS Excel), так и более дорогостоящих систем, разрабатываемых под конкретное предприятие.

Одна из основных задач контроллинга – информационная поддержка управления, обеспечивать которую возможно только при условии четкого и налаженного функционирования такого важного элемента контроллинга как система информационных потоков на предприятии. Поэтому для создания системы контроллинга при сборе и формировании начальной информации обязательным является соблюдение условия полноты информации обо всех подразделениях и сферах деятельности предприятия. Чем полнее будет начальная информация, тем более благоприятной становится предпосылка постановки реальных целей и осуществления реального планирования.

Функции организации, координации и методического обеспечения возложены на службу контроллинга, которая предлагает обширный инструментарий для такой работы, отвечает за разработку методов и техники для постановки управленческого учета, планирования, проведения экономических расчетов, информационного обеспечения и обеспечивает консультации по их применению, регулирует процесс управления, следит за ходом менеджмента.

Для построения системы контроллинга и углубленного анализа во внимание берется документация из таких сфер деятельности предприятия:

- учет и отчетность, баланс, план счетов, итоговые сальдовые сведения;
- расчет расходов – смета месячная;
- отчеты по кадровым вопросам – месячное количество работников, затраты на заработную плату и т. д.;
- складское хозяйство и материально-техническое снабжение – затраты сырья и материалов на единицу товара, скорость оборотности складских запасов и т. д.;
- производство – предыдущее развитие производственных мощностей машин, технический уровень и состояние машин на данный момент;

- сбыт – доля отдельных продуктов (услуг) в общем объеме, каналы сбыта и т. д.;
- конкуренты – политика на рынке, продукт, динамика цен, реклама;
- тенденции рынка;
- собственная рыночная политика и т. д. с учетом специфики предприятия. [3, с. 21].

При внедрении контроллинга на предприятии необходимо решить ряд задач, основными из них являются:

- оптимизация управления организационной структурой предприятия;
- организация эффективной системы учета операций и результатов;
- внедрение систем планирования, контроля и анализа деятельности;
- обеспечение мотивации персонала в повышении эффективности работы предприятия;
- автоматизация систем учета и управления предприятием.

Результатом становится система, которая способствует повышению эффективности деятельности предприятия и позволяет:

- предвидеть результаты деятельности;
- планировать деятельность, с целью повышения эффективности использования ресурсов предприятия;
- своевременно получать точную информацию, необходимую для принятия управленческих решений;
- эффективно использовать налоговое планирование и схемы оптимизации (минимизации) налогообложения.

Контроллинг позволяет устанавливать контроль за достижением как стратегических, так и тактических целей деятельности предприятия. Если управление достижением стратегических целей – задача стратегического контроллинга, то тактических – оперативного контроллинга.

На практике существует тесная связь между оперативным и стратегическим контроллингом. При стратегической постановке всегда доминирует вопрос оперативности выполнения или наоборот – оперативные проблемы прибыльности могут быть не замечены при стратегической постановке вопроса.

Оперативный контроллинг, в отличие от стратегического, ориентирован на формирование средств и методов эффективного управления текущими целями предприятия, а также своевременное принятие мер по оптимизации отношения «затраты-результаты».

Учитывая ситуацию, которая сложилась, а также будущие возможности и опасности контроллинга определяет, какие альтернативы действий есть у предприятия сегодня, и оценивает эти альтернативы с точки зрения достижения целей предприятия. На основе таких рекомендаций руководитель может осмысленно действовать.

## Выводы

Основное назначение контроллинга лежит в ориентации системы управления предприятием на достижение поставленной цели. Контроллинг при этом является сложной конструкцией, которая объединяет в себе разнообразные элементы функций управления и использования их для решения задач оперативного и стратегического характера.

Контроллинг как система наиболее подходит к внедрению на украинских предприятиях. Он может быть органично вписан в структуру управления. Подготовка современных бухгалтеров, работников экономических служб позволяет воспринимать идеи контроллинга.

Направление дальнейших исследований видится в разработке практических решений по созданию системы контроллинга на предприятиях с учетом размеров предприятия, его организационной структуры, отрасли и других особенностей. Особое внимание должно быть уделено интегрированию систем финансового, управленческого и налогового учета, организации информационных потоков на предприятии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ананькин Е. А. Контроллинг как инструмент управления предприятием / Е. А. Ананькин, С. В. Данилочкин, Н. Г. Данилочкина и др. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 297 с.
2. Сухарева Л. А. Внутренний аудит: организация и методология: Научно-практическое пособие / Л. А. Сухарева, И. Н. Дмитренко. – Донецк: ГУЗТ, 2000. – 75 с.
3. Гулін Д. В. Система контролінгу на промисловому підприємстві / Д. В. Гулін, О. Л. Максименко // Маркетинг в Україні. – 2000. – № 4. – С. 20–23.
4. Хан Д., Планирование и контроль: концепция контроллинга / Пер. с нем. – М.: Финансы и статистика, 1997. – 800 с.
5. Карминский А. М. Контроллинг в бизнесе: методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А. М. Карминский, Н. И. Оленев, А. Г. Примаков, С. Г. Фалько. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 256 с.

Поступила в редколлегию 17.10.05.

## ОЗНАКИ КОНС'ЮМЕРИЗМУ В ІНВЕСТИЦІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ АКЦІОНЕРНИХ ТОВАРИСТВ

Як елемент конс'юмеризму, розглядається така категорія як «економічний інтерес». Акцентується увага на економічних інтересах, які переслідуються суб'єктами акціонерного товариства під час здійснення інвестиційної діяльності. Пропонуються конкретні управлінські дії щодо гармонізації цих інтересів з врахуванням інших ознак конс'юмеризму.

В качестве элемента консьюмеризма рассматривается такая категория как «экономический интерес». Акцентируется внимание на экономических интересах, которые преследуются субъектами акционерного общества во время осуществления инвестиционной деятельности. Предлагаются конкретные управленческие действия относительно гармонизации этих интересов с учетом других признаков консьюмеризму.

Such category as «economic interest» is examined as an element of consumerism. The accent is made on the economic interests which are pursued by the subjects of a joint-stock company during realization of investment activity. In relation to harmonization of these interests, there have been proposed specific administrative actions, with account of the other identifying signs of consumerism.

Дослідження діяльності сучасних підприємств показують, що інвестиційним процесам, які там відбуваються, приділяється уваги все більше і більше. Обираються різні управлінські стратегії для здійснення ефективного інвестиційного процесу. Причому переслідується ціль зробити цей процес ефективним для всіх зацікавлених сторін. Тому постає проблема узгодження інтересів різних осіб. Ця проблема є актуальною особливо для акціонерного товариства, в умовах якого і відбувається злиття особистих і колективних інтересів акціонерів, його працівників та інвесторів.

Враховання та узгодження інтересів повинно базуватися на певній законодавчій базі. Але існують і суспільно-соціальні важелі, які також потрібно враховувати. Йдеться про застосування в управлінській діяльності деяких елементів конс'юмеризму.

Оскільки на перше місце виступають майже завжди економічні інтереси, тому дослідники саме їм приділили значну увагу. Так, природа походження економічних інтересів описувалась ще у роботах В. І. Леніна, К. Маркса та Ф. Енгельса.

Серед сучасних авторів, які також розкривають природу колективних інтересів, можна назвати таких: А. Габов, Л. П. Гацька, О. О. Кобзиста, А. І. Косарев, Г. Б. Рустамбеков та ін.

Недостатньо досліджений механізм узгодження цих інтересів, особливо під час здійснення інвестиційної діяльності, в основі якої вже є економічний елемент.

Метою статті є:

1. Аналіз підходів до визначення сутності економічних інтересів взагалі і інтересів учасників інвестиційного процесу в акціонерному товаристві, зокрема;

2. Визначення чинників, що впливають на ці інтереси;

3. Виокремлення в інвестиційному процесі акціонерного товариства ознак конс'юмеризму;

4. Розробка управлінських дій по гармонізації інтересів із застосуванням елементів конс'юмеризму.

Під час даного дослідження були використані метода аналізу та узагальнення.

Економічні інтереси – економічна категорія, яка відображає виробничі відносини між окремими учасниками суспільного виробництва (індивідами, їх групами, класовими угрупованнями). Форми економічних інтересів можуть бути такі: загальносуспільні, колективні, особисті, матеріальні.

Щодо акціонерних підприємств, то доцільно було б акцентуватися на колективних економічних інтересах, які «виражають необхідність задоволення матеріальних потреб груп людей, об'єднаних однаковим положенням у системі суспільного виробництва, що створює узагальненість інтересів даної соціальної групи» [10; с. 42]. Але й інші форми економічних інтересів також можуть застосовуватись. Так, наприклад, члени акціонерного підприємства мають власні індивідуальні інтереси, які вони націлені наполегливо переслідувати, а взаємодія цих інтересів повинна координуватись.

Це координування може відбуватися за допомогою внутрішньокорпоративних документів: статуту, положеннями, угодами.

«У самому загальному сенсі інтереси становлять збуджуючі мотиви життєдіяльності людей» [9; с. 85]. На підставі цього можна сформулювати причини та умови виникнення економічних інтересів. Життєдіяльність людей відбувається під впливом різних потреб, тоді можна зробити висновок, що в основі інтересу лежить потреба. Саме вона і є умовою виникнення цього інтересу.

Ще одна цікава риса економічних інтересів розглядається у наукових працях, а саме, «...економічні інтереси виникають на межі потреб і виробництва і відображають взаємодію продуктивних сил, які приводять до дії весь економічний механізм суспільства» [3; с. 8].

Вище було вже зазначено, що колективні інтереси складаються із особистих. Психологія дуже часто пов'язує особисті інтереси із побоюваннями. Сучасна економічна ситуація може бути іноді загрозливою і, насамперед, для економічних інтересів. Деякі джерела наводять наслідки таких загроз [8; с. 47]:

- загублення, шкода, випущена вигода, ділові зобов'язання;
- суперництво (конкурентна продукція, нововведення);
- залежність у тій чи іншій галузі господарської діяльності.

Зрозуміло, що достатньо важко узгодити особисті інтереси всіх суб'єктів акціонерного товариства (акціонерів, працівників акціонерного товариства та інших зацікавлених осіб), особливо коли ці інтереси пов'язані з такими побоюваннями. Але необхідність цього узгодження очевидна, і це підтверджується наступними думками вчених, а саме: «існування великої кількості поліваріантних інтересів, мотивів та стимулів (інтерес акціонера, менеджера, робітника), формує об'єктивну необхідність забезпечення їх взаємоузгодженості» [6; с. 13]; «інтереси акціонерів можуть збігатися як з інтересами самого акціонерного товариства, так із інтересами інших учасників корпоративних відносин» [2; с. 19]; «акціонерне товариство становить перехрестя інтересів різних осіб» [1; с. 14].

Йдеться про узгодження інтересів як власника, так і підприємства взагалі, це можливо тому, що «цілі і економічні інтереси власників акціонерного товариства, як правило, найбільш наближені до інтересів підприємства як такого» [7; с. 123].

Акціонерне товариство – це своєрідна держава на мікрорівні, де є свої органи управління. Тому, якщо вдасться врегулювати діяльність акціонерних товариств та запобігти конфліктам між їх власникам, можна буде розраховувати і на врегулювання відносин у країні у цілому [9; с. 109]. А конфлікти інтересів у корпоративному управлінні зустрічаються не так рідко.

Конфлікт інтересів виникає в акціонерному товаристві, якщо особистий інтерес посадової особи чи співробітника товариства перевищує звичайну зацікавленість у своїй роботі. Як правило, така зацікавленість не відповідає, а в більшості випадків навіть суперечать інтересам, діловій репутації чи навіть діяльності відкритого акціонерного товариства» [7; с. 116].

Конфлікт інтересів може виникнути між товариством і окремим акціонером – володарем великого пакета акцій. Як приклад подібних ситуацій можуть виступати: укладення товариством угоди, у якій зацікавленість даної посадової особи чи акціонера перевищує їх звичайну зацікавленість.

Узгодженість інтересів між суб'єктами корпоративного управління важлива ще тому, що цей аспект впливає на процес розвитку акціонерних товариств взагалі, але тут спостерігаються певні обмеження фінансових можливостей економічної системи, відсутності відповідного нормативно-правового та інституціонального забезпечення.

У спеціалізованій літературі наводяться різні категорії чи класифікації зацікавлених осіб, які є активними по відношенню до корпоративних прав акціонерного товариства і здатні об'єктивно вплинути на його діяльність у своїх інтересах. Економічний інтерес таких осіб може виражатися у формі заробітної плати, гарантій та страхування, винагород та премій, соціальних виплат, компенсацій, процентних надбавок за посередництво, можливості розпоряджатися майном та отриманні вигоди від цього розпорядження, можливості пріоритетного придбання майна у приватну власність, власного працевлаштування чи працевлаштування своїх родичів.

На жаль, на даний момент чинне законодавство України не регулює правовідносини, пов'язані з наявністю зацікавленості посадових осіб чи акціонерів товариства під час укладення угод. У проекті Закону «Про акціонерні товариства» є тільки правила поведінки таких осіб, і у разі порушення цих правил проти них можуть бути подані судові позови з метою відшкодування збитків, які були спричинені у ході такої угоди.

А. Яковлев у своїй праці наводить класифікацію зацікавлених економічних агентів, які діють у сфері корпоративного управління. Серед них так звані «будівничі», «загарбники», «регулятори». Кожний з перелічених типів агентів характеризується загальною стратегією поведінки, горизонтом планування і схильністю до ризику. Наприклад, до «загарбників» серед інших віднесені і портфельні інвестори, загальною стратегією поведінки яких є приріст капіталу, отримання максимального прибутку протягом короткого періоду часу [11; с. 39].

Слова «інтереси», «права» є елементами конс'юмеризму (від англ. *consum* – «споживацтво»). Тобто конс'юмеризм – це громадський рух на захист прав і інтересів споживачів. Більш детальний аналіз та узагальнення сутності цього терміну, а також формування даного руху наводиться у більш ранніх статтях автора [4; 5]. Даний рух і є тим суспільно-соціальним важелем, який спроможний узгодити інтереси виробника і кінцевого споживача.

Всі зацікавлені особи у діяльності акціонерного товариства виявляються одночасно і споживачами, особливо при здійсненні інвестиційних процесів. Тому вважається можливим виокремити ознаки конс'юмеризму саме для інвестиційного процесу.

Акціонер інвестуючи гроші у будь-який проєкт очікує певні прибутки, тобто блага. Він купує чи споживає ці блага. Те ж саме можна сказати і про інвестора з боку, який не є акціонером, але інвестує на користь певного акціонерного товариства. Кожний переслідує свої індивідуальні інтереси і володіє певними правами. Права передбачають їх правовий і суспільний захист.

Інвестиції тісно пов'язані з виробничим процесом акціонерного товариства, результатом якого є послуги чи товари, які потім будуть також споживатися. Важливо, щоб вони були якісними і відповідали встановленим стандартам, тоді й не буде порушення прав і інтересів кінцевих споживачів. Споживацтво у разі здійснення інвестиційної діяльності акціонерних товариств також очевидне. Такий аналіз деяких складових інвестиційного процесу акціонерного товариства показує, що в стратегіях управління цим процесом повинні передбачатися ознаки конс'юмеризму.

Пропонується враховувати права і інтереси всіх основних зацікавлених осіб у діяльності акціонерного товариства, включаючи звісно і акціонерів, при формуванні інвестиційного портфеля, виборі інвестиційної стратегії, використанні інвестиційних ресурсів, виробництві товарів і послуг та інше, у межах чинного законодавства.

Наприклад, аналізуючи Закон України «Про інвестиційну діяльність», можна визначити суб'єкти інвестиційної діяльності (ст. 5), їх права (ст. 7), гарантії їх прав (ст. 18), захист інвестицій (ст. 19). Все це можна віднести до ознак конс'юмеризму інвестиційної діяльності. Аналізуючи Принципи корпоративного управління, які були схвалені рішенням ДКЦПФР від 03.06.2003 р., № 242, також знайдемо такі ознаки: перелік прав акціонерів (п. 2) та перелік і права заінтересованих осіб (п. 6).

Підсумовуючи все вищезазначене, можна зробити висновок, що в основу конс'юмеризму покладені інтереси, права споживачів та їх захист, які є його елементами.

Переважають саме економічні інтереси, які походять від потреб, і приводять у дію весь економічний механізм суспільства. Тому потреби потрібно постійно досліджувати з метою більш точного визначення сутності економічних інтересів. На економічні інтереси впливають такі чинники як держава і суспільство.

В акціонерному товаристві спостерігається сукупність поліваріантних інтересів багатьох осіб, які потребують обов'язкового узгодження. Неузгодженість цих інтересів призводить до небажаного в межах колективного підприємства (мається на увазі акціонерне товариство) конфлікту. Оскільки інвестиційний процес пов'язаний з ризиком, тому важливо дотримуватись прав інвесторів та враховувати їх інтереси і інтереси інших зацікавлених осіб. Тому до ознак конс'юмеризму в інвестиційному процесі акціонерного товариства можна віднести, насамперед, інтереси акціонерів, інвесторів, кінцевих споживачів товарів та послуг, вироблених за допомогою інвестиційних ресурсів, а також права всіх перелічених осіб згідно з чинним законодавством.

Матеріали статті можуть мати теоретичне значення під час викладання курсу «Маркетинг», «Акціонерне право». Практичне значення статті полягає у пропонуванні порад управління акціонерних товариств під час плануванні інвестиційного процесу.

Науковою новизною вважається виокремлення ознак конс'юмеризму в інвестиційній діяльності акціонерних товариств. У подальшому плануються дослідження визначення ролі реклами в інвестиційній діяльності акціонерних товариств.

## БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Габов А. Интересы участников корпоративных отношений // Журнал для акционеров. – 2004. – № 4. – С. 14–20.

2. Габов А. Интересы участников корпоративных отношений // Журналъ для акціонеровъ. – 2004. – № 5. – С. 17–20; 29–33.
3. Гацька Л. П. Реалізація колективних економічних інтересів у міжнародній сфері. – К.: Фірма «КіПі», 1996. – 19 с.
4. Герасимова С. В. Узагальнення підходів до визначення конс'юмеризму як соціально-економічної категорії // Актуальні проблеми економіки. – 2005. – № 12. – С. 76–79.
5. Герасимова С. В. Економічні передумови розвитку та аспекти формування конс'юмеризму // Вісник Донецького університету: науковий журнал. Серія В. Економіка і право. – 2005. – № 2. – С. 82–87.
6. Кобзиста О. О. Формування та розвиток акціонерного капіталу в умовах трансформаційних змін. – К., – 2005. – 20 с.
7. Козаченко Г. В. Корпоративне управління: Підручник для вузів / Г. В. Козаченко, А. Е. Воронкова. – К.: Лібра, 2004. – 368 с.
8. Косарев А. И. Механизм согласования интересов взаимодействующих экономических субъектов в условиях новой информационной экономики // Актуальні проблеми економіки. – 2003. – № 1. – С. 46–52.
9. Рустамбеков Г. Б. Национальные экономические интересы (предпосылки, цели и средства достижения). – Баку: Изд-во Бакинского университета, 1998. – 244 с.
10. Экономическая энциклопедия. Политическая экономия. Гл. ред. А. М. Румянцев. – М.: Советская энциклопедия. 1975.
11. Яковлев А. Спрос на право в сфере корпоративного управления: эволюция стратегий экономических агентов // Вопросы экономики. – 2003. – № 4. – С. 37–49.

Надійшла до редколегії 09.02.2006.

Н. В. ГНЕННЫЙ, О. Н. ГНЕННЫЙ (ДИИТ)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОИМОСТНОГО ИЗНОСА ЗДАНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

З розвитком ринкових відносин все більшу актуальність, у тому числі на залізничному транспорті, здобувають питання оцінки активів, що необхідна для їх бухгалтерського обліку, відчуження, оренди, застави тощо, а також для корпоратизації і приватизації. Стаття присвячена розробці методів визначення знецінення будівель, що викликано їхнім фізичним зносом. У роботі отримана модель для визначення коефіцієнта придатності будівель, для яких не практикується виконання капітальних ремонтів, чистий операційний дохід від яких може вважатися постійним протягом терміну корисного використання. Виявлено, що факторами вартісного зносу у цьому випадку є: норма доходу інвестицій у подібне майно, загальний термін економічного життя будівлі, частка вартості ліквідації у вартості заміщення (відтворення), залишковий термін економічного життя.

С развитием рыночных отношений все большую актуальность, в том числе на железнодорожном транспорте, приобретают вопросы оценки активов, которая необходима для их бухгалтерского учета, отчуждения, аренды, залога и т. д., а также для корпоратизации и приватизации. Статья посвящена разработке методов определения обесценения строений, вызываемого их физическим износом. В работе получена модель для определения коэффициента годности строений, в отношении которых не практикуется выполнение капитальных ремонтов, чистый операционный доход от которых может считаться постоянным в течение срока полезного использования. Выявлено, что факторами стоимостного износа в этом случае являются: норма дохода инвестиций в подобное имущество, общий срок экономической жизни здания, доля стоимости ликвидации в стоимости замещения (воссоздания), остаточный срок экономической жизни.

With development of market relations the increasing actuality, including on a railway transportation, questions of assessment of actives is obtained. Assessment of actives is necessary for their book keeping, selling, rent, deposit etc., and also for privatizations. Article is devoted to development of methods of determination of depreciation of the structures caused by their physical deterioration. In article the model for definition of suitability coefficient for structures in which performance of major repairs does not practice and is received, the net operational profit from which may be considered as a constant during term of useful use. It is revealed, that factors of cost deterioration in this case are: rate of discounting of investments in similar property, the general term of economic life of a building, a share of cost of liquidation in cost of replacement (reconstruction), residual term of economic life.

В условиях развития рыночных отношений все более важную роль играет оценка имущества как результат профессиональной оценочной деятельности. Закон Украины «Об оценке имущества, имущественных прав и профессиональной оценочной деятельности в Украине» от 12.06.2001 г. № 2658-III [1] предусматривает обязательное проведение оценки в случаях:

- создания предприятий (хозяйственных обществ) на базе государственного или коммунального имущества;
- приватизации, аренды, обмена, страхования государственного имущества;
- переоценки основных средств для целей бухгалтерского учета и в ряде других случаев.

Указанные случаи проведения оценки являются особенно актуальными для железнодорожного транспорта. Так, начисление амортизации, адекватной потребностям воспроизводства основных фондов, в том числе, для совершенство-

вания тарифной политики железнодорожного транспорта, невозможно без переоценки указанных активов в бухгалтерском учете.

Действующая Программа реструктуризации на железнодорожном транспорте Украины [2] уже предусматривает приватизацию промышленных предприятий железнодорожного транспорта, предприятий подсобно-вспомогательной деятельности, транспортных строительных организаций, предприятий промышленного железнодорожного транспорта, узкоколейных линий, а также прочих организаций, деятельность которых непосредственно не связана с перевозочным процессом.

В будущем, для образования конкурентной среды в сфере железнодорожных перевозок потребуются изменение организационно-правовой формы отрасли (в том числе, корпоратизация) и приватизация части эксплуатационных подразделений.



Все эти мероприятия требуют проведения переоценки основных средств железнодорожного транспорта, в связи с чем актуальным вопросом является совершенствование методического обеспечения оценки имущества, в том числе с учетом отраслевых особенностей.

Значительная часть основных производственных фондов железнодорожного транспорта является недвижимым имуществом. При этом большинство таких объектов относится к специализированному имуществу. Согласно стандарту оценки № 1 [3] специализированным является имущество, которое, как правило, не выступает самостоятельным объектом продажи на рынке и имеет наибольшую полезность и ценность в составе целостного имущественного комплекса.

Стандарты оценки № 1 [3] и № 2 «Оценка недвижимого имущества» [4] предусматривают, что базой оценки специализированного имущества является остаточная стоимость замещения, под которой понимается стоимость замещения (воссоздания) объекта оценки с учетом всех видов износа, а также (для недвижимого имущества) с учетом рыночной стоимости земельного участка при существующем использовании. Таким образом, одним из основных вопросов оценки специализированной недвижимости является определение стоимостного износа.

В зависимости от причин потери стоимости выделяют три вида износа: физический, функциональный и экономический (внешний). Физический износ обусловлен частичной или полной потерей первоначальных технических и технологических свойств объекта. Функциональный износ связан с несоответствием функциональных (потребительских) характеристик объекта оценки данному виду имущества. Экономический износ обусловлен влиянием социально-экономических, экологических и прочих внешних факторов на объект оценки [3]. Физический и функциональный износы подразделяют на устранимый (технически может быть устранен) и неустраиваемый (не может быть устранен или его устранение экономически нецелесообразно).

Стандарт оценки № 2 предусматривает, что физический износ может определяться двумя основными методами: разбивки и срока жизни.

Метод разбивки предусматривает определение величины каждого вида износа, присутствующего объекту оценки, отдельно. Метод срока жизни базируется на прогнозировании остаточного срока экономической жизни. Данный метод является комплексным.

При оценке зданий с использованием метода разбивки физический износ, как правило, определяется поэлементным методом.

Поэлементный метод реализуется, как правило, на основании правил оценки физического износа жилых зданий [5].

Анализ данного документа показывает, что эти правила не могут корректно применяться для большинства железнодорожных зданий, которые значительно отличаются по объемно-планировочному и конструктивному решению от жилых. Кроме того, в основу данного документа положена поэлементная оценка износа исходя из затрат на устранение признаков износа (ремонтные работы). Очевидно, что такой подход к оценке стоимостного износа не позволяет в полной мере учитывать неустраняемый износ.

Целью данной работы является совершенствование методического обеспечения процесса переоценки зданий железнодорожного транспорта в части оценки стоимостного износа. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- классификация зданий на основе закономерностей их износа;
- выявление основных факторов, определяющих динамику износа;
- разработка экономико-математических моделей, отражающих закономерности снижения стоимости во времени каждой классификационной группы;
- выработка методических рекомендаций по оценке износа зданий железнодорожного транспорта.

Методической базой исследования являются принципы оценки, оценочные методические подходы, методы оценки, предусмотренные национальными стандартами оценки, а также методы финансовой математики, экономико-математического моделирования, качественного анализа, математической статистики, в том числе, корреляционно-регрессионного анализа.

Как известно, в теории оценки имущества различают физический износ как техническое понятие, характеризующее потерю первоначальных технических свойств объекта, и вызванное таким износом снижение стоимости, что, собственно, и подразумевается под термином «физический износ» в стандартах оценки. При этом физический износ как техническое понятие является одним из ряда факторов, определяющих величину стоимостного физического износа.

С точки зрения моделирования последнего следует выделить три группы зданий:

- здания, в отношении которых не практикуется выполнение капитальных ремонтов, чистый операционный доход от которых может считаться постоянным в течение срока полезного использования;

- здания, в отношении которых не практикуется выполнение капитальных ремонтов, чистый операционный доход от которых в течение срока полезного использования по мере ухудшения эксплуатационных качеств снижается;

- здания, в отношении которых выполняются капитальные ремонты, чистый операционный доход от которых в течение срока полезного использования по мере ухудшения эксплуатационных качеств снижается, а под воздействием капитальных ремонтов увеличивается.

В данной работе рассматривается модель износа первой группы зданий, к которым можно отнести небольшие сборно-разборные здания из металлических или деревянных конструкций, прочие некапитальные здания.

Из стандарта оценки [4] № 2 следует, что функциональный износ может определяться на стадии расчета стоимости замещения. Экономический износ воздействует на объект недвижимости на любой стадии его жизненного цикла. Влияние данного износа в модели может быть учтено путем введения соответствующего коэффициента к стоимости строительства. В этом случае для нового здания рассматриваемой группы характерно соотношение

$$C_3 = \sum_{i=1}^T \frac{ЧОД_i}{(1+E)^i} + \frac{C_{зем} + C_л}{(1+E)^T} - C_{зем}, \quad (1)$$

где  $C_3$  – стоимость замещения здания (с учетом экономического обесценения, если оно имеет место);  $T$  – полный срок экономической жизни здания (в данном случае соответствует нормативному сроку использования);  $ЧОД_i$  – чистый операционный доход от объекта недвижимости в целом в  $i$ -м году;  $E$  – ставка дисконта для данного объекта недвижимости;  $C_{зем}$  – стоимость земли в составе стоимости объекта недвижимости;  $C_л$  – стоимость ликвидации здания.

Так как чистый операционный доход постоянен во времени, исходя из текущей стоимости аннуитета, формула (1) преобразовывается к виду

$$C_3 = ЧОД_1 \cdot \frac{(1+E)^T - 1}{(1+E)^T E} + \frac{C_{зем} + C_л}{(1+E)^T} - C_{зем}. \quad (2)$$

Следует отметить, что расходы на текущий ремонт включаются в состав операционных расходов и учтены в чистом операционном доходе, а капитальные ремонты не предусматриваются.

В дальнейшем целесообразно использовать относительные показатели, для чего стоимость ликвидации представляется в виде

$$C_л = C_3 \cdot \beta, \quad (3)$$

где  $\beta$  – доля стоимости ликвидации в стоимости замещения.

А стоимость земли:

$$C_{зем} = C_3 \cdot \alpha, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – отношение стоимости земли к стоимости замещения.

Таким образом, формула (2) преобразовывается к выражению

$$1 = \frac{ЧОД_1}{C_3} \cdot \frac{(1+E)^T - 1}{(1+E)^T E} + \frac{\alpha + \beta}{(1+E)^T} - \alpha. \quad (5)$$

Из формулы (5) можно найти выражение для  $\left(\frac{ЧОД_1}{C_3}\right)$

$$\frac{ЧОД_1}{C_3} = \frac{[(1+\alpha)(1+E)^T - \alpha - \beta]E}{(1+E)^T - 1}. \quad (6)$$

В рассматриваемой модели в процессе физического износа уменьшается остаточный срок жизни здания, что можно представить в следующем виде:

$$C_3 K_r = ЧОД_1 \cdot \frac{(1+E)^{t_{ост}} - 1}{(1+E)^{t_{ост}} E} + \frac{C_{зем} + C_л}{(1+E)^{t_{ост}}} - C_{зем}, \quad (7)$$

где  $K_r$  – коэффициент годности, учитывающий физический износ;  $t_{ост}$  – остаточный срок экономической жизни здания.

С использованием выражений (3) и (4), коэффициент годности приобретает вид

$$K_r = \frac{ЧОД_1}{C_3} \cdot \frac{(1+E)^{t_{ост}} - 1}{(1+E)^{t_{ост}} E} + \frac{\alpha + \beta}{(1+E)^{t_{ост}}} - \alpha. \quad (8)$$

В результате подстановки в формулу (8) выражения (6) можно выразить коэффициент годности

$$K_r = \frac{\left((1+\alpha)(1+E)^T - \alpha - \beta\right)E}{(1+E)^T - 1} \cdot \frac{(1+E)^{t_{\text{ост}}} - 1}{(1+E)^{t_{\text{ост}}} E} + \frac{\alpha + \beta}{(1+E)^{t_{\text{ост}}}} - \alpha. \quad (9)$$

После алгебраических преобразований получается следующая модель коэффициента годности:

$$K_r = \frac{(1+E)^T \left[ (1+E)^{t_{\text{ост}}} - 1 \right] + \beta \left[ (1+E)^T - (1+E)^{t_{\text{ост}}} \right]}{\left[ (1+E)^T - 1 \right] (1+E)^{t_{\text{ост}}}}. \quad (10)$$

Из формулы (10) видно, что факторами, определяющими величину коэффициента годности, являются: ставка дисконта (норма дохода), доля стоимости ликвидации в стоимости замещения, полный срок экономической жизни, остаточный срок экономической жизни. Стоимость земли не оказывает влияния на коэффициент годности (показатель «отношение стои-

мости земли к стоимости замещения» исключен из модели в результате преобразований).

В данной модели коэффициент годности является функцией четырех переменных ( $E$ ,  $T$ ,  $\beta$ ,  $t_{\text{ост}}$ ).

Динамика изменения функции в зависимости от остаточного срока экономической жизни на отрезке аргумента  $[0; T]$  при постоянных значениях прочих переменных характеризуется следующим:

- при  $t_{\text{ост}} = 0$ ,  $K_r = \beta$ ;
- при  $t_{\text{ост}} = T$ ,  $K_r = 1$ ;
- функция монотонно возрастает (если говорить о зависимости от эффективного возраста, то монотонно убывает);
- функция является выпуклой.

По определению эффективный возраст – это разница между полным и остаточным сроком экономической жизни объекта. Наглядно поведение коэффициента годности в зависимости от эффективного возраста показано на рис. 1 ( $E = 0,15$ ;  $\beta = 0,1$ ;  $T = 20$ ).

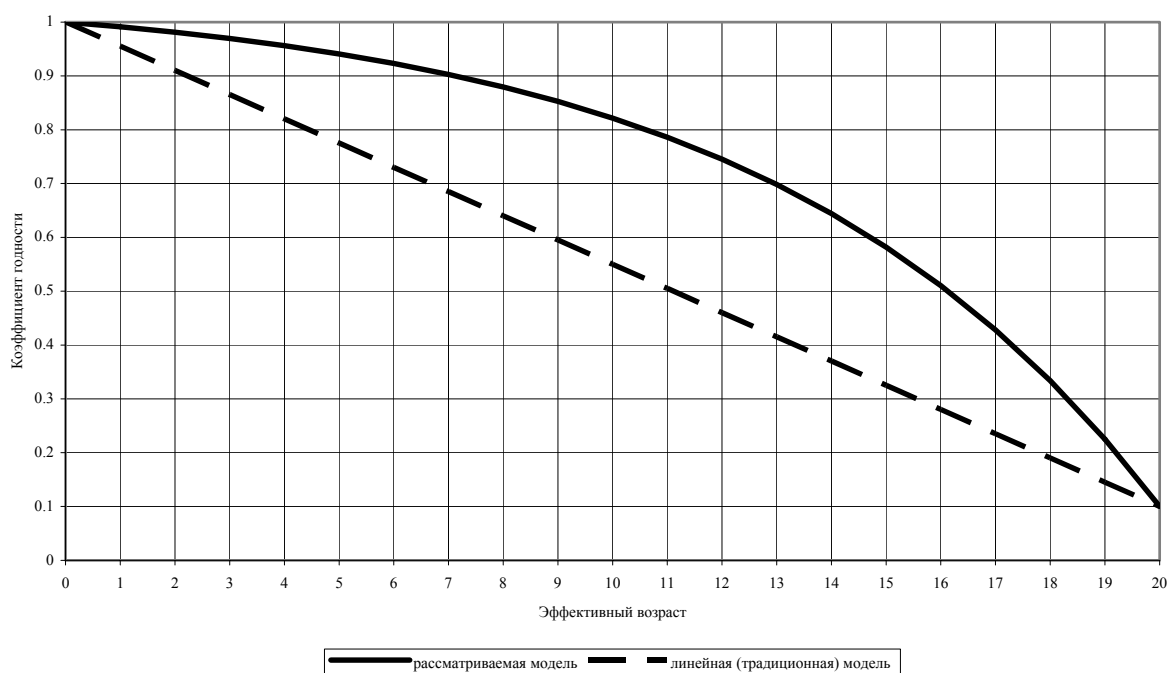


Рис. 1. Зависимость коэффициента годности от эффективного возраста

Как видно из данного примера, значения коэффициента годности, полученные по модели (10), существенно выше значений линейной модели.

При увеличении срока экономической жизни график кривой «растягивается» вдоль оси  $X$  с одновременным усилением выпуклости. Рост ставки дисконта вызывает увеличение выпуклости кривой. При стремлении

ставки дисконта к нулю, график кривой приближается к прямой линии, соединяющей точки  $[0; 1]$  и  $[T; \beta]$ . Увеличение доли стоимости ликвидации поднимает график к линии  $y = 1$  и снижает выпуклость кривой.

Наглядно влияние факторов модели на форму и расположение на сетке координат кривой коэффициента годности представлено на рис. 2–4.

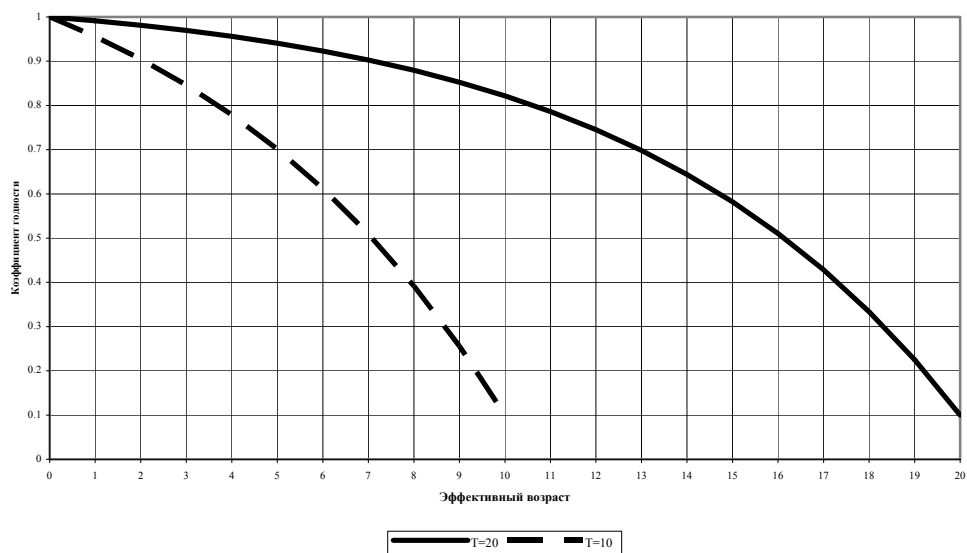


Рис. 2. Отличие в полном сроке экономической жизни

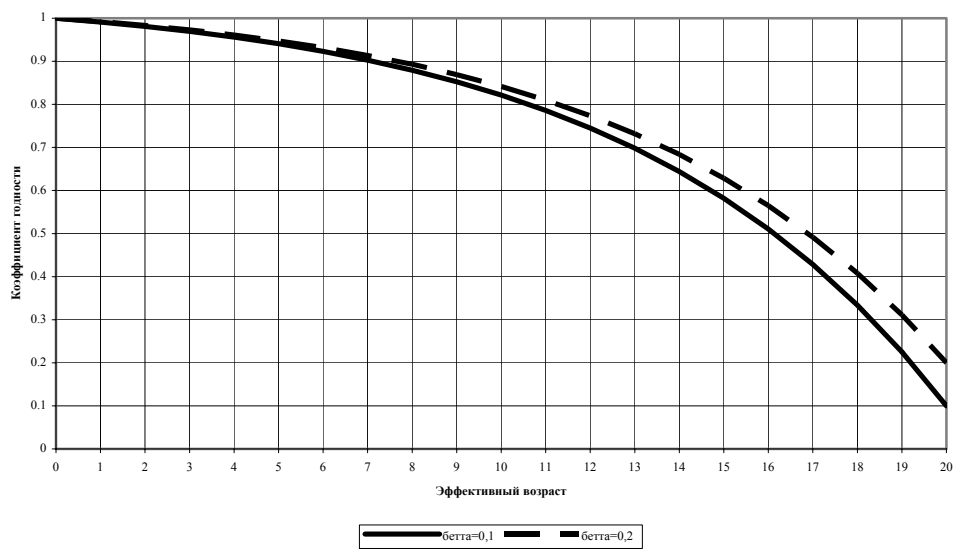


Рис. 3. Отличие в доли стоимости ликвидации

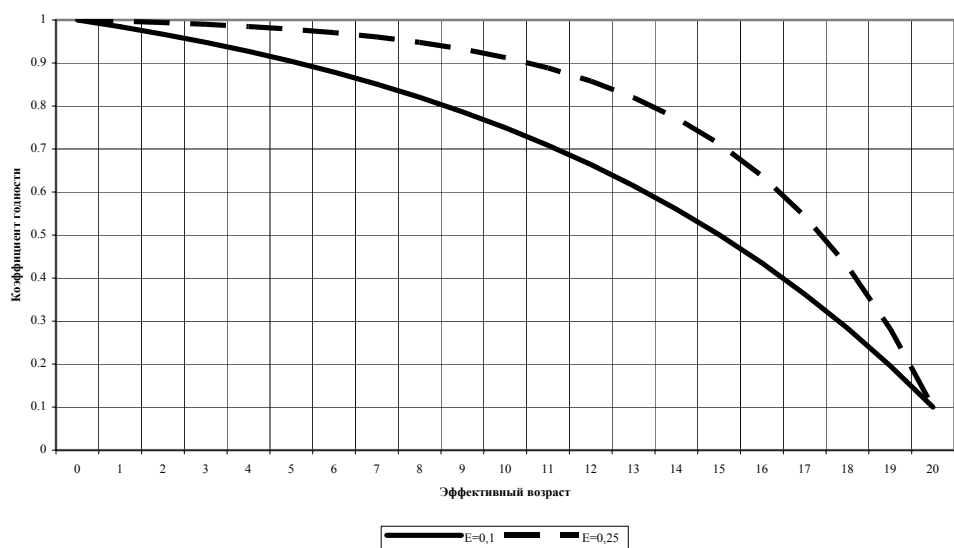


Рис. 4. Изменение ставки дисконта

## Выводы

Исследование методов оценки износа земельных улучшений позволяет сформулировать основные выводы и рекомендации, которые заключаются в следующем:

1. Используемые в настоящее время в практике оценки в Украине методы и нормативная база определения износа зданий не в полной мере отражают закономерности стоимостного обесценения земельных улучшений. В случае оценки специализированных объектов недвижимости, наличие которых характерно для железнодорожного транспорта, это может привести к существенной погрешности в результатах оценки.

2. Исходя из закономерностей износа, здания целесообразно классифицировать по признаку стабильности чистого операционного дохода (в зависимости от накопленного износа) и практики выполнения капитальных ремонтов, присущей данному типу недвижимости. На основе этих признаков выделено три группы зданий. В данной работе моделируется износ первой группы – здания, капитальный ремонт которых не проводится, а чистый операционный доход стабилен во времени.

3. На основе построенной модели выявлено, что величина коэффициента годности земельных улучшений зависит от нормы дисконта (нормы дохода) для данного объекта недвижимости, доли стоимости ликвидации в стоимости замещения земельных улучшений, общего и оставшегося срока экономической жизни земельных улучшений. При этом собственно износ, как техническое понятие, опреде-

ляет величину оставшегося срока экономической жизни. Остальные факторы отражают закономерности потери стоимости объектом недвижимости под влиянием износа.

4. Сравнение полученной модели с традиционной (линейной) показывает, что результатом применения последней выступают коэффициенты годности, которые значительно ниже, чем по модели, полученной в данной работе. Это свидетельствует о недостаточном учете в линейной модели всех факторов, влияющих на потерю стоимости объектами недвижимости. Поэтому в практике оценки, в первую очередь, специализированных объектов недвижимости целесообразно использовать полученную в данной работе модель износа.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Закон Украины «Об оценке имущества, имущественных прав и профессиональной оценочной деятельности в Украине» от 12.07.2001 г. № 2658-III.
2. Програма реструктуризації на залізничному транспорті України, 1998 р.
3. Национальный стандарт № 1 «Общие основы оценки имущества и имущественных прав», утвержденный постановлением Кабинета Министров Украины от 10.09.2003 р. № 1440.
4. Национальный стандарт № 2 «Оценка недвижимого имущества», утвержденный постановлением Кабинета Министров Украины от 28.10.2004 р. № 1442.
5. Приказ Госжилкомунхоза Украины от 02.07.93 г. № 52 «Правила оценки физического износа жилых зданий КДП 204/12 Украина 226-93».

Поступила в редколлегию 21.03.2006.

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ РУХОМОГО СКЛАДУ ДЛЯ ПАСАЖИРСЬКОГО ПОЇЗДА

Запропоновано методику визначення показників роботи рухомого складу для пасажирського поїзда з використанням інформаційної бази – розкладу руху пасажирських поїздів у дальньому сполученні.

Предложена методика определения показателей работы подвижного состава для пассажирского поезда с использованием информационной базы – расписания движения поездов в дальнем сообщении

A method of determining the rolling stock performance for a passenger train with the use of a database – a trains traffic schedule – has been proposed.

За теперішнього часу залізничні пасажирські перевезення є стійко збитковими. Так, у 2003 р. збитки від пасажирських перевезень становили по Укрзалізниці 1 463,3 млн грн, а у 2004 р. – вже 1 809,1 млн грн. При цьому збитковість має місце як у дальньому, так і у приміському сполученні. Однак відсоток покриття експлуатаційних витрат доходами за цими видами сполучень істотно різний. Так, у 2003, 2004 рр. цей показник для дальнього сполучення становив 65,5 та 61,3 % відповідно, а по приміському – 15,9 та 18,4 %.

Збитковість пасажирських перевезень у дальньому сполученні спричинена значною кількістю факторів як зовнішніх, так і внутрішніх по відношенню до залізниць. Серед них можна назвати: значне зменшення обсягів перевезень у порівнянні з 1990 р. та невідповідність потужності постійних пристроїв залізниць та контингенту працюючих існуючим обсягам роботи; невідповідність рівня тарифів фактичній собівартості перевезень; понаднормативне старіння (фізичне і моральне) основних засобів, у першу чергу, їх активної частини – рухомого складу, що спричиняє зменшення його продуктивності та підвищення витрати на утримання, а відповідно і збільшення собівартості перевезень і багато інших.

Серед причин збитковості перевезень дальнього сполучення можна виділити й недостатню відповідність розкладу руху пасажирських поїздів попиту на пасажирські перевезення та географічній структурі витрат на пасажирські перевезення, що призводить до недоотримання доходів та надмірних витрат, пов'язаних з низкою населеністю вагонів деяких поїздів. Саме подолання цих недоліків сприятиме запровадження в практику аналізу та управління пасажирськими перевезеннями методики визначення рентабельності пасажирських поїздів у дальньому сполученні.

Ця методика дозволить зіставляти доходи та витрати конкретних поїздів та виявити резерви зменшення збитковості перевезень за рахунок збільшення кількості рейсів і введення нових рентабельних поїздів та зменшення кількості нерентабельних поїздів. Це дозволить оптимізувати розклад руху та оперативно реагувати на зміни попиту на пасажирські перевезення, що спрямовано на оптимізацію як доходів, так і експлуатаційних витрат пасажирських перевезень і відповідно на підвищення фінансових результатів від пасажирських перевезень.

Мета роботи – розробка методики визначення показників роботи рухомого складу для пасажирського поїзда, які будуть базою для розрахунку експлуатаційних витрат, а потім і рентабельності конкретного поїзда в дальньому сполученні.

Інформаційною базою для визначення показників використання рухомого складу є розклад руху пасажирських поїздів та відомості про його фактичне виконання.

Безпосередньо за розкладом руху пасажирських поїздів визначаються:

- номер поїзда (у прямому та зворотному напрямках);
- категорія поїзда (скорий або пасажирський, класність);
- пункти відправлення та призначення (за необхідності – пункти приймання та здачі – для поїздів міждержавного та міжнародного сполучення);
- кількість рейсів на рік;
- довжина маршруту, в тому числі у межах України;
- час у дорозі, в т. ч. у межах України;
- час простою в пунктах обертання;
- час обороту поїзда;
- розрахункова маса поїзда;
- пункти зміни локомотивів та локомотивних бригад;

- максимальна кількість вагонів у поїзді та склад ядра поїзда;
- належність вагонів у складі поїзда;
- кількість місць в поїзді за типами (спальні, купе, плацкартні, загальні вагони) для максимальної кількості вагонів та для ядра поїзда.

За розкладом визначаються у розрахунку на один рейс (роздільно у прямому та зворотному напрямках) такі показники:

Пробіги локомотивів Укрзалізниці (УЗ) за видами тяги і загальний – як відстань між відповідними пунктами зміни локомотивів.

Пробіг локомотивів УЗ по Україні – визначається як менша з величин: «частина маршруту поїзда по Україні», «загальний пробіг локомотивів УЗ на обслуговування поїзда».

Пробіг локомотивів, що не належать УЗ, по території України визначається за формулою

$$S_{\text{л.не УЗ}} = \max(0; L_{\text{укр}} - S_{\text{л.УЗ укр}}), \quad (1)$$

де  $S_{\text{л.не УЗ}}$  – пробіг територією України локомотива, що не належить Укрзалізниці, на один рейс в одному з напрямків, км;  $L_{\text{укр}}$  – довжина маршруту територією України в одному напрямку, км;  $S_{\text{л.УЗ укр}}$  – пробіг територією України локомотивів УЗ на один рейс в одному з напрямків, км.

Пробіг локомотива УЗ за кордоном визначається за формулою

$$S_{\text{л.УЗ кор}} = \max(0; S_{\text{л.УЗ}} - S_{\text{л.УЗ укр}}), \quad (2)$$

де  $S_{\text{л.УЗ кор}}$  – пробіг локомотива УЗ за кордоном на один рейс в одному напрямку, км;  $S_{\text{л.УЗ}}$  – загальний пробіг локомотивів УЗ на один рейс в одному напрямку, км.

Аналогічно можна визначити показники кілометрової роботи локомотивних бригад з розподілом за видами тяги і державам приписки.

Локомотиво-години роботи електровозів і тепловозів у складі поїзда визначаються як суми проміжків часу: у прямому напрямку – від відправлення зі станції відправлення або зміни до відправлення зі станції наступної зміни або до прибуття на станцію призначення; у зворотному напрямку – від відправлення зі станції призначення або від прибуття на станцію зміни до прибуття на станцію наступної зміни або станцію відправлення. Загальні локомотиво-години на рейс в одному напрямку розраховуються як сума відповідних локомотиво-годин електровозів і тепловозів.

Локомотиво-години локомотивів УЗ на території України визначаються за формулою

$$t_{\text{л.УЗ укр}} = \min(t_{\text{р.укр}}; t_{\text{л.УЗ}}), \quad (3)$$

де  $t_{\text{л.УЗ укр}}$  – час роботи локомотивів Укрзалізниці на території України (в голові поїзда) в одному напрямку, год;  $t_{\text{р.укр}}$  – час рейсу в одному напрямку по території України, год;  $t_{\text{л.УЗ}}$  – час роботи локомотивів Укрзалізниці в голові поїзда на території України у одному напрямку, год.

Час роботи локомотивів, що не належать Укрзалізниці, в голові поїзда на території України визначається за формулою

$$t_{\text{л.не УЗ}} = \max(0; t_{\text{р.укр}} - t_{\text{л.УЗ укр}}), \quad (4)$$

де  $t_{\text{л.не УЗ}}$  – час роботи на території України локомотива, що не належить Укрзалізниці, на один рейс в одному з напрямків, год.

Час роботи локомотивів Укрзалізниці за кордоном визначається за формулою

$$t_{\text{л.УЗ кор}} = \max(0; t_{\text{л.УЗ}} - t_{\text{л.УЗ укр}}), \quad (5)$$

де  $t_{\text{л.УЗ кор}}$  – час роботи локомотива УЗ за кордоном на один рейс в одному напрямку, год.

Аналогічно часу роботи локомотивів, визначається час роботи локомотивних бригад.

Показники пробігу вагонів визначаються для максимальної кількості та ядра:

- загальний пробіг вагонів Укрзалізниці – множенням кількості вагонів УЗ у поїзді на загальну довжину маршруту у одному напрямку;
- пробіг вагонів Укрзалізниці по Україні – множенням кількості вагонів УЗ на довжину маршруту в межах України;
- пробіг вагонів, що не належать Укрзалізниці, територією України – множенням кількості вагонів у складі поїзда, що не належать УЗ, на довжину маршруту в межах України;
- пробіг вагонів Укрзалізниці за кордоном визначається як різниця між загальним пробігом вагонів УЗ і пробігом вагонів УЗ територією України.

Якщо поїзд складається з декількох груп вагонів (причіпні вагони, безпересадочні вагони та інше), відповідні показники визначаються для кожної групи вагонів. При цьому відповідні відстані враховуються лише в межах маршруту поїзда, що розглядається. Загальна величина показників для поїзда визначається сумуванням відповідних показників груп вагонів, що входять у склад поїзда.

Вагоно-години в обороті (враховують час у дорозі та простій в пунктах обороту) на один рейс в одному напрямку визначаються для максимальної кількості вагонів та ядра множенням відповідної кількості вагонів на час обороту у відповідному напрямку.

Вагоно-години в русі визначаються для максимальної кількості вагонів та ядра за такими категоріями:

- загальні вагоно-години у русі вагонів Укрзалізниці – множенням кількості вагонів УЗ у поїзді на час рейсу у відповідному напрямку;

- вагоно-години у русі вагонів Укрзалізниці на території України – множенням кількості вагонів УЗ у поїзді на час рейсу територією України у відповідному напрямку;

- вагоно-години у русі вагонів, що не належать Укрзалізниці, територією України – множенням кількості вагонів у складі поїзда, що не належать УЗ, на час рейсу територією України у відповідному напрямку;

- вагоно-години у русі вагонів Укрзалізниці за кордоном – визначається як різниця між загальними вагоно-годинами вагонів УЗ та вагоно-годинами вагонів УЗ на території України.

Місце-кілометри територією України на рейс в кожному напрямку визначаються для максимальної кількості вагонів та ядра за типами місць (спальні, купе, плацкартні, загальні). Місце-кілометри визначаються множенням кількості місць у поїзді на довжину маршруту в межах території України. Якщо поїзд складається з груп вагонів, місце-кілометри визначаються окремо для кожної групи вагонів та підсумовуються.

Місце-кілометри територією України за рік (або інший проміжок часу, який досліджується) визначаються множенням відповідних місце-кілометрів на один рейс на кількість рейсів. При цьому річні місце-кілометри для максимальної кількості вагонів характеризують максимально можливий пасажирооборот, який може бути виконаний поїздом, що досліджується. Фактичний пасажирооборот поїзда буде завжди менший за рахунок того, що, по-перше, кількість вагонів у поїзді не в кожному рейсі відповідає максимальній і при зменшенні пасажиропотоку її зменшують, але не менше ядра. По-друге, завжди має місце не повне заповнення вагонів.

Очевидно, що найбільш точні результати при визначенні рентабельності поїздів можна досягти, коли відомі обсяги перевезення і пасажирооборот кожного поїзда. Така інформація може бути отримана з таких джерел:

- з бази даних системи Експрес-2 про попередній продаж квитків та населеність пасажирських поїздів;

- з даних ручного продажу квитків.

Однак на сьогоднішній час, відсутня статистична звітність щодо обсягів перевезень і пасажирообороту кожного поїзда. Тому оперативна інформація про продаж квитків, хоча вона наявна в системі Експрес-2, не накопичується за поїздами і не видається для аналізу у формі статистичної звітності. Однак така статистична звітність вкрай необхідна при запровадженні системи оперативного визначення рентабельності пасажирських поїздів.

В умовах відсутності точної інформації щодо пасажирообороту кожного поїзда на етапі визначення їх рентабельності пасажирооборот кожного поїзда можна розрахунково визначити шляхом розподілу загального пасажирообороту України між поїздами. Пропонується визначити пасажирооборот поїзда за формулою

$$HL_i = AL_{i\text{я}} + (AL_{i\text{м}} - AL_{i\text{я}}) \cdot \frac{\sum HL - \sum AL_{\text{я}}}{\sum AL_{\text{м}} - \sum AL_{\text{я}}}, \quad (6)$$

де  $HL_i$  – пасажирооборот  $i$ -го поїзда, пас-км;  $AL_{i\text{я}}$  – місце-кілометри територією України для ядра поїзда, місце-км;  $AL_{i\text{м}}$  – місце-кілометри територією України для максимальної кількості вагонів поїзда, місце-км;  $\sum HL$  – загальний пасажирооборот України у дальньому сполученні за відповідний період, пас-км;  $\sum AL_{\text{я}}$  – загальні місце-кілометри територією України всіх поїздів дальнього сполучення для ядер поїздів, місце-км;  $\sum AL_{\text{м}}$  – загальні місце-кілометри територією України всіх поїздів дальнього сполучення для максимальних кількостей вагонів, місце-км.

Розподіл пасажирообороту поїзда за типом місць (спальні, купейні, плацкартні, загальні) виконується пропорційно місце-кілометрам за схемою поїзда, що відповідає максимальній кількості вагонів.

Річні показники пробігів вагонів для максимальної кількості вагонів у поїзді і його ядра визначаються множенням відповідних показників пробігу на один рейс на кількість рейсів поїзда. Крім вказаних показників визначаються пробіги усіх вагонів територією України як сума відповідних пробігів вагонів УЗ та вагонів, що не належать УЗ, територією України.

Визначення пробігу вагонів, що припадає на поїзд за рік (або інший проміжок часу) виконується розподілом загальних вагоно-кілометрів. Пропонується така формула розподілу:

$$nS_i = nS_{i\text{я}} + (nS_{i\text{м}} - nS_{i\text{я}}) \cdot \frac{\sum nS_{\text{пас}} - \sum nS_{\text{я}}}{\sum nS_{\text{м}} - \sum nS_{\text{я}}}, \quad (7)$$



де  $nS_i$  – пробіг вагонів  $i$ -го пасажирського поїзда, ваг-км;  $nS_{i\text{я}}$  – пробіг усіх вагонів територією України для ядра поїзда, ваг-км;  $nS_{i\text{м}}$  – пробіг усіх вагонів територією України для максимальної кількості вагонів поїзда, ваг-км;  $\sum nS_{\text{пас}}$  – загальний пробіг вагонів у дальньому сполученні, ваг-км;  $\sum nS_{\text{я}}$  – пробіг усіх вагонів територією України для ядер поїздів за всіма поїздами у дальньому сполученні, ваг-км;  $\sum nS_{\text{м}}$  – пробіг усіх вагонів територією України для максимальної кількості вагонів у поїздах за всіма поїздами у дальньому сполученні, ваг-км.

Середня населеність вагонів поїзда визначається за формулою

$$P_{\text{нас.}i} = \frac{HL_i}{nS_i}, \quad (8)$$

де  $P_{\text{нас.}i}$  – середня населеність  $i$ -го пасажирського поїзда, пас./ваг.

Середня кількість вагонів у поїзді визначається за формулою:

$$m_i = \frac{nS_i}{L_{\text{укр.}i} \cdot K_{\text{р.}i}}, \quad (9)$$

де  $m_i$  – середня кількість вагонів у  $i$ -му поїзді, ваг.;  $L_{\text{укр.}i}$  – довжина маршруту  $i$ -го поїзда територією України, км;  $K_{\text{р.}i}$  – кількість рейсів на рік (або інший період часу).

Маса поїзда брутто визначається за формулою

$$Q_{\text{бр.}i} = m_i \cdot q_{\text{бр}}, \quad (10)$$

де  $Q_{\text{бр.}i}$  – маса брутто  $i$ -го пасажирського поїзда, т;  $q_{\text{бр}}$  – середня маса вагона брутто у дальньому пасажирському сполученні, т/ваг.

Середня маса вагона брутто у дальньому пасажирському сполученні визначається за формулою

$$q_{\text{бр}} = \frac{\sum PL_{\text{бр}}}{\sum nS_{\text{пас}}}, \quad (11)$$

де  $\sum PL_{\text{бр}}$  – тонно-кілометри брутто у дальньому пасажирському сполученні, т-км брутто.

Показники пробігу електровозів і тепловозів Укрзалізниці в межах дільниць обороту локомотивів в голові поїзда визначаються множенням відповідних пробігів на один рейс на кількість рейсів за рік. Лінійний пробіг локомотивів визначається множенням пробігів в голові поїздів на суму одиниць і коефіцієнтів допоміжного лінійного пробігу до пробігу в голові поїзда (окремо для електротяги і дизельної тяги).

Локомотиво-години роботи з поїздом визначаються множенням відповідних локомотиво-годин на один рейс на кількість рейсів за такими категоріями:

- лок.-год роботи електровозів УЗ;
- лок.-год роботи тепловозів УЗ;
- лок.-год роботи локомотивів, що не належать Укрзалізниці, на території України;
- лок.-год роботи локомотивів УЗ за кордоном.

Загальні локомотиво-години електровозів і тепловозів визначаються шляхом розподілу відповідних показників в цілому по Україні на окремі поїзди пропорційно локомотиво-годинам роботи локомотивів УЗ в цих поїздах.

Бригадо-години роботи локомотивних бригад з поїздом визначаються аналогічно локомотиво-годинам роботи локомотивів з поїздами за тими ж категоріями.

Структура середнього складу поїзда щодо приписки вагонів визначається розподілом середньої кількості вагонів в поїзді пропорційно максимальній кількості вагонів в поїзді.

Вагоно-години в русі за рік усього по Україні визначаються шляхом множення відповідних вагоно-годин для максимальної кількості вагонів на відношення середньої кількості вагонів в поїзді до максимальної кількості вагонів в поїзді.

Вагоно-години вагонів УЗ всього визначаються множенням середньої кількості вагонів УЗ в поїзді на час обороту та на кількість рейсів на рік.

Вагоно-години вагонів УЗ в русі визначаються множенням відповідних вагоно-годин на один рейс на кількість рейсів та на відношення середньої кількості вагонів УЗ в потязі до максимальної кількості вагонів УЗ в потязі.

З використанням розробленої методики визначені показники транспортної та експлуатаційної роботи поїздів дальнього сполучення, які слугуватимуть для розрахунку рентабельності окремого поїзда.

Надійшла до редколегії 22.03.2006.

## THE CONCEPT, TRAITS AND CHARACTERISTICS OF THE DIRECTOR-ORGANIZER-MANAGER PERSONALITY

Після аналізу концепції і значення управління в статті аналізуються риси і характеристика менеджера та хорошого менеджменту. Особлива увага приділяється специфічним характеристикам управління в залізничних фірмах, де аналізуються найважливіші риси, що дозволяють менеджменту досягти своєї мети.

После анализа концепции и значения управления в статье анализируются черты и характеристика менеджера и хорошего менеджмента. Особое внимание уделяется специфическим характеристикам управления в железнодорожных фирмах, где анализируется особо важные черты, позволяющие менеджменту достичь свои цели.

After the analysis of the concept and meaning of management, the paper further analyzes the traits and characteristics of the manager and good management. A special emphasis is put on the specific characteristics of management within railway transportation firms, while the most characteristic traits which enable a manager to achieve the aims of management have been particularly scrutinized. The paper may be useful for all the managers dealing with the tasks of railway industry and railway transport.

### Idea of management

The idea of management has been differently defined in theory. Some authors give short definitions stating thereby, in general, jobs that make the contents of the management concept while the others explain the management concept in a more detailed manner. For example, according to A. Fajol, there are four main functions that constitute the concept of management: planning, commanding, coordination and control.

Management process, according to L. Galik, is composed of: planning, organizing, provision of personnel, appointing, issuing directives, coordinating, reporting and budgeting. P. Fifner and Presthas consider that under the concept of management are understood the skills of management, coordination and motivation of individuals and groups to achieve the wanted aims. Anyway, management is mostly characterised by verbal, intellectual and social doctrines. Management and commanding are often in opposition. Some managers demand consultations and intuitive judgement while the others base management on authority and securing the consent of approval by applying formal force. Traditional comprehensions of management have significantly changed under the influence of the development of sociology and social psychology.

In modern western countries, it is deemed that in respect of requirements and manifestations management has to be brought into compliance with time and place, i.e. situational. S. Hatson holds that under the management of large organisations is understood the influence on people and charging

them with energy in order to work by joint effort on the accomplishment of the objectives of undertaking. He primarily considers defining and managing of operations within an organisation the main function of a manager in order for each person in the manager's team and each part of the joint undertaking to work conscientiously and efficiently in achieving certain goals.

### Features and characteristics of manager's personality

Manager is understood as a person who is the main driving power of organisation thus having to possess certain characteristics which other members of the organisation need not have. Those characteristics for which it is said to stem from the function of a manager enable him to successfully accomplish his tasks.

These special characteristics which a manager should possess cannot be found in every member of organisation simultaneously. Nevertheless, these characteristics should not be regarded so exceptional as not to be possessed by an average man.

The following groups of characteristics are essential:

- health, personal energy and physical endurance;
- dedication to a task, personal engagement in achieving aim, enthusiasm, self-confidence;
- kindness, care and interest in others;
- intelligence (not necessarily deep knowledge of detail or specialties), power to quickly grasp essential elements of requirements and information, and skill to use own knowledge;

- honesty, feeling for moral duty and righteousness, readiness to share merits for success, ability to set criteria for personal and official conduct which will be respected by others;
- convincingness, skill in winning others over to his standpoint, expressed in his decisions;
- power of reasoning, knowledge of weak and strong points in people he works with and skill to reach them in order to obtain maximum gain for administrative organisation;
- loyalty to a matter, and also a person he works with, readiness to defend own work group from outside attacks.

But, all these enumerations do not take into account live people in which virtues and inabilities, advantages and shortcomings are so intertwined and connected that a realistic policy of selecting and developing managerial staff practically has little use of such a list of superlatives. In addition, what is considered a virtue and what represents a real advantage for a man and organisation he works in changes in accord with environment, social structure, prevailing comprehension and circumstances in which the administration acts.

When talking about management staff one should have in mind that the objective of the policy of their preparation is not in finding a superman but in finding the best practical methods based on which individuals among ordinary people could be chosen and developed who specifically fulfil the leadership functions in administrative organisations.

### **Personality Features and characteristics of manager's in railway transport companies**

In Serbia and Montenegro, like in most other countries at the similar level of development, railway transport companies are specific in their organisation and business activity. The organisation is based on subordination and is similar to army organisation. The success or lack of success in the work of managers is transferred to lower levels of management and so on to the lowest operator. This is why the selection of managers can also be a key factor to the success or failure of a company.

**Cognizance of Work Technology.** Selection of managers, from the top to the lowest level, must be grounded above all on expertise the main prerequisite being that a manager would have to know the objectives of the organisation he manages. This means that he must know well the method of work as well as program, aims, tasks, difficulties a transport company encounters, as well as everything else of importance for the realisation of the company's objectives. This must not be interpreted

as if a manager is the most knowledgeable person in all the jobs within such organisation. It must not be even thought of his being simultaneously the best typist and the best programmer and the best accountant and the best economist, etc. He has to know technology of work as well as the job of each of his associates but only to the extent enabling him to coordinate his work with the work of others and thus efficiently carry out the set tasks. It is of essential significance for a manager to have insight into general line, i.e. general direction of work and task in its entirety and not to be lost in certain details and to be able to discern essential from non-essential, important from unimportant, etc.

**Management Ability.** Manager of a railway transport company must possess pronounced management ability. Based thereon he must know how to correctly and skilfully allocate jobs and tasks to his associates, coordinate their work and bring it into conformance in order for the tasks and objectives of the company to be quickly and efficiently carried out. This, at the same time, also means the ability to select the most capable specialists and the most adequate tools for the realisation of a specific task. That is why this feature should not be identified with professional skill as they are two different matters even more so as there are cases where managers who do not have this skill, although professionally qualified, can significantly disturb proper functioning of organisation. Unfortunately, such cases are numerous in practice simply due to the reason that the talent for management is regarded identical to professional qualifications. A manager has to set pace of performance, i.e. provide timely performance of works which are the task or objective of company.

**Sense for Politics.** It is said for a manager that he has to have a sense for politics. This should not be interpreted as engagement of a manager in politics in the literal sense of the word but as his feature composed of the skill to find resources which suit best a given political situation and ability to foresee all consequences and effects that the use of such resources will have on the human mind.

Managerial position of the top managers, foremost because of the strategic significance of railway transport companies, is usually also connected with participation in governing political structures, however, realistically, managers of railway transport companies do not have possibility to actively and successfully work in both organisations.

**Intelligence.** A successful manager should be intelligent. Nevertheless it should be noted that a manager, although he, as a rule, should be more intelligent than the people he manages, must not

stand out too much by his intelligence. Too big a difference in intelligence causes exceptionally intelligent managers to abandon the role of a manager and either become cultural leaders or remain uncomprehended. It turned out that too intelligent persons do not succeed as political leaders and managers primarily due to the fact that their values, which they accept in such cases, are far above the value of masses. Masses prefer to be lead, even if not so successfully, by less intelligent managers or by managers they can understand, i.e. those who are closer to the masses. Although these conclusions need not be accepted, the fact remains that in everyday life intelligent managers are not always successful in their job.

**Energy.** A successful manager should be energetic. Such manager is persistent in performance and at the same time sufficiently strong in motivating others and he also counteracts negative tendencies which may occur inside organisation. A manager must always take into account the negative tendencies which represent quite natural occurrence in a life of an organisation and must be assiduous in their eradication. It is only natural that members of a collective resist to organisation's new methods and ideas due to bureaucratic and other habits primarily because they bring uncertainty. As a rule, each newly proposed idea encounters resistance which is explained by its being unnecessary, uncertain, insufficiently useful and expensive. Such occurrences must be overpowered both materially and intellectually. In realisation of such ideas it is important that a manager must not be reluctant as that would lead to the destruction of his authority. This does not mean that one should insist on realisation of a certain idea at any cost especially if a manager, during its realisation, concludes that desired objective would not be accomplished and that undesired effects would result from the procedure. In such cases it is more reasonable and better to acknowledge a mistake than to persistently insist on carrying out of the objective solely in order for the manager's authority not to be damaged. On the contrary, in such situations, manager wins sympathy of the collective as an indulgent and reasonable person and thereby his reputation not only will be kept but also increased by such a gesture.

**Courage.** To be successful, manager must be brave. This kind of courage is the one which manager should express when certain critical moments in the operation of organisation occur and when he has to accept responsibility for undertaking certain ultimate, often unpopular actions.

Manager must exhibit certain courage in such situations and unless he does so he will unavoidably lose authority in the eyes of the work collective. In this way cohesion and strength of the organisation will be shattered, too.

**Initiative.** To be successful, manager must be able to take initiative. He should avail of creative initiative. This means that a manager should try to discover, adopt and apply new material resources, new work methods, new organisational decisions, etc. Even if the resources are of not great opportunities, manager must not deceive himself by applying old patterns in organisation. He must always strive for finding novelties in his environment. Lack of incentive for sure affects manager's authority. If manager is not sufficiently incentive his authority will be based only on hierarchical evaluations and discipline but not on the assurance in his capabilities that he deserves such organisation.

Initiative does not allow routine and is often said to be a form of bravery in work. This is why a manager must take care of this element. He must have a critical position with respect to the work performed to that moment and endeavour its improvement and rationalisation, and must also try to make the work easier, more purposeful and of better quality. He would thereby contribute not only to the efficiency of the organisation he manages but also strengthen and enhance his authority. It is very important that a manager must never be completely satisfied either with the work of his associates or his own because that always results in self-satisfaction as well as demoralisation in work.

**Objectivity.** To be successful, manager should be objective in relations with his associates, their successes and failures, always interested in objective reasons without any subjectivism.

Manager must always have the same attitude towards all of his associates. He must not regard them with «unequal eyes», i. e. be «indulgent» to some while biased, strict and incorrect to others. Nevertheless, this does not mean that people who deserve so owing to their success in work should not be emphasized. Manager should reward, commend and stand them out in order to make them a model for others. Those people will then be aware that their work has really been followed up and righteously evaluated and respected which is a good stimulus for better achievement and creation of a suitable ambience for other members of the collective to follow the example and contribute to efficient materialisation of the organisation's goals. The manager's position must be objective. If it is grounded on sympathies and antipathies then it significantly contributes to the diminishing of manager's authority.

**Talent for teaching.** Education is the transfer of specific criteria of social values and acquired knowledge to others. To be successful, manager must have a talent for teaching. In fact, a manager is a tutor to his associates. Of course, in this respect care must be taken that the manager does not exhibit a demagogic attitude or have so-called double standards. A manager must know that in the educational sense he can influence his associates to a significant extent by his personal example. This must not be an ad hoc task, but, on the contrary, a permanent striving. He must take care and choose the best means for education of each individual, each associate, especially taking into account that people are different and can be influenced differently in educational sense, depending on given circumstances and opportunities. A manager must have a particular method of work with younger staff as every beginning is sensitive, cautious, timid, inexperienced, etc. Success and results achieved by a young associate in an organisation and his development, devotion and even survival in the organisation often depend on the manner in which manager acted towards him in the first days.

**Maturity.** It is said for a manager that he has a potential of a good manager if he also has a mature behaviour. A person behaves maturely if he does not react impulsively, does not constantly highlight himself, if he is not stubborn or negative... A manager must not be strained, yet he may not be too independent either.

A mature manager is:

- tolerant to the opinions, needs and ideas of other people;
- independent in his affairs and personally makes decisions about his own actions;
- accepts responsibility;
- calm and try to have the same effect on his environment;
- long-term work motivated, saves earnings and plans costs, taking care about his possibilities;
- does not emphasise his merits in front of others;
- able to say no to himself and stick to it;
- understands others;
- accepts unpleasant duties without feeling sorry for himself;
- disciplined;
- able to make decisions when required and without faltering prior to decision-making;

- has good friends of both gender, does not speak vulgarly, cherishes friendship;
- aware of his shortcomings, does not consider that nothing can be done in that respect;
- able to accept criticism, not prone to outbursts and does not take revenge for it.

Immaturity episodes are held against the manager, and should he have several signs of immaturity, and exhibit them often, the less people shall have confidence in him. This will certainly, slowly but surely, reflect on the manager's authority.

### Selection of manager

All the stated criteria should be observed when selecting a manager. A question could rightly be put here: «How to act in situations when we are not able to find a manager who would meet all these criteria?» It is a fact that it is impossible to find a manager who fulfils these requirements entirely. However, if we know the characteristics of good management then we can develop them even when they are not sufficiently pronounced.

A conclusion can be drawn that whether there will be conditions in an organisation which make work pleasant depend on whether there are sufficient business-like, capable, independent managers. Of course, in this respect one should also bear in mind the fact that the most important component of a productive ambience is the style of management, because managers are those who decide to which extent an organisational structure will become merciless, i.e. to which extent will those higher in the hierarchy press the others who are lower instead of convincing them of the inevitability of the proposed actions.

### BIBLIOGRAPHY

1. Marković B. – «School Organisation and Management» – Teacher Training College, Užice, 2003, SCG.
2. Bulat V. – «Industrial Management» – ICIM, Kruševac, 2001, SCG.
3. Buckingham M., «What Great Managers Do», Harvard Business Review, Vol. 83, No.3, 2005.
4. «Employee Motivations the Organizational Environment and Productivity», Accel-Team, 2005.
5. Management vs. Leadership, 1996, [www.itstime.com](http://www.itstime.com).

Надійшла до редколегії 01.02.2006.

## МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО АНАЛІЗУ ВИТРАТ ПІДПРИЄМСТВ ЛОКОМОТИВНОГО ГОСПОДАРСТВА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ

Присвячена розробці методичних підходів щодо аналізу витрат підприємств локомотивного господарства залізничного транспорту, суть якого полягає в необхідності проведення як повного аналізу витрат, так і за окремими видами перевезень, видами сполучень та видами тяги з метою підвищення інформативності та ефективності управління ними.

Посвящена разработке методических подходов к анализу расходов предприятий локомотивного хозяйства железнодорожного транспорта, сущность которого состоит в необходимости проведения как полного анализа расходов, так и по отдельным видам перевозок, видам сообщений и видам тяги с целью повышения информативности и эффективности управления ими.

Article is devoted to working out the systematic approaches to locomotive enterprises expenses analysis in railway transport. Its main idea lies in the necessity of both conducting the full expenses analysis and the analysis of particular transportations, services and types of traction. This aims getting more information and efficiency in the expenses control.

Зростання ролі та значення залізничного транспорту в економіці національного господарства України в умовах формування та розвитку сучасних ринкових відносин вимагає суттєвих перетворень системи управління економічною діяльністю в галузі. Основним напрямком цих перетворень може бути впровадження сучасної системи управління витратами на залізничних підприємствах України.

Теоретичні проблеми та практичні аспекти комплексного вирішення завдань щодо підвищення ефективності функціонування та розвитку залізничного транспорту знайшли відображення у працях вітчизняних вчених: О. О. Бакаєва, Б. В. Букринського, В. О. Дергачова, В. М. Загорулька, М. І. Котлубая, Ю. Ф. Клава, А. М. Новикової, М. Т. Примакова, В. Л. Евенка, Є. М. Сича, Ю. М. Цветкова та ін.

Належне місце у розробці цих проблем займають роботи російських вчених: А. П. Абрамова, І. В. Белова, В. Г. Галабурди, В. А. Дмитрієва, А. В. Крейніна, В. М. Лапідуса, В. Н. Лівиця, Л. А. Мазо, Д. А. Мачерета, В. А. Персіанова, Н. П. Терезиної, М. М. Толкачової, Е. Д. Ханукова, Р. М. Царьова.

Водночас науковим і практичним напрямкам щодо проблеми ефективного управління витратами у локомотивному господарстві в сучасних умовах функціонування не приділялось достатньої уваги. Ефективне управління витратами цих підприємств неможливе без якісного аналізу їх господарської діяльності. Тому актуальною є розробка якісно нових підходів щодо проведення такого аналізу в умовах ринкової трансформації економіки.

Залізничний транспорт, забезпечуючи потребу населення і багатогалузевого національного господарства країни в перевезеннях, використовує значну кількість ресурсів. Так, у структурі загальних експлуатаційних витрат Укрзалізниці частка витрат на дизельне паливо за рік складає більше 10 % та майже 9 % витрат на електроенергію. На перевезеннях зайнято близько 370 тис. чол. [1]. За таких масштабів споживання усіх видів ресурсів оптимізація їх витрачання має загальнодержавне значення.

Як правило, під оптимізацією витрат локомотивного господарства залізниць розуміється забезпечення необхідного обсягу і якості перевезень вантажів (безпека руху поїздів, цілість вантажів, швидкість руху поїздів) і пасажирів (безпека руху поїздів, комфортність, швидкість руху поїздів) та витрат підсобно-допоміжної діяльності за найменших витрат. Вирішення проблеми оптимізації витрат досягається шляхом розробки і впровадження комплексного механізму управління господарською діяльністю на залізничному транспорті.

Управління витратами – одна зі складових цього механізму. Вона включає облік, планування і нормування витрат, контроль норм і планових завдань, детальний аналіз причин змін витрат і собівартості перевезень, у тому числі і порівняльний аналіз питомих витрат однотипних підрозділів на виконання однакових робіт, пошук і мобілізацію організаційних, технічних і технологічних резервів зниження собівартості робіт з перевезень, стимулювання економії витрат.

Комплексність підходу в розробці механізму управління витратами – найважливіша умова ефективності його функціонування. Тому метою статті є розвиток методичних підходів щодо аналізу витрат підприємств локомотивного господарства залізничного транспорту.

Створення механізму управління витратами припускає, насамперед, методичне опрацювання й узгодження окремих його ланок. Так, методики планування й обліку витрат повинні забезпечити формування необхідної інформації для аналізу причин відхилень їх фактичних розмірів від передбачених відповідними бюджетами або сформованих у попередніх звітних періодах. У процесі розробки бюджетів витрат необхідно передбачати мобілізацію виявлених під час аналізу резервів поліпшення діяльності. Економічне стимулювання працівників потрібно організовувати виходячи з виявленого в процесі аналізу внеску трудових колективів у результати господарської діяльності. Результати порівняльного аналізу господарювання однотипних підрозділів можуть бути основою для прийняття рішень про поширення передового досвіду організації виробництва і т. ін.

Основними завданнями аналізу витрат є: оцінка причин змін їх абсолютних величин і питомих витрат (собівартості продукції, робіт, послуг) у порівнянні з планом (бюджетом), з даними попереднього звітного періоду, з даними інших однотипних підрозділів; виявлення впливу на витрати і собівартість продукції, робіт або послуг внутрішніх і зовнішніх факторів, розрахунок упущених можливостей зниження собівартості робіт і очікуваного зростання ефективності виробництва за рахунок кращого використання основних засобів, трудових, матеріальних і енергетичних ресурсів.

Для аналізу можуть використовуватись результати планових розрахунків показників обсягів перевезень і бюджетів витрат, звітів за основними показниками виробничо-фінансової діяльності підприємств залізничного транспорту. У процесі доаналітичної обробки вихідної інформації вони можуть піддаватися додатковому групуванню [2].

В основі методики аналізу витрат на виробництво будь-якої продукції, робіт або послуг лежить їх розподіл за ознакою залежності від обсягів виробництва. Вважається, що зміна обсягів виробництва викликає відповідну зміну залежних (змінних) витрат. Цей же фактор позначається і на рівні собівартості продукції: зі збільшенням обсягу виробництва знижується собівартість продукції, обчислена в частині умовно-постійних витрат, і навпаки.

Очевидно, що результати оцінки впливу даного й іншого факторів будуть визначатися в тому числі і в науковій обґрунтованості розмежування витрат на залежні і не залежні від обсягів виробництва.

Як уже зазначалося, витрати на перевезення складаються під впливом цілої низки факторів. Одні з них є для підприємства зовнішніми, що не залежать від його працівників, а інші – внутрішні – навпаки, відображають якість роботи колективу, його зусилля, спрямовані на підвищення ефективності виробництва. Тому правильно судити про витрати на перевезення трудових, матеріальних, енергетичних і фінансових ресурсів можна тільки за результатами аналізу впливу окремих факторів на витрати.

Вивчення структури витрат на виробництво за статтями витрат, елементами витрат, видами виробів, за центрами витрат або за видами діяльності є одним з напрямків аналізу експлуатаційних витрат локомотивного господарства.

Групування витрат за призначенням, тобто за статтями калькуляції, вказує, куди, у яких розмірах і на які заходи були витрачені ресурси.

Групування витрат за їх елементами необхідне для того, щоб вивчити їх матеріало-, енерго-, трудо-, фондоємність і встановити вплив технічного прогресу на структуру витрат.

Аналіз структури експлуатаційних витрат починають з визначення питомої ваги окремих елементів у загальній сумі витрат і їх зміни в порівнянні з планом. Планування й облік експлуатаційних витрат ведуть за елементами витрат і калькуляційними статтями. При цьому залежно від обсягу виробництва усі витрати потрібно розділити на постійні, що не залежать від динаміки обсягу виробництва, і змінні, залежні від обсягу виробництва. Це складна і трудомістка частина аналізу.

Аналіз витрат за елементами в цілому по господарству, службі і структурному підрозділу може бути виконаний як в порівнянні з планом, так і в порівнянні з базисним роком.

Вертикальний і горизонтальний аналіз зміни витрат у порівнянні з базисним і плановим періодами як в абсолютних, так і у відносних величинах, надає необхідну інформацію для управління витратами, але не дає можливості оцінити ефективність їх використання. Оцінити правильність використання трудових і матеріальних ресурсів можна тільки на основі факторного аналізу витрат і узагальнення його результатів.

Факторний аналіз витрат можна виконати різними методами. Однак, виходячи з інформаційної бази, на залізничному транспорті традиційно використовують метод корегувань.

Таким чином, ми пропонуємо аналіз експлуатаційних витрат здійснювати у три етапи:

1. Горизонтальний і вертикальний аналіз або оцінка абсолютної зміни експлуатаційних витрат у порівнянні з планом, з даними минулого року та оцінка зміни структури витрат.

2. Факторний аналіз експлуатаційних витрат і собівартості.

3. Оцінка ефективності використання витрат і розробка заходів щодо зниження експлуатаційних витрат (прийняття управлінських рішень).

Інформаційною базою аналізу структури витрат структурних підрозділів локомотивного господарства залізничного транспорту є дані бухгалтерського обліку і галузевої статистичної звітності. Як показали дослідження, частка залежних від обсягу робіт витрат неоднакова для різних структурних одиниць підприємств залізничного транспорту, і єдиного методичного підходу щодо вирішення цього дуже важливого питання для планування, управління й аналізу витрат у даний час немає. Пропонується проводити аналіз за трьома напрямками: за видами діяльності; за статтями і елементами витрат; за видами перевезень, видами тяги і видами сполучення. Структура за видами перевезень та видами тяги впливає на рівень витрат та собівартість перевезень. Тому важливо проводити аналіз за визначеними складовими.

Як базисні дані при аналізі витрат звичайно приймають відомості про планові витрати або витрати, що склались у попередньому звітному періоді. Однак може бути поставлена задача виявити відхилення від сум витрат від встановлених нормативів і лімітів, від рівня цих показників. Цей вид аналізу є досить трудомістким як на етапі збору інформації та її підготовки, так і на етапі власне аналізу, але разом з тим, дає найбільший обсяг інформації для розробки перспективних планів, управління витратами й оцінки ефективності діяльності підприємства.

Основним недоліком запропонованого методичного підходу до аналізу витрат підприємств локомотивного господарства є залежність ступеня деталізації витрат від обсягу наявної аналітичної інформації. Ще одним недоліком в проведенні даного виду аналізу є відсутність відповідної номенклатури витрат. Діюча номенклатура не враховує поділ витрат за видами перевезень, що ускладнює облік витрат та аналіз. Тому пропонується проводити розподіл витрат за видами перевезень, видами тяги та видами сполучення відповідно до обсягу виконаних робіт та пробігу.

Вплив на зміну витрат середньої собівартості 10 зведених т·км бруто при аналізі розглядається у розрізі окремих підрозділів, служб та локомотивного господарства в цілому.

На загальну величину експлуатаційних витрат впливають два фактори: обсяг перевезень вантажів і пасажирів та собівартість перевезень.

Взаємозв'язок цих факторів можна подати у вигляді формули

$$E_e = \sum Pl_{\text{прив}} C, \quad (1)$$

де  $E_e$  – загальна сума експлуатаційних витрат;  $\sum Pl_{\text{прив}}$  – зведені т·км;  $C$  – собівартість зведених т·км.

Для аналізу експлуатаційних витрат і собівартості перевезень використовують інформацію про звітні й планові витрати на перевезення.

На першому етапі аналізується така модель взаємозв'язку факторів:

$$E_e = \sum Pl_{\text{прив}} C \quad (2)$$

Методом корегувань дається попередня оцінка виконання плану витрат у відповідності зі змінами обсягу робіт і собівартості.

Вплив обсягу робіт розраховується за такою моделлю:

$$E_e = E_{e,0} \cdot I_{\sum Pl} - E_{e,0}. \quad (3)$$

Вплив собівартості розраховується

$$\Delta E_{e(C)} = E_{e1} - E_{e,0} I_{\sum Pl}. \quad (4)$$

Загальна зміна витрат дорівнює сумі цих факторів

$$\Delta E_e = E_{e(\sum Pl)} + \Delta E_{e(C)}. \quad (5)$$

Для характеристики виконання плану необхідно розрахувати «право» на витрати шляхом коректування планових витрат у залежній від обсягу робіт частині на виконаний обсяг перевезень за такою формулою:

$$\Delta E_e^{\text{право}} = E_{3,0} I_{\sum Pl} + E_{н.з.о}, \quad (6)$$

де  $\Delta E_e^{\text{право}}$  – «право» на витрати з урахуванням змін обсягу перевезень;  $E_{3,0}$  – залежна від обсягу робіт частина витрат;  $E_{н.з.о}$  – незалежна від обсягу частина витрат;  $I_{\sum Pl}$  – коефіцієнт корегування

$$I_{\sum Pl} = \frac{\sum Pl_1}{\sum Pl_0}. \quad (7)$$



Сума економії (перевитрат) розраховується таким чином:

$$\Delta E_{e(c)} = E_{e1} - \Delta E_e^{\text{право}}. \quad (8)$$

Якщо «право» на витрати більше від фактичних витрат, то план виконаний і отримана економія, а якщо «право» менше фактичних витрат – план не виконаний і отримані перевитрати.

Особливим об'єктом аналізу є оцінка зміни витрат і собівартості окремих видів робіт у локомотивному господарстві. Результат порівняння – це вплив двох груп факторів.

Перша група об'єднує фактори: трудомісткості, матеріаломісткості, енергоємності і ремонтосмості робіт; друга група: причини змін цін на матеріальні, енергетичні ресурси, ставок оплати праці. Фактори першої групи, як видно, відображають якість роботи працівників підприємства, фактори другої групи складаються переважно під впливом зовнішніх умов.

Що стосується матеріальних витрат, питома вага яких є найбільшою у структурі експлуатаційних витрат, то ґрунтуючись на вивченні особливостей роботи структурного підрозділу локомотивного господарства, можна виокремити основні причини відхилень від норм матеріальних витрат:

- відхилення за обсягом використання ресурсів;
- відхилення за цінами на ресурси;
- відхилення за нормами витрат ресурсів.

Скороченню витрат на перевезення можуть сприяти впровадження системи таких технологій: прогресивного нормування, постійного аналізу та моніторингу фактичного впливу різних факторів на питомі витрати палива та електроенергії, ресурсозберігаючих техніки і технологій.

На залізничному транспорті проведення повного аналізу витрат структурних одиниць стало б передумовою інформативності з погляду управління цими витратами. Таким чином, під час проведення аналізу витрат в локомотивному господарстві необхідно враховувати їх відповідно за видами перевезень, видами тяги, видами сполучення та за елементами і статтями витрат по кожному виду сполучення. Виявлення відхилень за цими параметрами дасть можливість визначити резерви зниження витрат, і, як наслідок, приймати раціональні та ефективні управлінські рішення щодо напрямків оптимізації витрат на перевезення на залізничному транспорті.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Залізничний транспорт України: Роки стабілізації та підйому (1996–2003) / Наук. керівн. Ю. М. Цветов, М. В. Макаренко; Викон. Н. С Соколовська, Т. С. Рябчун, Т. В. Горяїнова, О. В. Прихненко, О. В. Левченко та ін. – КУЕТТ, 2005. – 298 с.
2. Комплексный анализ хозяйственной деятельности организаций железнодорожного транспорта // Иваненко А. Ф. Анализ хозяйственной деятельности на железнодорожном транспорте. – М., 2004. – С. 126–305.
3. С.Ф. Голов. Управлінський облік. 2-ге вид. – К.: Лібра, 2004. – 704 с.

Надійшла до редколегії 10.03.2006.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ ЗАПАСАМИ С ПОЗИЦИЙ ЛОГИСТИКИ

Наведений методичний інструментарій, що дозволяє кількісно оцінювати, аналізувати і прогнозувати різні варіанти формування стратегії логістичної системи керування матеріальними запасами на підприємстві.

Представлен методический инструментарий, позволяющий количественно оценивать, анализировать и прогнозировать различные варианты формирования стратегии логистической системы управления материальными запасами на предприятии.

The article represents a methodical kit, allowing for quantitative estimation, analysis and prognostication of different options for forming the strategy of the logistic inventories control system at an enterprise.

Решение проблемы повышения эффективности управления материальными запасами в современной экономической среде требует перехода от традиционных методов управления к логистическим, позволяющим включить управление запасами в состав основных направлений активно осуществляемой предприятием стратегии своего рыночного поведения [1]. Поэтому особую актуальность приобретает создание методического инструментария, позволяющего количественно оценивать, анализировать и прогнозировать различные варианты формирования стратегии управления запасами.

Стратегия управления материальными запасами включает разработку обоснованных норм запасов, их планирования, учет, анализ, контроль за фактическим состоянием и оперативное регулирование. Выполнение перечисленных функций требует значительных затрат. Для повышения эффективности процесса управления материальными запасами и удешевления контроля их состояния в логистической практике используются методы структуризации материальных ресурсов.

Наиболее распространенным является ABC-анализ (рис. 1), основанный на разбиении всей номенклатуры используемых материальных ресурсов на три неравноценных подмножества А, В и С в зависимости от удельного веса стоимости каждого вида материальных ресурсов в общих издержках на материальные ресурсы [2; 3].



Рис. 1. ABC-анализ

Удельный вес наименования материальных ресурсов в их общей номенклатуре, % (см. рис. 1):

— класс А — 15 % всей номенклатуры материальных ресурсов составляют 80 % их стоимости;

— класс В — 35 % наименования материальных ресурсов составляют 15 % их общей стоимости;

— класс С — 50 % наименования материальных ресурсов составляют 5 % их общей стоимости.

Удельный вес наименований материальных ресурсов в их общей номенклатуре, % (см. рис. 1):

— класс Х — 55 % наименований материальных ресурсов хорошо предсказуемых;

— класс Y — 32 % наименований материальных ресурсов потребляются в колеблющихся объемах;

— класс Z — 13 % наименований материальных ресурсов потребляются эпизодически.

Результатом проведения ABC-анализа является построение кривой Лоренца, которая показывает, что большая часть издержек, связанных с содержанием материальных ресурсов (75...80 %) приходится на незначительное число наименований. Это материальные ресурсы класса А. В количественном отношении они составляют 15 % от общего числа наименований всех материальных ресурсов. Примерно 15 % общих издержек связано с приобретением материалов класса В и только 5 % общих издержек приходится на материалы класса С, удельный вес которых в общей номенклатуре используемых материальных ресурсов составляет 50 %. Результат ABC-анализа может быть дополнен результатами XYZ-анализа (рис. 2), что позволит определить не только наиболее значимые для предприятия виды материальных ресурсов, но и разделить их на классы в соответствии с устойчивостью предъявляемого на них спроса.

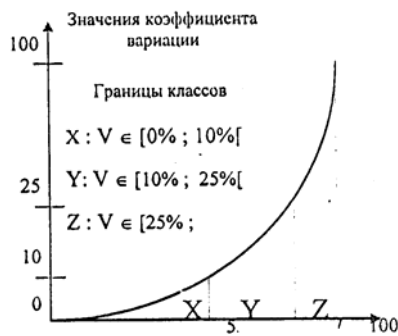


Рис. 2. XYZ-анализ

Проведение XYZ-анализа предполагает разбиение материальных ресурсов на три класса X, Y и Z в зависимости от частоты их потребления. К классу X относят материальные ресурсы, которые характеризуются постоянной величиной их потребности, небольшими ее колебаниями и высокой точностью ее прогнозирования. К классу Y относятся материальные ресурсы, которые характеризуются заранее известными тенденциями в потреблении (например, сезонными колебаниями) и средними возможностями прогноза. К классу Z относят материальные ресурсы, которые характеризуются нерегулярным потреблением и отсутствием при этом каких-либо тенденций, неточного прогнозирования оценок.

Результатом совместного проведения анализов ABC и XYZ является матрица, состоящая из девяти различных классов материальных ресурсов (рис. 3). Класс, к которому относятся материальные ресурсы, показывает их значимость при разработке общей стратегии управления материальными запасами и определяет методы их регулирования.



Рис. 3. Образование классов деталей в результате ABC и XYZ анализа

Как видно из приведенного рис. 3, наиболее пристального внимания требуют материальные ресурсы, относящиеся к классу AX. Стратегия управления этой группой материальных ресурсов характеризуется особой тщательностью при определении момента подачи заказа и опреде-

лении размера очередной партии поставки, а также строгим автоматизированным контролем за состоянием запасов этих материальных ресурсов в режиме «on-line».

При разработке такой стратегии ставится цель определить в конкретной ситуации наиболее рациональную норму запаса, то есть отыскать такие моменты и размеры поставок, при которых достигается минимум совокупных затрат, связанных с хранением и пополнением запасов и, вместе с тем, спрос удовлетворяется полностью. В качестве инструмента согласования противоречивых целей и корректного выбора оптимальной стратегии управления запасами может быть использована экономико-математическая модель.

Экономико-математическое моделирование – один из основных научных методов принятия управленческих решений. Применение методов экономико-математического моделирования наиболее эффективно при анализе многофакторных процессов, к которым относится и управление запасами.

На эффективность управленческих решений в сфере управления запасами оказывает влияние большое количество организационно-экономических, ресурсных и временных факторов и ограничений.

Построение модели управления запасами помогает привести сложные и подчас неопределенные факторы, связанные с определением оптимального размера запаса, в логически стройную систему, доступную для детального анализа. Модель позволяет выявить альтернативные решения и оценить результаты, к которым они приводят, а также дает возможность определить, какая исходная информация требуется в процессе решения задачи. Если модель построена, то ее можно использовать для отыскания значений параметров оптимальной стратегии управления запасами, т. е. таких значений управляющих параметров, которые обеспечивают оптимальное значение критерия качества при заданных исходных данных.

Методическим и методологическим аспектам построения экономико-математических модели систем управления запасами посвящены работы Нейлора Т., Хедли Дж., Черчмена А., Хруцкого Е. А., Мельникова М. М. и др. Однако следует заметить, что в силу целого ряда причин эти разработки не были востребованы в практической деятельности украинских предприятий. Одна из таких причин – существование планово-распределительного механизма материальных ресурсов.

С переходом к свободной купле-продаже продукции, коммерциализацией деятельности товаропроизводителей и рыночной инфраструктуры и рядом других принципиальных преобразования в Украине отношение к материальным запасам со стороны хозяйствующих субъектов радикально изменилось. Рационализация запасов стала одним из наиболее значимых и доступных резервов достижения более высоких экономических результатов.

Учитывая вышеизложенные предпосылки, для целей проектирования логистической системы управления запасами материальных ресурсов, относящихся к классу АХ, предлагается использовать имитационную экономикоматематическую модель [4]. Данная модель позволит исследовать последствия изменения основных параметров стратегии управления запасами, а также рассмотреть возможные результаты при различных сценариях проведения имитационного эксперимента.

Цель имитационного эксперимента сводится к поиску оптимального распределения поставок в моделируемую систему управления запасами. В процессе имитации определяется величина партии поставки и «плавающая точка заказа», при которых сумма издержек на хранение запаса, издержек, связанных с организацией поставок и потерь, вследствие дефицита запаса минимизируется.

Модель управления запасами описывается следующими параметрами, переменными и функциональными соотношениями.

Параметры:  $C1$  – издержки на хранение ед. продукта в течение одного дня, грн;  $C2$  – издержки на организацию одной поставки, грн;  $C3$  – издержки, связанные с нехваткой единицы продукта, грн;  $BT$  – начальный уровень запаса в системе, нат. ед.;  $T$  – продолжительность периода имитации, дн.;  $D$  – среднесуточная потребность в данном продукте, нат. ед.;  $PLT$  – время поставки, дн.

Переменные системы:  $TC1$  – полные издержки на хранение запаса, грн;  $TC2$  – полные издержки, связанные с организацией поставки, грн;  $TC3$  – полные издержки дефицита продукта на складе, грн;  $TCI$  – полные издержки системы управления запасами, грн;  $CLOCK$  – текущее время в системе, дн.;  $T$  – срок очередной поставки, дн.;  $VI$  – количество запаса на складе, нат. ед.

Переменные управления:  $EOQ$  – объем одной партии поставки, нат. ед.;  $ROP$  – «точка заказа», нат. ед.

Функциональные отношения:

$$TCI = TC1 + TC2 + TC3.$$

Реализация модели осуществляется при следующих допущениях: потребление данного вида продукта происходит равномерно и среднесуточная потребность в данном продукте является постоянной величиной; время поставки также является постоянной величиной.

Блок-схема имитационного эксперимента на основе описываемой модели представлена на рис. 4. Начало процесса имитации соответствует моменту поставки первой партии данного продукта на склад (блок 3).

Переменным  $TC1$ ,  $TC2$ ,  $TC3$ ,  $TCI$  присваиваются нулевые значения. Системное время также равно нулю. На следующем этапе системные часы переводятся на один день вперед (блок 4) и осуществляется проверка соответствия системного времени заданной длительности периода имитации (блок 5).

В случае если период имитации завершен, рассчитываются результаты: сумма полных издержек на формирование и хранение запасов в системе (блок 6, 7), если же имитация может быть продолжена, проверяется, не совпадает ли системное время с моментом осуществления поставки по сделанному ранее заказу (блок 8). Если результат этой проверки положителен, то количество запаса на складе увеличивается на величину партии поставки  $EOQ$ .

На следующем этапе независимо от результата работы блока проверки (8) из наличного запаса вычитается значение среднесуточной потребности (блок 10).

Полученная разность может оказаться отрицательной, то есть со склада вывезена вся продукция и образовался дефицит. В этом случае рассчитываются издержки, возникающие вследствие дефицита запаса (блок 12), а значение текущего запаса на складе обнуляется (блок 13). Далее, определяются издержки хранения на складе оставшейся части запаса (блок 14).

Оставшаяся часть запаса также сравнивается с определенной ранее «точкой заказа» и, в случае, когда оставшаяся величина запаса меньше установленной в «точке заказа» и системное время совпадает со временем поставки, оформляется заказ на поставку следующей партии (блок 18) и определяется суммарные издержки на оформление заказа (блок 17). Далее, процесс имитации повторяется до окончания периода моделирования  $TT$ .

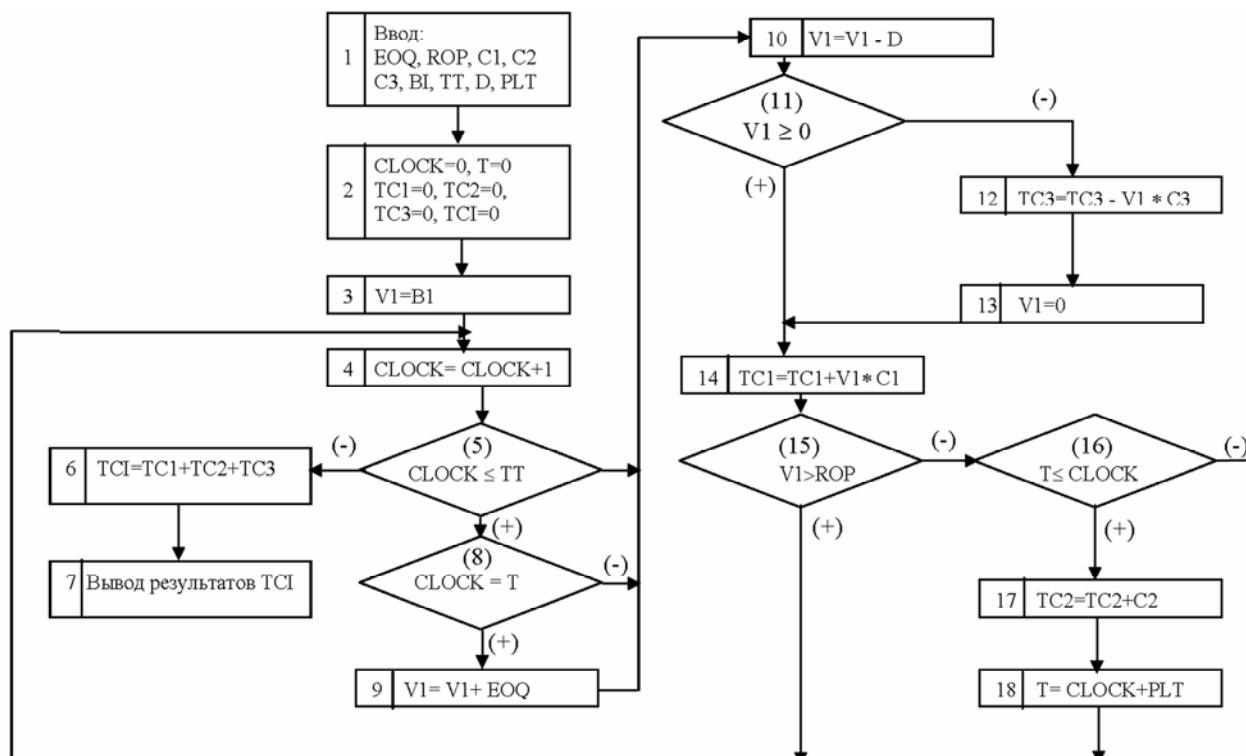


Рис. 4. Блок-схема имитационного процесса определения оптимальных параметров стратегии управления запасами

### Вывод

Таким образом, при моделировании исследуется влияние различных значений переменных управления (объема партии поставки EOQ и «точки заказа» ROP) на общую сумму полных издержек, связанных с формированием и хранением запасов. Модель дает возможность оценить чувствительность результатов к воздействию ключевых параметров системы управления запасами.

Представляется, что предлагаемая модель может стать составной частью логистического инструментария для определения и выбора параметров системы управления запасами материальных ресурсов класса АХ. Проведение многовариантных расчетов на ее основе позволяет выявить основные характеристики функционирования системы управления запасами, оценить и выбрать оптимальные значения стратегических параметров системы, исследовать влияние величины удельных издержек по фор-

мированию и хранению запасов, а также величины удельных издержек дефицита на оптимальную величину полных издержек в системе управления запасами.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пшинько А. Н. Планирование логистической стратегии транспортных предприятий / А. Н. Пшинько, Н. В. Савицкий, С. А. Корецкая, В. Н. Сердюк // *Економіка і управління*: Зб. наук. пр. – К.: КУЕТТ, – 2004, – Вип. 2. – С. 47–53.
2. Аникин Б. А. Логистика: Учеб. пособие для студ. вузов / Б. А. Аникин, Р. З. Акбердин, Т. А. Родкина, Л. С. Федоров, Н. И. Заичкин. – М.: ИНФРА-М, 2002.
3. Радионов А. Р. Логистика. Нормирование сбытовых запасов и оборотных средств предприятия: Учеб. пособие / А. Р. Радионов, Р. А. Радионов. – М.: Дело, 2002. – 415 с.
4. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Пер с англ.; Под ред. Е. К. Масловского. – М.: Мир, 1978. – 418 с.

Поступила в редколлегию 15.03.2006.

І. В. МАЛИШКО, Л. І. МАЛИШКО, Л. В. ПИЛИПЕНКО (Укрзалізниця)  
В. І. РОМАНКО (ДПТ)

## СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ

Наведено аналіз споживання електроенергії залізничним транспортом України на тягу поїздів, а також іншими споживачами за роки незалежності. Окремо показано аналіз заходів щодо енергозбереження.

Представлен анализ потребления электроэнергии железнодорожным транспортом Украины на тягу поездов, а также другими потребителями за годы независимости. Отдельно представлен анализ мероприятий по экономике энергоресурсов.

The article presents analysis of energy consumption for train traction purposes and for supplies of other consumers in railway industry of Ukraine during the years of independence. It gives a separate analysis of energy-saving measures.

Сучасний залізничний транспорт – це високотехнологічний механізм із значним споживанням енергоресурсів для забезпечення своєї господарської діяльності. Щорічно залізницями України споживається значна кількість дизпалива, електроенергії, газу, вугілля, мазуту паливного та інших видів паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). В умовному обчисленні це складає 3 250...3 350 тис. т ум. палива. Близько 60 % з усіх видів енергоресурсів припадає на електроенергію. У минулому році її спожито Укрзалізницею та підпорядкованими їй підприємствами на власні потреби 6,03 млрд кВт·год, що складає 4,4 % від загального відпуску електроенергії в мережі споживачів України.

Щорічна переробка електроенергії залізничними електромережами з урахуванням її транспортування для потреб обласних енергопостачальних компаній та постачання стороннім споживачам складає більше 10 млрд кВт·год, або 7,4 % від спожитої по Україні. Звичайно, споживання електроенергії в основному обумовлюється щорічними обсягами перевезень. Потрібно відмітити, що в 1991 році була виконана експлуатаційна робота в обсязі 754,5 млрд т·км брутто, при цьому було спожито 7,82 млрд кВт·год електроенергії.

На жаль, протягом 1991–1999 рр. на Укрзалізниці спостерігалось зниження обсягів перевезень, відповідно знижувалося і споживання електроенергії. Потім починаючи з 2000 р. у зв'язку із загальним підйомом промислового виробництва, підвищенням доходів населення та удосконаленням маркетингової роботи та менеджменту на транспорті обсяги перевезень залізничним транспортом почали зростати.

У 2004 р. вони склали 485 млрд т·км брутто, або 64,3 % від 1991 р., при цьому на власні потреби залізниць спожито 6,04 млрд кВт·год електроенергії (77 % від рівня 1991 р.). У 2005 р. обсяги перевезень були нижчі в порівнянні з 2004 р. на 2,8 %, електроенергії спожито 5,93 млрд кВт·год, або на 1,6 % менше минулорічного.

Зі всієї спожитої електроенергії 80...84 % використовується на електротягу поїздів, 15...19 % на експлуатаційно-виробничі потреби та близько 1 % – на комунально-побутові потреби залізниць.

У зв'язку зі значним щорічним зростанням тарифів на електроенергію збільшуються і витрати коштів на її оплату. Всі ми знаємо, що в липні 1994 р. Президентом України був підписаний Закон України «Про енергозбереження», який визначив основні напрямки державної політики в сфері енергозбереження в державі.

Із метою зниження споживання паливно-енергетичних ресурсів та реалізації державної політики з енергозбереження на залізничному транспорті в червні 1996 р. фахівцями Укрзалізниці спільно з Харківською державною академією залізничного транспорту і Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту України була розроблена та схвалена техніко-економічною радою Укрзалізниці «Програма енергозбереження на залізничному транспорті України на період 1996–2010 рр.». Починаючи з цього часу робота з енергозбереження та ефективного використання ПЕР на Укрзалізниці перейшла в якісно іншу фазу. Щорічно розробляються та реалізується Програма енергозбереження та організаційно-технічні заходи з економії ПЕР. Річні обсяги економії споживання енергоресурсів від реалізації цих програм складають 1,5...3,4 % від загального споживання.

Так, наприклад, у 2004 р. за рахунок виконання даних програм знижено споживання ПЕР Укрзалізницею в обсягах 112,4 тис. т ум. палива, в тому числі 28,6 тис. т дизпалива, 203,5 млн кВт·год електроенергії, 8528 Гкал теплової енергії, 3,45 тис. т мазуту паливного. У тому числі за рахунок заходів, реалізованих по господарству електропостачання, досягнута економія 33,2 млн кВт·год електроенергії при споживанні самими господарствами 118,8 млн кВт·год.

У 2005 р. в цілому по Укрзалізниці виконання енергозберігаючих заходів дозволило знизити споживання ПЕР Укрзалізницею на 46,06 тис. т ум. палива, із яких господарствами електропостачання досягнута економія електроенергії – 41,7 млн кВт·год електроенергії на суму 9,81 млн грн в цілому за 1997–2005 рр.

Програмами енергозбереження та організаційно-технічними заходами з економії ПЕР досягнуто зниження споживання енергоресурсів залізницями України на 595,7 тис. т ум. палива, у тому числі електроенергії – 1 100,4 млн кВт·год. Доля підрозділів електропостачання залізниць України, що підпорядковані Головному управлінню електрифікації та електропостачання, – 326,2 млн кВт·год, або 29,7 % від загальної суми економії.

Найбільш ефективними енергозберігаючими заходами по господарствах електропостачання за останні роки є такі: повернення електроенергії рекуперативного гальмування в первинну мережу на Львівській залізниці; відключення з роботи по одному тяговому агрегату або тяговому трансформатору залежно від поїзної ситуації на тягових підстанціях; впровадження економічних світильників, ламп та автоматів керування зовнішнім освітленням; впровадження перетворювальних агрегатів з 12-пульсними випрямлячами на тягових підстанціях постійного струму; впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії на залізницях України; впровадження пристроїв компенсації реактивної потужності в тяговій мережі.

Результати роботи з енергозбереження дозволили в порівнянні з 1997 р. знизити енергоємність залізничного транспорту на 15 % (13,84...11,76 т уп./зведені млн т·км), а енергоємність перевізної роботи на 16,9 % (9,81...8,15 т уп./зведені млн т·км).

На 2006 р. Програмою енергозбереження Укрзалізниці передбачено реалізація заходів з енергозбереження, що дадуть економію 67,7 тис. т ум. палива на суму 76,2 млн грн, у тому числі 14,9 тис. т дизпалива, 131,2 млн кВт·год електроенергії, 2,9 тис. т ум. палива котельно-пічного палива та 2,45 тис. Гкал тепла.

Звичайно для реалізації заходів з енергозбереження потрібні кошти. Аналіз показує, що впровадження організаційно-технічних заходів із енергозбереження, які не потребують матеріальних та фінансових витрат, себе майже вичерпало. Подальше зниження енергоємності залізничного транспорту та збільшення економії споживання ПЕР вимагає капітальних вкладень на впровадження енергозберігаючих технологій.

Враховуючи підвищену зацікавленість в енергозбереженні, в зв'язку з підвищенням ціни на природний газ, у 2006 р. залізницями України була підтримана ініціатива Південної залізниці щодо розробки і впровадження найбільш ефективних енергозберігаючих заходів з короткими термінами окупності та їх пріоритетного фінансування. Дана ініціатива вилілась в окрему програму з обсягами економії ПЕР на суму 29,5 млн грн у разі інвестування 32,2 млн грн. Частина витрат на фінансування передбачається за рахунок короткотермінових кредитів.

Крім того, на виконання Постанови Кабінету Міністрів України від 06.05.2005 № 324 «Про заходи щодо виконання у 2005 році Програми діяльності Кабінету Міністрів України «Назустріч людям», (п. 313) Міністерством транспорту розроблена «Галузева програма енергозбереження та впровадження альтернативних видів палива на транспорті на 2006–2010 роки». Розділ залізничного транспорту в Програмі розроблявся з урахуванням пропозицій Укрзалізниці і представлений по 8 напрямках із загальною економією ПЕР 92,4 тис. т ум. палива. По Головному управлінню електрифікації та електропостачання відповідно до цієї програми будуть реалізовуватися такі перспективні енергозберігаючі заходи:

1. Заміна застарілого електроосвітлювального обладнання на сучасне енергозберігаюче та впровадження автоматичного управління зовнішнім освітленням. Планова щорічна економія, закладена в програму, 3,0 млн кВт·год. Потрібно відмітити, що на потреби зовнішнього освітлення на Укрзалізниці щорічно споживається 170...175 млн кВт·год електроенергії на суму 42...45 млн грн. Сучасне електроосвітлювальне обладнання дозволяє при збереженні основних заданих світлотехнічних характеристик знизити споживання електроенергії в декілька разів. У 2005 році на Укрзалізниці замінено тільки в господарстві електропостачання 6 086 зовнішніх світильників та 14 706 електроламп, при цьому отримана економія електроенергії на суму 2 500 тис. грн.

2. Впровадження автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) на залізницях України. Щорічна економія електроенергії під час реалізації цього пункту складе 5,0 млн кВт·год. Реалізація цього напрямку, крім питань енергозбереження, дозволить: привести облік електроенергії на електрооб'єктах Укрзалізниці до вимог нормативних документів електроенергетики України та Оптового ринку електроенергії (ОРЕ); підвищити точність обліку електроенергії, отримати фізичні баланси електроенергії, знизити втрати електроенергії; забезпечити роботу залізниць по закупівлі електроенергії з ОРЕ та за дифтарифами і знизити витрати на електроенергію; уникнути залежності у разі закупівлі електроенергії від обласних енергопостачальних організацій, а значить і підвищити енергетичну безпеку Укрзалізниці; здійснювати погодинний прогноз споживання електроенергії та керування процесом електроспоживання з урахуванням графіка руху поїздів та в подальшому застосовувати регулювання графіка руху з метою зниження ціни закупівлі електроенергії.

3. Електрифікація та переведення на електротягу окремих ділянок залізниць. Основні оціночні розрахунки показують, що на даний час переведення на електрифікацію 1 км експлуатаційної ділянки залізниці коштує близько 1,11 млн грн (без урахування експлуатаційних витрат та витрат на закупівлю електрорухомого складу). Термін окупності залежить від вантажообігу і в середньому по Укрзалізниці при річному вантажообігу більше 2 000...2 500 млн т·км брутто на 1 км ділянки становить менше чотирьох років. За діючих цін на електроенергію та дизельне паливо перевезення електротягою в 6...6,5 рази дешевше від теплотяги. Крім того, переведення на електротягу дає економію умовного палива близько 15 кг ум. палива на 1 млн т·км брутто. У разі переведення на електричну тягу зменшуються викиди в атмосферу двоокису вуглецю, що поліпшує довкілля.

Перспективними є ділянки:

- Харків–Полтава;
- Полтава–Кременчук–Бурти–Користівка;
- Долинська–Миколаїв–Херсон–Вадим – далі на Сімферополь;
- Коростень–Шепетівка (пуск у 2006 році);
- Комунарськ–Луганськ.

Реалізація енергозберігаючих заходів – це лише один із шляхів зниження собівартості перевезень залізничним транспортом за рахунок зниження споживання ПЕР.

Не менш важливим напрямком є і зниження закупівельної вартості електроенергії за рахунок організації її закупівлі за дифтарифами та безпосередньо з ОРЕ. Цими питаннями господарства електропостачання залізниць займаються з 1997–1998 рр. Для цього починаючи з 2001 р. активно впроваджуються АСКОЕ. Залізниця є членами оптового ринку України, мають ліцензії на передачу електроенергії локальними електромережами та на постачання її за регульованим тарифом. Південно-Західна залізниця працює як енергопостачальна компанія, закуповуючи електроенергію на власні потреби і для сторонніх споживачів, що підключені до її електромереж, безпосередньо з ОРЕ. Інші залізниці для зменшення витрат коштів на електроенергію закуповують частину її за дифтарифами та за нерегульованим тарифом.

У 2005 р. Укрзалізницею було закуплено з ОРЕ 2675,1 млн кВт·год, або 39,7 % електроенергії, необхідної для власного споживання і для потреб сторонніх споживачів, у тому числі за регульованим тарифом – 1 293,6 млн кВт·год, або 48,3 % від всієї закупленої з ОРЕ, та 1 381,5 млн кВт·год або решту 51,7 % за нерегульованим тарифом. Річна закупівля за нерегульованим тарифом по залізницях склала:

- Донецька – 110,6 млн кВт·год (10,3 % від обсягів річної власної закупівлі);
- Львівська – 53,6 млн кВт·год (6,2 %);
- Одеська – 1 120,9 млн кВт·год (88,3 %);
- Південна 93,42 млн кВт·год (13,6 %).

На кінець року закупівля з ОРЕ за нерегульованим тарифом здійснювалася по території 15 Обленерго і її обсяги склали: Одеська – 95 %; Південна – 75 %; Донецька – 20 %; Львівська – 6,0 %.

Витрати коштів на електроенергію за рахунок закупівлі за регульованим тарифом знижені за рік на 25,3 млн грн, а за рахунок постачання за нерегульованим тарифом – на 5,29 млн грн, за рахунок закупівлі за дифтарифами – на 2,61 млн грн. У цілому зниження витрат на електроенергію за рахунок прогресивних методів закупівлі в 2005 р. склало 2,2 % від її закупівельної вартості.

Потрібно відмітити, що робота з енергозбереження та зниження витрат коштів на електроенергію, яка виконується на Укрзалізниці, дозволила під час значного росту тарифів на електроенергію протягом останніх років утримувати долю витрат на електроенергію в загальних витратах із перевезень на Укрзалізниці майже на одному рівні.



Доля витрат на електроенергію в експлуатаційних витратах Укрзалізниці за роками складає: 2000 р. – 8,5 %, 2001 р. – 8,4 %, 2002 р. – 8,6 %, 2003 р. – 8,5 %, 2004 р. – 8,0 %, 2005 р. – 7,3 %. При цьому зростання тарифів на електроенергію складає: у 2002 р. – 3,2 %, у 2003 р. – 9,7 %, в 2004 р. – 9,9 %, в 2005 р. – 13,4 %.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання за 2005 р. – К., 2005, 182 с.
2. Василенко В. А. Виробничий (операційний) менеджмент: Навч. посіб. / В. А. Василенко, Т. І. Ткаченко. – К., 2003. – 503 с.

Надійшла до редколегії 17.05.2006.

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУ ФОРМУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ З УРАХУВАННЯМ ОБСЯГІВ ІНВЕСТИЦІЙ

Пропонується методика зменшення збитковості пасажирських перевезень за рахунок складання оптимального плану формування пасажирських поїздів. У процесі формування композиції пасажирських поїздів враховується попит за напрямками прямування поїздів, обсяг інвестицій, які спрямовуються на поновлення парку пасажирських вагонів.

Предлагается методика снижения убыточности пассажирских перевозок за счет составления оптимального плана формирования пассажирских поездов. При формировании композиции пассажирских поездов учитывается спрос по направлениям следования поездов, объем инвестиций, которые направляются на обновление парка пассажирских вагонов.

The method of decline of unprofitable of passenger transportations is offered due to drafting of optimum plan of forming of passenger trains. At forming of composition of passenger trains demand is taken into account to directions of the following of trains, volume of investments which head for the updates of park of passenger carriages.

Залізничний транспорт займає провідне місце з забезпечення потреб виробничої сфери та населення України в перевезеннях. За даними Держкомстату за 2005 р. послугами залізниць скористалося 444,7 млн пасажирів, зберігається тенденція росту пасажирообороту, який становить 101,3 % до пасажирообороту 2004 року [1].

Незважаючи на зростання обсягів капітальних вкладень, розміри наявних інвестицій недостатні для задоволення потреб технічного переоснащення залізничного транспорту. На залізницях прогресує тенденція збільшення фізичного зносу і морального старіння основних фондів. Загальний ступінь зносу пасажирських вагонів становить 86 % станом на 01.01.2005 р.

Щороку на модернізацію, оновлення та капітальний ремонт основних фондів потрібно 4,5 млрд грн, а Укрзалізниця може акумулювати лише 20 % указаної суми. Залучення інвестицій за рахунок внутрішніх джерел вимагає значного збільшення тарифів на перевезення і скорочення витрат. Проблема зменшення збитковості пасажирських перевезень є одною з першочергових проблем на транспорті.

Одним із заходів щодо вирішення цієї проблеми є побудова оптимального плану формування пасажирських поїздів (ОПФПП) з урахуванням витрат на експлуатацію, ремонт, закупівлю пасажирських вагонів та потреби у пасажирських перевезеннях. Тобто під час складання ОПФПП слід ураховувати обсяги інвестицій на придбання нових вагонів, подовження терміну служби існуючим вагонам; інвестиції на реконструкцію, техні-

чне переоснащення та організаційні заходи щодо розвитку технічної бази з деповського ремонту пасажирських вагонів для можливості виконання ремонту, оновлення та перебудови вагонів, а також прогнози витрати на інші організаційні заходи та підвищення комфортності пасажирських перевезень, на експлуатацію та обслуговування пасажирського рухомого складу.

На рисунку наведено чинники, які впливають на структуру плану формування пасажирських поїздів. Наведені чинники слід враховувати у разі побудови моделі ОПФПП.

Можна виділити три види постановки задачі:

1. Складання ОПФПП для однієї залізниці.
2. Складання ОПФПП для Укрзалізниці (додатково розглядається задача оптимального розподілення вагонів по ремонтно-відновлювальних базах Укрзалізниці).
3. Складання ОПФПП без фінансових обмежень, коли не враховується фінансування залізниць та дається рекомендація щодо потрібних коштів на реалізацію сформованого ОПФПП.

Більш детально розглянемо постановку задачі складання ОПФПП для однієї залізниці.

Постановка задач моделювання процесів розробки плану формування рівня залізниці передбачає урахування потреб у пасажирських перевезеннях, використання ресурсів та можливостей щодо забезпечення плану пасажирськими вагонами лише однієї залізниці, без аналізу додаткових даних і варіантів складання плану формування, які виникають у разі поєднання ресурсів з іншими залізницями України.

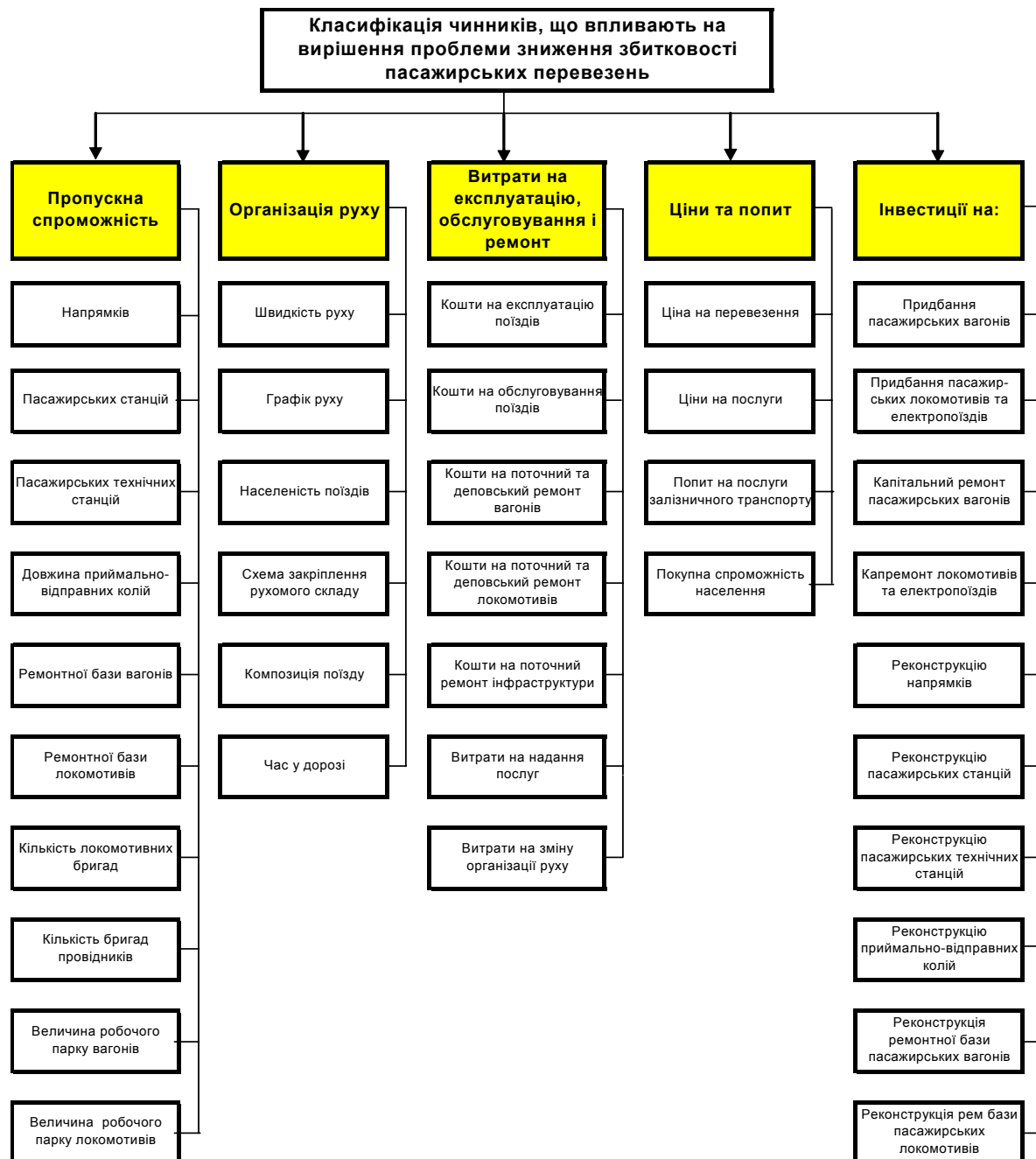


Рис. Класифікація чинників, що впливають на структуру ОПФПП

Нехай  $V_N$  описує характеристики пасажирських вагонів різних категорій, які необхідно увести до плану формування

$$V_N(N, \theta, j_z, k_z, \bar{W}_B, \bar{W}_\theta, f_\omega), V_N \in V, \quad (1)$$

де  $N$  – номер, за яким однозначно ідентифікується вагон;  $\theta$  – тип вагона,  $\theta \in \Omega_\theta$ ,  $\Omega_\theta$  – множина типів вагонів;  $V$  – множина пасажирських вагонів робочого та неробочого парку залізниці;  $j_z$  – номер залізниці, до якої приписано вагон,  $j_z \in J$ ;  $k_z$  – код депо у складі залізниці, до якого приписано вагон;  $\bar{W}_B(t)$  – вектор оці-

нок характеристик поточного техніко-експлуатаційного стану вагона, який містить таке:

- експертна оцінка стану щодо можливості використання вагона відповідно типу  $\theta$ ,
- $W_{B1}$  – пробіг вагона після ремонту,
- $W_{B2}$  – вид ремонту;

$\bar{W}_\theta$  – вектор оцінок додаткових витрат, необхідних для переобладнання вагона до різних типів, наведених у множині  $\Omega_\theta$ ;  $f_\theta$  – показник типу,  $f_\theta^{(N)} \in \Omega$ , до якої необхідно віднести вагон за результатами розрахунків у рамках оптимального плану формування.

Нехай  $P$  – множина схем складів поїздів, запропонованих залізницею для введення до плану формування

$$P = \{p_i\}, \quad (2)$$

де  $p_i$  – схема складу  $i$ -го поїзда.

У моделі характеристика окремих схем складу поїзда подана за допомогою наборів параметрів у такому вигляді:

$$p_i = (n, q, S_{1n}, S_{2n}, r_n(t), l_n, u_n(t), DY), \quad (3)$$

де  $n$  – код номера пасажирського поїзда;  $q$  – код категорії поїзда з урахуванням сполучення (міждержавне сполучення, фірмовий поїзд та ін.);  $S_{1n}$  – вектор характеристик повної схеми складу поїзда (кількість вагонів відповідного типу) з урахуванням прогнозу обсягів потреби у перевезеннях  $n$ -м поїздом;  $S_{2n}$  – вектор характеристик ядра схеми складу з урахуванням прогнозу потреби у перевезеннях  $n$ -м поїздом;  $r_n(t)$  – вектор показників рентабельності поїзда у періодах року  $t$  за даними попередніх перевезень; вектор становить множину коефіцієнтів населеності поїзда або ранг поїзда серед інших поїздів, які визначаються на підставі статистичних даних або експертним методом;  $l_n(t)$  – кількість складів поїздів уведених до плану формування;  $u_n(t)$  – варіанти маршруту, за якими може рухатися поїзд

$$u_n(t) \in U_n,$$

$U_n$  – множина усіх варіантів, передбачених для поїзда  $n$ ;  $DY$  – період прямування поїзда (дата початку та закінчення за розкладом руху пасажирських поїздів; вид курсування (парні/непарні дні, дні тижня)).

Моделі схем складу поїздів (3) дозволяють розрахувати потреби у пасажирських вагонах різних типів, необхідні для забезпечення схем ядра поїзда і повної схеми складу поїзда.

Слід зазначити, що побудова критерію ОПФПП з урахуванням населеності і характеристик схем складу поїздів потребує більш детального дослідження попиту пасажирів.

Подамо характеристики потужності ремонтно-відновлювальної бази залізниці з деталізацією за різними категоріями пасажирських вагонів як:

$$\bar{B}_{k\theta} = (\{(n_{k\theta}, c_{k\theta})\}), \quad \theta \in \Omega, \quad (4)$$

де  $k$  – код ремонтно-відновлювального підприємства залізниці;  $n_{k\theta}$  – кількість вагонів типу  $\theta$ , що можуть бути відновлені на  $k$ -му підприємстві залізниці;  $c_{k\theta}$  – вартість відновлення вагонів типу  $\theta$   $k$ -м підприємством залізниці.

Потужності та фінансово-економічні показники ремонтно-відновлювального підприємства залізниці (4) дозволяють розрахувати можливі обсяги відновлення вагонів різних категорій, а також визначити необхідні для цього кошти.

Модель задачі складання ОПФПП на рівні однієї залізниці полягає у такому:

1. Розрахувати розподіл фінансових ресурсів між ремонтно-відновлювальними підприємствами з характеристиками (4) з урахуванням умов обмеження

$$\sum_e K_e^* \leq \sum_e K_e, \quad (5)$$

де  $\bar{K} = (K_1, K_2, \dots, K_e, \dots, K_k)$  – вектор фінансових ресурсів залізниці по статтях  $K_e$ ; показники із «\*» є ознакою оптимального плану.

2. Визначити кількість пасажирських вагонів різних категорій, які необхідно увести до плану формування, ураховуючи при цьому умови щодо забезпечення ресурсами

$$n_{\omega}^* = \sum_k n_{\omega k}^*, \quad \forall \omega; \omega \in \Omega, \quad (6)$$

$$\sum (c_{k\omega} * n_{k\omega}^*) \leq C_k^*, \quad \forall k \in J_z, \quad (7)$$

де кількість обмежень у (7) відповідає числу ремонтних підприємств залізниці.

3. Визначити номери вагонів, які необхідно перевести до робочого парку, установивши при цьому показник відповідної за планом категорії відновлення вагона  $f_{\omega}^{(N)}, f_{\omega}^{(N)} \in \Omega$ .

4. Розрахувати  $u_m(t)$  варіант маршруту  $u_m(t) \in U_m$ , за яким повинен рухатися поїзд  $m$  у відповідний період року.

За рахунок вибору значень наведених показників забезпечити виконання критерію оптимальності плану згідно з умовами

$$\sum_{t \in T_1} \sum_m abs(D(t, m) - S_{1m}) + \sum_{t \in T_2} \sum_m abs(D(t, m) - S_{2m}) \Rightarrow \min_{V, m, C}, \quad (8)$$

де  $D(t, m)$  – прогнозовані потреби у перевезеннях для поїзда  $m$  у період року  $t$ .

Задоволення прогнозованих потреб у пасажирських перевезеннях є однією з головних задач автоматизованого складання плану формування. У критерії (8) величини  $T_1, T_2$  визначають періоди руху поїздів з повною схемою складу або лише ядра поїзда відповідно.

Подамо критерій оптимальності, ураховуючи головну мету задачі розробки ОПФПП – підвищити населеність пасажирських поїздів і забезпечити максимальний рівень рентабельності перевезень залежно від:

- перспективних обсягів пасажирських перевезень;
- попиту пасажирів на конкретні види перевезень у вагонах відповідної комфортності;
- попиту на конкретні напрямки перевезень по періодах року;
- існуючої рентабельності пасажирських поїздів;
- впровадження нових рентабельних маршрутів пасажирських перевезень;
- наявного робочого парку пасажирських вагонів;
- можливості збільшення робочого парку пасажирських вагонів за рахунок подовження їх терміну служби;
- можливості збільшення робочого парку пасажирських вагонів за рахунок використання неробочого незадіяного парку вагонів, з яких зняті окремі вузли;
- придбання пасажирських вагонів, в основному нового покоління.

З огляду на викладене показник оптимальності задачі ОПФПП може бути визначений за допомогою характеристик схем поїздів у вигляді прогнозованої потреби у пасажирських перевезеннях

$$KПП^H = \sum_{t=1}^{кпр} \sum_{n=1}^{кп} \sum_{\theta=1}^{кгр} \left( m_{\theta}^n M_{\theta}^n l_n(t) \right)_t \Rightarrow \min, \quad (9)$$

де  $KПП^H$  – прогнозована потреба у пасажирських перевезеннях;  $m_{\theta}^n$  – кількість місць в поїзді  $n$  у вагоні типу  $\theta$ ;  $M_{\theta}^n$  – прогнозована середня населеність вагонів типу  $\theta$  в поїзді  $n$ , %;  $t$  – періоди звичайних та інтенсивних перевезень;  $кпр$  – кількість періодів звичайних та інтенсивних перевезень;  $кп$  – кількість пасажирських поїздів;  $кгр$  – кількість груп вагонів в пасажирському поїзді  $\theta$  типу.

За допомогою показника (9) визначимо критерій максимальної рентабельності плану формування при обмеженнях (11)–(14):

$$P_{tn} = \sum_t \sum_n \left( \frac{D_n - B_n}{B_n} \right)_t \rightarrow \max, \quad (10)$$

де

$$D_n^t = \sum_{t=1}^{кпр} \sum_{\theta=1}^{кгр} m_{\theta}^{гпр} M_{\theta}^{гпр} \left( U_{\theta}^{кв} + U_{\theta}^B + D_{\theta}^{пр} \right)_t, \quad (11)$$

$$B_n^t = \sum_{n=1}^{кп} \left( B_n^{обс} + B_n^{експ} \right) \sum_{i=1}^{інв} B_i^{рем} + \sum_{\beta=1}^{рб} B_{\beta}^{тб}, \quad (12)$$

$$I = K_{рем} + K_{тб} + K_{нв} + K_{інш}, \quad (13)$$

$$KПП^*(V, n, \bar{K}^*) \geq KПП^H. \quad (14)$$

У моделі (10)–(14) уведено позначення:  $D_n^t$  – доходи пасажирського поїзда в період перевезень  $t$ , грн;  $U_{\theta}^{кв}$  – ціна квитка у вагон типу  $\theta$ , грн;  $U_{\theta}^B$  – ціна комплекту білизни у вагоні типу  $\theta$ , грн;  $D_{\theta}^{пр}$  – дохід від інших послуг у вагоні типу  $\theta$  на одного пасажирів, грн;  $гпр$  – індекс, що вказує на належність величини до групи вагонів;  $B_n^t$  витрати пасажирського поїзда в період перевезень  $t$ , грн;  $B_n^{обс}$  – витрати на обслуговування пасажирського поїзда  $n$ , грн;  $B_n^{експ}$  – витрати на експлуатацію пасажирського поїзда  $n$ , грн;  $B_N^{рем}$  – витрати на всі види ремонту пасажирських вагонів, на оновлення і подовження терміну їх служби, грн;  $B_{\beta}^{тб}$  – витрати на реконструкцію та технічне переоснащення деповської ремонтної бази, грн;  $I$  – прогнозований обсяг інвестицій у розвиток господарства, грн;  $K_{рем}$  – прогнозовані інвестиції на ремонт та оновлення вагонів, грн;  $K_{тб}$  – прогнозовані інвестиції у розвиток технічної бази з деповського ремонту вагонів, грн;  $K_{нв}$  – інвестиції на придбання нових пасажирських вагонів, грн;  $K_{інш}$  – прогнозовані інвестиції на інші витрати пасажирського господарства;  $KПП^*(V, n, \bar{K}^*)$  – реалізована в ОПФПП потреба у пасажирських перевезеннях.

Обмеження (14) встановлює вимогу забезпечення прогнозованого попиту на пасажирські перевезення при реалізації задачі автоматизованого складання оптимального плану формування пасажирських поїздів.

Задача (10)–(14) – це досить складна задача дискретного програмування великої розмірності.

**Метод розв’язання.** У процесі складання ОПФПП необхідно враховувати великий обсяг такої інформації:

- плани формування пасажирських поїздів попередніх років;
- прогнозовані дані щодо обсягів пасажиропотоків за напрямками і періодами року;
- структури ядра та загальні структури пасажирських поїздів з урахуванням прогнозів щодо пасажиропотоків;
- кількість пасажирських вагонів, які можуть використовуватися для перевезень;
- економічні оцінки щодо додаткових фінансових та технічних витрат, які забезпечують переобладнання, реконструкцію кожного вагона (переведення вагона у різні категорії);
- оцінки можливостей ремонтно-відновлювальної бази пасажирських вагонів (по категоріях вагонів та залізницям);
- оцінки кількості пасажирських вагонів, які будуть виведені із експлуатації (по категоріях вагонів та залізницям);
- оцінки рентабельності окремих поїздів із попередніх планів формування;
- об’єднані маршрути руху поїздів (поєднання кількох графіків);
- обсяги фінансування пасажирських перевезень (за залізницями).

Постає проблема збору та обробки інформації, яка на даний період не повністю вирішена.

Для реалізації автоматизованого оптимального планування необхідно розв’язати важливу задачу управління даними: визначити потрібні категорії даних, джерела надходження, оновлення, форму і періодичність зберігання тощо. Тому для побудови і реалізації запропонованої моделі складання ОПФПП для Придніпровської залізниці у обмеженому обсязі за допомогою спеціалізованих програмних процедур, де інформаційне забезпечення наведено такими даними:

- перелік поїздів, які необхідно враховувати в плані формування пасажирських перевезень;
- склади поїздів, включаючи вагони ядра та додаткові вагони;
- показники прогнозованої населеності по напрямках прямування поїздів;
- показники рентабельності поїздів за минулий період часу;
- склад робочого та неробочого парків пасажирських вагонів;

Також для розрахунків слід указати деякі параметри:

- періоди часу, для яких складається окремі ПФПП (наприклад, піковий період перевезень, який характеризується збільшенням пасажиропотоку, чи непіковий період);
- показник мінімально допустимої рентабельності поїздів;
- обсяги фінансування на ремонт вагонів;
- вартість ремонту вагонів (за видами ремонту);

Оскільки побудова ОПФПП базується на ПФПП попередніх періодів, а також на переліку та складі поїздів, тому опис поїздів обов’язково повинен задаватися у вигляді вихідних даних планування.

Узагальнений алгоритм складання ОПФПП можна умовно розділити на два етапи:

1. Формування робочого парку вагонів:
  - аналіз стану пасажирських вагонів;
  - складання графіка ремонту вагонів по ремонтно-відновних базах, а також обсягів грошових коштів на його реалізацію;
  - формування резервного парку вагонів;
  - формування орендного парку вагонів;
  - формування списку незадіяних вагонів;
  - розрахунок потужностей ремонтно-відновних баз у часі;
  - переобладнання вагонів до інших типів вагонів;
  - формування списку нових вагонів.
2. Формування поїздів:
  - прогнозування населеності поїзда;
  - виключення збиткових поїздів;
  - зміна маршруту і введення нових поїздів;
  - зміна композиції поїзда;
  - зміна підв’язки рухомого складу.

По-перше, слід виконати сортування вагонів інвентарного парку по окремих категоріях, класах, типах і парках.

По-друге, формування поїздів ведеться послідовно за їх номерами з урахуванням категорії або класності, на яку атестовано поїзд і окремі вагони. Першими формуються поїзда міжнародного, міждержавного сполучень, далі денні поїзда з вагонами першого і другого класу, за ними – фірмові, швидкі і пасажирські та інші.

Під час побудови композиції поїзда до складу поїзда спочатку включаються вагони, що в звітному році були закріплені за цим поїздом. Якщо таких вагонів не вистачає, тоді до складу поїзда включаються вагони, що вибираються з переліку вагонів певної категорії.

У разі формування складу поїзда спочатку включаються вагони, які складають його ядро, а потім додаткові вагони. До ядра поїзда повинні належати вагони відповідної категорії, на яку їх було атестовано.

За таких даних та параметрах було визначено кількість вагонів, яка забезпечує склад поїздів згідно з розкладом руху поїздів по напрямках для кожного періоду (піковий та непіковий). Але слід враховувати, що потік пасажирів з часом змінюється, в розрахунках це задається за допомогою показників прогнозованої зміни населеності поїздів по напрямках. У процесі формування ОПФПП було виявлено, що на потребу в вагонах різних типів впливає зміна прогнозованої населеності по напрямках.

На склад поїздів в ОПФПП впливає також рентабельність поїздів. Наприклад, у разі зменшення мінімально допустимого значення рентабельності поїздів суттєво змінюється перелік поїздів, що курсують. Коли рентабельність поїздів нижче за мінімальну допустиму, тоді слід розглядати дві ситуації. У разі скорочення поїздів, які не задовольняють мінімальну рентабельність, слід вирішити куди перевести потік пасажирів, що ними перевозився. По-перше, можна перевести цей потік на поїзда, що ходять за таким ж напрямом, що і виключені поїзда, по-друге, можна залишити ці поїзда, але зменшити кількість вагонів в їх складі чи зменшити кількість складів цих поїздів. Такі ситуації потребують додаткового розбору та аналізу.

Ще одним параметром, що впливає на ОПФПП є обсяг інвестування на ремонт та експлуатацію вагонів. Якщо потребу в пасажирських перевезеннях не можна реалізувати лише за допомогою вагонів робочого парку, то слід розглядати вагони неробочого парку, в цьому разі виникає обмеження на кількість вагонів, які можна відремонтувати. Коли для реалізації ОПФПП необхідні кошти на ремонт та переобладнання вагонів більше зазначеної суми, то такий ОПФПП не можливо виконати.

**Контрольний приклад.** ОПФПП складається для Придніпровської залізниці. Для виконання розрахунків було використано таку інформацію:

1. Дані по поїздах, які слід включати в ОПФПП та їх початковий склад було взято з розкладу руху пасажирських поїздів 2005–2006 рр. [2].

2. Показники прогнозованої зміни населеності та рентабельності пасажирських поїздів.

3. Склад робочого та неробочого парку пасажирських вагонів.

4. Періоди часу, за якими формується ОПФПП. Це непіковий період року – період 1 (березень), а піковим періодом перевезень обрано літні місяці – період 2.

5. Допустимий мінімальний рівень рентабельності поїздів складає 70 %.

6. Вартість ремонту за видами: капітально-відновлювальний ремонт вагона (КВР) – 5 тис. грн, поточний ремонт (ПР) – 7 тис. грн, капітальний ремонт 1 (КР-1) – 250 тис. грн, капітальний ремонт 2 (КР-2) – 200 тис. грн, деповський ремонт (ДР) – 30 тис. грн.

7. Фінансування на ремонт пасажирських вагонів складає 50 000 тис. грн.

За початковими даними було визначено кількість вагонів за типами, які входять до складу пасажирських поїздів згідно з розкладом руху за напрямками для кожного заданого періоду року. Слід враховувати, що потік пасажирів з часом змінюється, в розрахунках це задається за допомогою показників прогнозованої зміни населеності поїздів по напрямках.

Для пасажирських поїздів, що рухаються за напрямком «Москва». В період 1 та 2 потреба у вагонах збільшилась на 2 % відносно цих періодів попереднього року. Загальна кількість вагонів, що необхідні для включення до складу пасажирських поїздів для задоволення потреб пасажирів у цьому напрямку збільшилась у періоді 1 для вагонів типу СВ, К та ПЛ на 4 вагона, О – без зміни, а в періоді 2 збільшилась для СВ на 7, для К на 11, а для ПЛ на 13 вагонів, О – без зміни.

У періоді 1 сформовані склади поїздів за номерами № №: 15, 17, 26/399, 40, 41, 64, 69, 72, 73/69, 76, 90, 97, 146, 166, 168, а в періоді 2: № № 25, 69, 69, 73, 90, 146, 196, 203, 211, 219, 226, 229, 255.

Згідно з розрахунком потреби у вагонах за напрямком «Москва» в період 1 було додано вагони у поїзда:

- в 2 склади поїзда № 15 – 1 СВ;
- 3 склади поїзда № 17 – 1 К;
- 2 склади поїзда № 17 – 1 СВ;
- 1 склад поїзда № 73/69 – 1 К;
- 4 склади поїзда № 69 1 – ПЛ.

А в період 2 було додано вагони у поїзда:

- в 4 склади поїзда № 68 – 1 СВ;
- 3 склади поїзда № 17 – 1 СВ;
- 3 склади поїзда № 25 – 2 К;
- 5 складів поїзда № 219 – 1 К;
- 5 складів поїзда № 229 – 1 ПЛ;
- 5 складів поїзда № 97 – 1 ПЛ;
- 3 склади поїзда № 203 – 1 ПЛ.

При ситуації, коли населеність поїздів за напрямком «Москва» знизилась на 2 % у період 1. В наслідок було видалено зі складу поїздів по 4 вагона кожного типу, крім О:

- з 3 складів поїзда № 17 – 1 СВ;
- 1 складу поїзда № 68 – 1 СВ;
- 4 складів поїзда № 68 – 1 К;
- 2 складів поїзда № 73/69 – 1 ПЛ;
- 2 складів поїзда № 15 – 1 ПЛ.

У разі зменшення мінімального допустимого рівня рентабельності пасажирських поїздів до 73 % перелік поїздів, що курсують в періоді 1 змінився. Так, в періоді 1 будуть сформовані склади поїздів за номерами № №: 26/399, 40, 69, 72, 90, 166, 168, а в періоді 2 список поїздів залишився без змін.

Коли рівень рентабельності поїздів нижче за мінімальний допустимий, то такі поїзда виключаються з ОПФПП. Треба вирішити проблему куди перевести пасажирів, що перевозилися виключеними поїздами. Слід розглядати дві ситуації. По-перше, можна перевести пасажиропотік на поїзда, що ходять за таким ж напрямом, що і виключені поїзда, по-друге, можна залишити ці поїзда, але зменшити кількість вагонів в їх складі чи зменшити кількість складів цих поїздів. Такі ситуації потребують додаткового розбору та аналізу.

Тепер подивимось, як обсяг інвестування на ремонт вагонів впливає на структуру ОПФПП. При заданих параметрах для складання ОПФПП, що були описані вище, об'єм інвестицій складає 50 000 тис. грн. Сформований ОПФПП для періоду 1 використовує вагони з робочого парку, і лише, 3 вагони беруться з неробочого парку. Це цілком задовольняє обмеження на інвестиції, а 15 тис. грн необхідні, щоб зробити КВР. В разі, коли для реалізації ОПФПП необхідно коштів на ремонт більш зазначеної суми, то такий ОПФПП не можливо виконати.

Таким чином, в контрольному прикладі складання ОПФПП було розглянуто вплив показників прогнозованої зміни населеності поїздів, мінімального допустимого рівня рентабельності поїздів, а також об'єму інвестицій на ремонт пасажирських вагонів. Було враховано, що об'єм перевезень залежить від часу року, тому було розглянуто два періоди року – непіковий (березень) та три літні місяці.

## Висновок

Складання ОПФПП за наведеним методом дає позитивний економічний ефект.

По-перше, ОПФПП формується з урахуванням потреб в пасажирських перевезеннях за типами вагонів та за напрямками. Це дозволить максимально наблизити структуру пасажирських поїздів до потреб пасажирів в залізничних перевезеннях. А це означає, що рівень рентабельності пасажирських перевезень зросте.

По-друге, якщо при складанні ОПФПП враховувати обсяги інвестицій на експлуатацію, ремонт та переобладнання пасажирських вагонів, то структури парку робочих та неробочих вагонів та вагонів, що ремонтуються, залежать від обсягів інвестицій.

По-третє, складання ОПФПП можна проводити за різними часовими періодами. В пікові періоди потреба в вагонах збільшується, тому слід мати резерв пасажирських вагонів на такі випадки. Якщо виконувати складання ОПФПП окремо для пікових і непікових періодів року, то це надасть можливість в пікові періоди перевезень задіяти вагони, що вийшли з ремонту, з резервного чи орендного парку пасажирських вагонів, а в непікові періоди виконувати ремонт вагонів за потребою.

Одним із заходів підвищення рівня рентабельності пасажирських перевезень під час складання ОПФПП є врахування мінімального допустимого рівня рентабельності. Тобто ОПФПП не повинен містити поїзда, рівень рентабельності яких менший за мінімально допустимий.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Державний комітет статистики України <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
2. Служебное расписание движения пассажирских поездов. – К.: Тов НВП. 2005.

Надійшла до редколегії 30.06.06.



## ПУТИ РАЗВИТИЯ УЧЕТА И АНАЛИЗА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИКОЙ ПРЕДПРИЯТИЯ (ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)

Запропоновано загальний вигляд системи управління економікою підприємства. Окремо виділена і розглянута підсистема управління виробничими витратами. Визначені мета та критерій цієї системи. Запропоновані основні вимоги до розробки системи обліку і аналітичного забезпечення. Розглянуті види аналізу (кількісний, якісний, факторний), на основі яких управлінський орган має приймати рішення щодо шляхів підвищення ефективності виробництва.

Представлен общий вид системы управления экономикой предприятия. Выделена и рассмотрена подсистема управления производственными затратами. Определены цель и критерий этой системы. Представлены требования к проектированию учета и аналитического обеспечения. Рассмотрены виды анализа (количественный, качественный, факторный), на основании которых управленческий орган должен принимать решения о путях повышения эффективности производства.

A general view of the system of the economic management of an enterprise is presented. The subsystem of production costs management is examined in details. The goal and criteria of this system are defined. The requirements for the design of accounting and analytic support are set forward. Various kinds of analysis (quantitative, qualitative, factorial), on the basis of which the management is to take decisions regarding the ways of increasing the production efficiency, are considered.

Из всего многообразия проблем, с которыми столкнулись отечественные предприятия, в первую очередь необходимо решить, по крайней мере, две наиболее важные проблемы.

Первая – необходимо освоить науку управления конечными результатами производства (маркетинг, только не зарубежный, а отечественный) для максимизации выручки.

Вторая – освоить науку управления всеми видами производственных затрат для их абсолютно и относительного снижения в каждой единице конечных результатов производства.

Разница между ними представляет собой прибыль, которая обеспечивает возможность любой хозструктуре сегодня «оставаться на плаву» и развиваться в перспективе. Прежде всего, на предприятии должна создаваться стройная, целостная система управления экономикой (рисунок).

Одно из главных мест в этой системе занимает подсистема управления производственными затратами, которая создается для того, чтобы ресурсы и затраты предприятия, которые используются для производства конечных результатов, были минимальными. Она состоит из следующих основных элементов: цель, критерий, учет, анализ эффективности использования ресурсов и затрат, нормирование и планирование ресурсов и затрат, контрольный орган, стимулирование эффективного использования ресурсов и затрат, объект управления.

Цель подсистемы управления производственными затратами – минимизировать сумму производственных затрат (основные фонды, оборотные средства, трудовые ресурсы, текущие затраты) в каждой единице конечных результатов. Это отношение (затраты/результат) представляет собой эффективность производства и выступает критерием системы. Минимизация этого отношения информирует о росте эффективности производства.

Следует отметить, что проблемами развития организационно-экономического механизма учета и анализа посвящено много работ как отечественных, так и зарубежных ученых. Среди разработок зарубежных ученых следует отметить работы Альтмана Е., Энтони Р., Хэлфорта Е., Чедвика Л., Ришара Ж., Ван Хорна Жд. К., Бернстайна Л., К.Друри и др. Среди украинских и российских ученых, внесших существенный вклад в развитие теоретических и методологических основ учета и анализа следует отметить работы Баканова М. И., Бланка И. О., Балабанова И. Т., Олексюка А. С., Ковалева В. В., Стояновой О. С., Шеремета А. Д., Крейниной М. Н., Чуписа А. В., Кондратьева О. В. и др.

Однако проведенные исследования показали, что при наличии большого количества работ, многие вопросы теории и практики развития организационно-экономического механизма учета и анализа на предприятии все еще остаются не до конца решенными и требуют доработки.



Рис. Блок-схема системы управления производством (на примере предприятия «Днепровагонмаш»):

КР – конечные производственные результаты деятельности предприятия (в нашем случае – вагон);  
 ОФ – основные фонды; ОС – оборотные средства; ОБФ (ТМЦ) – оборотные фонды (товарно-материальные ценности); ФОб – фонды обращения; ТР – трудовые ресурсы;  
 СКР – себестоимость конечных результатов производства; Н, В – налоги и выплаты, не включаемые в себестоимость продукции; ПУТП – подсистема управления технологическими процессами;  
 ПУКР – подсистема управления конечными результатами производства;  
 ПУПЗ – подсистема управления производственными затратами

Практика использования систем учета и анализа в целях управления экономикой предприятия свидетельствуют, что они не полностью учитывают отечественные условия работы предприятий (высокозатратный характер деятельности), не до конца направлены на уменьшение ресурсо- затратоемкости конечных результатов, недостаточно работают в направлении повышения эффективности производства. Следовательно, использование их в отечественных условиях без дополнений, которые бы учитывали затратный характер экономики, проблематично.

Таким образом, актуальность выбранной в этой статье темы исследования состоит в необходимости совершенствования организационно-экономического механизма учета и анализа в управлении экономикой предприятия

Для понимания организационно-экономической сути оперативного управленческого учета необходимо найти правильные ответы на вопросы: где? когда? что учитывать? кто будет учитывать? как учитывать?

Для ответа на вопрос: где? когда? – очевидно, что в условиях рынка учет конечных результатов, ресурсов, затрат должен осуществляться в каждой структурной ячейке предприятия (где?) и как можно чаще – ежесуточно, в идеале – каждый час (когда?).

Ответ на вопрос что учитывать? таков: конечные результаты производства (как в целом, так и в широком ассортименте); оборотные средства (как в целом, так и по элементам); трудовые ресурсы (как в целом, так и по груп-

пам); себестоимость продукции (как по элементам, так и по статьям расходов), налоги и выплаты не включаемые в себестоимость конечных результатов производства.

Для ответа на вопрос кто? необходимо, чтобы учет в этой системе осуществлял тот, кто производит продукцию, эксплуатируя ресурсы и осуществляя затраты.

Для ответа на вопрос как? необходимо, чтобы каждое подразделение предприятия подготавливало по определенной методике информацию, которая в дальнейшем системой обрабатывается и служит основой для принятия управленческих решений.

Оперативный управленческий анализ в предложенной системе должен помочь управленцам ответить на следующие вопросы: когда?; где?; на чем?; сколько (потеряли или сэкономили)?; какие факторы повлияли на эффективность использования ресурсов, затрат и производства в целом?; что необходимо предпринять, чтобы устранить влияние отрицательных факторов на эффективность производства?

Работе по модернизации оперативного управленческого анализа системы предшествовало формулирование определенных требований:

– оперативный управленческий анализ должен работать не сам по себе, а в системе управления производственными затратами, получать информацию из этой системы и направлять информацию в эту систему, работать на достижение целей этой системы. Этим определяется системный подход к решению проблемы;

- должна быть изменена идеология аналитического обеспечения системы управления производственными затратами. Если раньше результаты анализа были необходимы в основном для вышестоящей организации, то в нынешних условиях предприятию анализ необходим для того, чтобы оценить результаты производственно-хозяйственной деятельности собственного производства, установить центры ответственности и устранить влияние отрицательных факторов. Другими словами, анализ нужен «для себя»;

- в основу анализа должен быть положен критерий системы управления производственными затратами, который бы строился как инструмент достижения цели;

- анализ должен включать максимально возможную номенклатуру показателей оценки эффективности использования ресурсов и затрат (их групп, элементов, статей);

- в организационном плане (организация в пространстве), анализ должен быть максимально децентрализован, т. е. любая производственная структура обязана проводить анализ. Любая централизация снижает эффективность аналитической работы;

- анализировать должен тот, кто выпускает продукцию, выполняет работы, предоставляет услуги, кто при этом эксплуатирует ресурсы, кто осуществляет затраты;

- в организационном плане (организация во времени) анализ должен проводиться как можно чаще для того, чтобы оперативно снижать отрицательное влияние факторов;

- в методическом плане (в зависимости от уровня управления) анализ должен помочь управленческому персоналу получить ответы на вопрос: как (эффективно или неэффективно), насколько (эффективно или неэффективно), что повлияло (какие факторы) и какие мероприятия необходимо осуществить, чтобы повысить эффективность использования ресурсов, затрат (их групп, элементов, статей).

Согласно указанным требованиям необходимо разработать методику и организацию аналитического обеспечения системы управления производственными затратами, которое включает качественный, количественный и факторный анализ.

Качественный анализ и оценка использования ресурсов и затрат предприятия, эффективности производства в целом должны ответить на вопрос: когда?; как? (эффективно или неэффективно во времени и в пространстве в процессе функционирования хозструктуры при выпуске продукции использовались ресурсы, затраты; как эффективно развивалось на предприятии производство в целом). Понятно, что результаты качественного анализа должны представляться самому высокому уровню управления.

В основу качественного анализа эффективности использования ресурсов и затрат предприятия с помощью абсолютных показателей положен следующий алгоритм:

$$1Э = \sum_{t=1}^T I_{p.z} / \sum_{t=1}^T I_{k.p}, \quad (1)$$

где 1Э – показатель эффективности использования ресурсов и затрат предприятия;

$\sum_{t=1}^T I_{p.z}$ ;  $\sum_{t=1}^T I_{k.p}$  – соответственно сумма ин-

дексов ресурсов и затрат, сумма индексов конечных результатов предприятия;  $T$  – количество анализируемых промежутков времени.

При  $1Э \geq 1$  делается вывод о неэффективном использовании ресурсов и затрат предприятия. Только в случае, когда  $1Э \geq 1$  делается вывод об эффективном использовании ресурсов и затрат предприятия, так как в этом случае за время  $T$  в каждой единице продукции их величина снизилась.

Для выполнения качественного анализа и оценки эффективности использования ресурсов и затрат предлагается использовать также относительные (емкостные) показатели (РЗЕ): капиталоемкость конечных результатов по основным фондам (ОФЕ) и оборотным средствам (ОСЕ), трудоемкость продукции (ТРЕ), затратно-емкость продукции (ЗЕ).

Алгоритм качественного анализа, который выполняется с помощью относительных, емкостных показателей, предлагается в таком виде:

$$2Э = \sum_{t=1}^T I_{p.z.e} / T. \quad (2)$$

При  $2Э \geq 1$  делается вывод о том, что за анализируемый период времени  $T$  ресурсы и затраты предприятия использовались неэффективно. Только в случае, когда  $2Э \geq 1$ , делается вывод о том, что эффективность использования ресурсов, затрат на анализируемый период  $T$  в сравнении с базовым значением выросла.

Количественный анализ призван помочь менеджерам предприятия получить ответ на вопрос насколько эффективно или неэффективно использовались ресурсы, затраты предприятия, насколько эффективно или неэффективно производство в целом? Причем указанное «насколько?» выражается здесь в приращении, либо в снижении прибыли предприятия из-за соответственно сокращения, либо роста ресурсо-, затратно-емкости продукции.

Для количественного анализа и оценки эффективности использования ресурсов и затрат предлагается следующий алгоритм:

$$3Э = \sum_{t=1}^T (P3E^* - P3E^t) KP^t \{K1, K2, K3, K4\}, \quad (3)$$

где  $P3E^*$ ,  $P3E^t$  – показатели ресурсо-, затратоемкости конечных результатов производства соответственно в базовом и расчетном периодах;  $K1, K2, K3, K4$  – коэффициенты эффективности использования ресурсов и затрат предприятия ( $K1$  – для основных производственных фондов,  $K2$  – для оборотных средств,  $K3$  – для трудовых ресурсов,  $K4$  – для текущих затрат).

Уравнение (3) может иметь положительное, отрицательное и нулевое решения. Если  $3Э \leq 0$ , делается вывод о неэффективном использовании ресурсов и затрат предприятия (отрицательная величина – сокращение прибыли из-за роста ресурсо-, затратоемкости конечных результатов за анализируемый период  $T$  в сравнении с базовым значением). Только в случае положительного решения (3) делается вывод о росте эффективности использования ресурсов и затрат предприятия (положительная величина – увеличение прибыли из-за снижения показателя ресурсо-, затратоемкости конечных результатов за анализируемый период  $T$  в сравнении с базовым значением).

Факторный анализ позволит аналитикам предприятия получить ответы на вопросы: когда?, где?, какие факторы повлияли на эффективность использования ресурсов и затрат предприятия?, какие факторы повлияли на развитие эффективности производства в целом? (очевидно, что любой факторный анализ оценивает только следствие, а причину или причины должен выявить либо руководитель, либо команда, сформированная руководителем из подчиненных, работа которых повлияла на эффективность использования ресурсов и затрат, на эффективность производства в целом).

В этой связи, все многообразие факторов, действующих в производстве, разбивается на два рода: факторы первого рода и факторы второго рода. К факторам первого рода относятся те факторы, которые действуют в процессе производства. Это – самоизменение конечных результатов производства, а также изменение ресурсов и затрат предприятия. К факторам второго рода относится влияние на эти изменения либо человека, либо группы лиц в процессе своей деятельности (центр ответственности).

В основу факторного анализа и оценки эффективности использования ресурсов и затрат положили отношение:

$$Э_{р.з} = I_{р.з} / I_{к.р}, \quad (4)$$

где  $I_{р.з}$ ,  $I_{к.р}$  – соответственно индекс ресурсов и затрат, индекс конечных результатов деятельности предприятия.

Если все множество результатов отношения (4) формализовать, то получим 17 типов множеств точек результатов соотношения  $I_{к.р}$  и  $I_{р.з}$ . Из них оказалось 7 типов отношения (4), при которых в результате изменения числителя и знаменателя во времени каждая единица конечных результатов производилась с использованием меньшего количества ресурсов и затрат (чем в базовом варианте). Кроме этого, есть 9 типов множества результатов отношений между конечными результатами производства ( $I_{к.р}$ ) и ресурсами и затратами ( $I_{р.з}$ ) (1), при которых каждая единица конечных результатов производилась с привлечением большего, или с теми же, ресурсами и затратами, что и в базовом периоде.

Следует сказать главное: в 17 типах отношений (4) собраны абсолютно все без исключения факторы, влияющие на эффективность использования ресурсов и затрат, на эффективность работы предприятия в целом. При этом контрольный орган определяет центры ответственности (лица, группа лиц) за неверно принятые в прошлом технические, технологические, организационные, экономические, социальные решения и разрабатывает рекомендации по устранению факторов, которые отрицательно влияют на экономику использования ресурсов и затрат, на развитие производства в целом.

Применение рекомендованных методик анализа и оценки эффективности использования ресурсов и затрат позволит провести качественный внутренний анализ использования анализируемых ресурсов, которые предопределяют устойчивое финансовое состояние любого предприятия. И самое главное – обнаружить центры ответственности, функционирование которых привело к снижению эффективности использования ресурсов и затрат предприятия (а отсюда и к снижению прибыли), потребовать от ответственных лиц разработки рекомендаций, которые бы устранили отрицательные факторы.

Таким образом, выполненные исследования, результаты которых нашли отображение в этой статье, позволили сделать такие общие выводы:

1. Необходимость повышения эффективности использования ресурсов и затрат является объективной задачей, подтвержденной современным экономическим развитием и обусловлена затратным характером экономики отечественных предприятий.

2. Проанализировав рекомендованную многими специалистами систему показателей анализа, пришли к заключению, что действующие методики анализа неспособны подготовить лицу, которое принимает решение, информацию о развитии эффективности использования ресурсов и затрат предприятия.

3. Предложенные рекомендации относительно проведения качественного, количественного и факторного анализа в зависимости от уровня управления будут оказывать содействие принятию управленческих решений, направленных на рост эффективности использования ресурсов и затрат.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баканов М. И. Теория экономического анализа. 4-е изд. – М.: Финансы и статистика, 2002 – 416 с.
2. Баканов М. И. Теория экономического анализа / М. И. Баканов, А. Д. Шеремет. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 288 с.
3. Бланк И. А. Основы финансового менеджмента. В 2-х т. – К.: Ника-Центр, Эльга, 2001 – 1104 с.
4. Вакульчик О. М. Корпоративне управління: економіко-аналітичний аспект. – Д.: Пороги, 2003. – 257 с.
5. Ковалев В. В. Управление финансами. – М.: ФБК-Пресс, 1998. – 160 с.
6. Крейнина М. Н. Финансовый менеджмент. – М.: ДИС, 2001. – 400 с.
7. Курінной Є. І. Пошуки критерію ефективності виробництва в умовах корпоративних відносин / Є. І. Курінной, О. М. Вакульчик // Державний інформаційний бюлетень про приватизацію. – 2002. – № 12. – С. 45–49.
8. Шеремет А. Д. Методика финансового анализа деятельности коммерческих организаций. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 237 с.

Поступила в редколлегию 24.03.2006.

І. М. ЦУРКАН (Національний гірничий університет)

## СТИМУЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ЗАСОБАМИ ПОДАТКОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Проаналізовано податкову систему України стосовно створення сприятливого податкового режиму для розвитку промислових підприємств. На основі аналізу податкової системи України та узагальнення зарубіжного досвіду стимулювання промислових підприємств визначено шляхи посилення стимулювальної ролі податків на розвиток промислових підприємств.

Проанализирована налоговая система Украины относительно создания благоприятного налогового режима для развития промышленных предприятий. На основе анализа налоговой системы Украины и обобщения зарубежного опыта стимулирования промышленных предприятий определены пути повышения стимулирующей роли налогов на развитие промышленных предприятий.

The article has analyzed the Ukrainian taxation system in terms of creating favorable tax conditions for industrial development. On the basis of Ukrainian tax system analysis and generalization of foreign experience in the field of stimulating industrial enterprises, the ways of increasing tax-driven incentives for industrial development have been determined.

Для забезпечення процесу постійного поступального економічного розвитку й успішного подолання кризових явищ уряд кожної країни використовує арсенал методів, які існують у системі державного впливу на економіку, відповідно до прийнятої теоретичної концепції регулювання економіки й обраною моделлю економічного розвитку.

Відомо, що державне регулювання економіки ґрунтується на системі державних інструментів (регуляторів), які можна поділити на три види: правові, адміністративні та економічні. До правових інструментів належать законодавчі та підзаконні документи, які регламентують основні норми та правила економічної діяльності господарських суб'єктів та окремих громадян. Правові регулятори визначають загальну межу державного втручання в економіку.

Адміністративні інструменти – це постанови органів виконавчої влади, які дозволяють, забороняють або обмежують окремі види господарської діяльності. Одна з вимог, яка висувається до цього виду регуляторів, полягає у мінімізації використання адміністративних важелів.

Економічні інструменти відіграють найважливішу роль у державному регулюванні економічних процесів. До них відносять оподаткування, ціноутворення, кредитування, інвестування. Податкове регулювання – це заходи непрямого регулювання економіки через зміну податків, податкових ставок, податкових пільг, зниження або підвищення загального рівня оподаткування, відрахувань до бюджету.

Статистичні дані про питому вагу податкових надходжень у загальних доходах Зведеного бюджету України свідчать, що з 69,7 % у 2004 р., частка податкових надходжень у першому півріччі 2005 р. збільшилася до 82,5 % [1; 2]. Така тенденція дає підстави зробити висновок про те, що акцент у податковій політиці зроблено на фінансову функцію – наповнення бюджету, а її регулююча та стимулююча ролі і функції фактично зведені нанівець.

Промислові підприємства є основними системоутворюючими елементами багатьох життєво важливих сфер держави, зокрема, таких: в економічній – базис утворення вартості; бюджетній – джерела наповнення; територіальній – містоутворювачі; науковій та освітній – рушії розвитку, споживачі та джерела знань; соціальній – місця реалізації людських можливостей та забезпечення засобами існування; податковій – джерела надходжень; у фінансовій – мультиплікатори грошей.

Основний податковий тягар несуть саме великі промислові підприємства, і тому окремі питання проблем розвитку промисловості та впливу системи оподаткування на цей сектор економіки досліджено у працях українських науковців В. М. Гейця, Т. І. Єфименко, С. О. Іщук, Є. О. Литвиненко, Т. С. Смовженко, А. М. Соколовської та ін.

Проте деякі аспекти щодо посилення стимулювальної ролі оподаткування на розвиток промислових підприємств розглянуті недостатньо глибоко або мають дещо застарілий характер.

Тому метою дослідження, результати якого викладаються у даній статті, є визначення шляхів щодо посилення стимулювальної ролі податків на економічний розвиток промислових підприємств на основі аналізу податкової системи України та узагальнення зарубіжного досвіду стимулювання промислових підприємств за допомогою важелів податкового регулювання.

Відомо, що ефективність реалізації стимулюючої функції оцінюється за результатами господарювання. Стосовно розвитку промисловості ефективність стимулюючої функції податків можна оцінити на основі аналізу темпів зростання кількості промислових підприємств, обсягів виробництва, чисельності зайнятих тощо.

Джерелами високих темпів економічного зростання, які спостерігались в Україні в останні роки, були в основному екстенсивні фактори: перш за все – дозавантаження існуючих виробничих потужностей, а також дія таких факторів, як значне попереднє знецінення національної грошової одиниці та вартості робочої сили, що фактично збільшило цінову конкурентоспроможність національного виробництва [3]. Потенціал цих факторів майже вичерпано.

Реальний сектор економіки почав уповільнюватися ще в середині 2004 р., і це пов'язано в першу чергу з політичним процесом усередині країни. За даними НБУ, прямі іноземні інвестиції в першому кварталі 2005 р. порівняно з аналогічним періодом минулого скоротилися на 25 %. Заяви уряду про реприватизацію спричинили зменшення внутрішніх інвестицій. Серед великих приватних підприємств спостерігається спрямування прибутку на виплату дивідендів замість розвитку виробництва, інвестиційна діяльність держпідприємств згорнулась завдяки підвищенню нормативу відрахування прибутку до бюджету [4].

Результат зниження інвестиційного попиту – зменшення темпів зростання промислового виробництва і ВВП. За даними Держкомстату, як показано на рис. 1, темпи зростання ВВП і промислового виробництва України у 2005 р. продемонстрували суттєве відставання від торішніх показників [5]. Кількість збиткових промислових підприємств не зменшується. Якщо у 2004 р. збитково працювало 37,5 % промислових підприємств, то на протязі січня–жовтня 2005 р. 40,0 %.

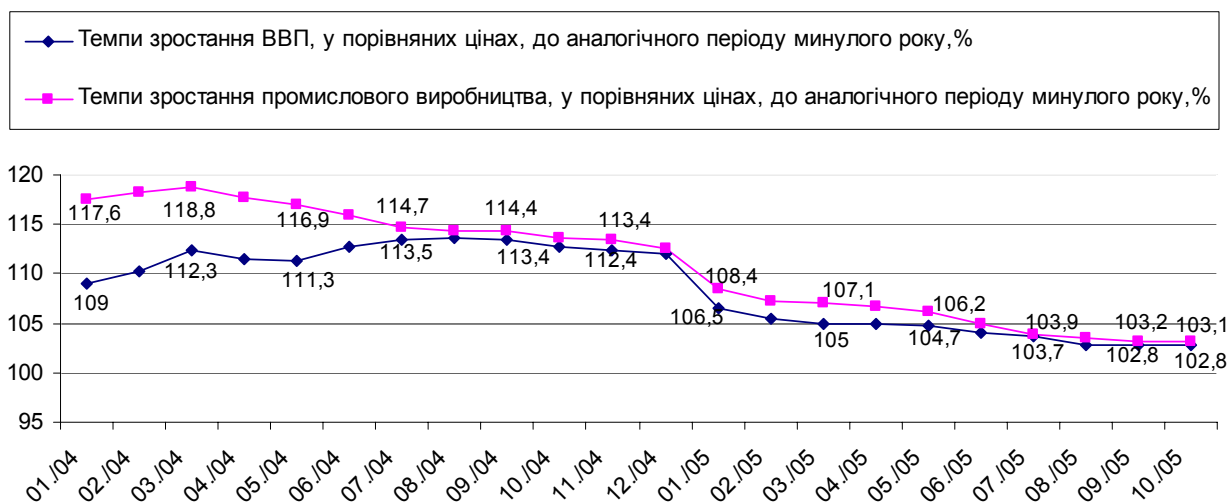


Рис. 1. Темпи зростання ВВП і промислового виробництва на Україні

Середньорічна кількість найманих працівників у промисловості також з кожним роком зменшується. Дана ситуація, яка сформувалась в Україні свідчить про те, що стимулююча функція податків не використовується належною мірою, а перевага в основному надається фіскальній функції податків. Також невиправдане сьогодні зміщення акцентів економічної політики з промислово-інвестиційної на соціальну.

Як показує досвід «передових» країн, на які намагається рівнятись Україна, соціальній фазі економічного розвитку передують десятиріччя промислового зростання, тобто фаза індустріальна.

Наші дослідження свідчать, що основні засади, які характеризують податкову систему стосовно створення сприятливого податкового режиму для розвитку промислових підприємств це:

- частка податкових надходжень у доходах бюджету;
- структура податкової системи, тобто співвідношення між величинами прямих і непрямих податків; співвідношення між верхньою і нижньою межами оподаткування за кожним з основних податків;
- рівень податкового навантаження;
- наявність пільгового оподаткування;
- рівень законодавчого забезпечення податкової системи.

Аналіз структури вітчизняної системи оподаткування свідчить про те, що у 2003–2004 рр. частка прямих податків у доходах зведеного бюджету перевищувала частку непрямих податків. Але у 2004 р., як видно з табл. 1, частка прямих податків

у податкових надходженнях зменшилась на 2,7 %, а частка непрямих податків збільшилась на 2,9 %, тоді як у розвинутих країнах світу зараз існує чітка тенденція до збільшення частки прямих податків у надходженнях до бюджету.

Таблиця 1

**Структура податкових надходжень до зведеного бюджету України, %**

Податкові надходження	2002 р.	2003 р.	2004 р.
	100 %		
Прямі податки:	44,5	49,2	46,5
податок на прибуток підприємств	20,7	24,4	25,6
податок з доходів фізичних осіб	23,8	24,9	20,9
Податки на власність	1,3	1,1	1,0
Збори за спеціальне використання природних ресурсів	5,4	5,1	5,4
Непрямі податки:	45,3	41,1	44,0
податок на додану вартість	29,6	23,2	26,5
акцизний збір	9,0	9,7	10,6
Податки на міжнародну торгівлю та зовнішні операції	5,2	7,0	8,0
Інші податки	3,4	3,4	3,0

Окрім того, негативним є те, що зменшення частки прямих податків відбувалося за рахунок зниження питомої ваги прибуткового податку з громадян. Зміна співвідношення непрямих податків з прямими в бік непрямих пояснюється умовами, що склалися в Україні на сьогодні.

Виходячи з того, що в країні не задіяні інші важелі організаційно-економічного, правового та адміністративного регулювання, які достатньою мірою сприяли б підвищенню рівня ділової активності в бізнесовому середовищі, податок на додану вартість за таких умов зміщує податковий тягар з виробників у бік населення, тим самим створюючи тимчасові умови для виникнення необхідної ресурсної бази для підвищення ділової активності, оскільки оподатковується споживання, а не безпосередній дохід суб'єкта господарської діяльності.

На сьогодні податкове навантаження на промислові підприємства включає податки, частина яких входить у собівартість продукції, другі входять у ціну продукції, а треті сплачуються з прибутку. Податки, які включаються в собівартість продукції і входять до ціни продукції, мають значно меншу здатність регулювати процеси виробництва та відтворення на підприємстві, ніж податки, які відносяться на фінансові результати, оскільки вони включаються до ціни продукції і, таким чином, сплачуються споживачами.

Однак збільшення частки податків, які входять до собівартості продукції, негативно впливає на конкурентоспроможність продукції, тому що веде або до зростання цін, або до зменшення

норми прибутку. До зростання ціни пропозиції це призводить, коли попит на продукцію не є еластичним за ціною. І в разі зменшення обсягу пропозиції маса прибутку знизиться; якщо обсяг пропозиції залишиться попереднім, то й маса прибутку, яку отримує підприємство, також не зміниться. Для продукції, попит на яку є еластичним за ціною, це призводить до відносного зменшення прибутку і відповідно маси податків, які виплачуються з прибутку, а це в свою чергу зменшує розмір чистого прибутку, який залишається у розпорядженні підприємства і виступає фінансовим потенціалом його розвитку.

Зміщення податкового тиску в бік майнових податків і ресурсно-рендних платежів спричинить необхідність подальшого диференціювання їх ставок і фактичного перетворення їх у сукупність індивідуальних нормативів оподаткування. Встановлення високої єдиної ставки майнового податку зашкодить, насамперед, інтересам капітало- та наукомістких виробництв, які перебувають у власності держави, і їх фінансовий стан може різко погіршитись [6].

У деяких галузях промисловості питома вага такого ресурсного податку, як плата за землю, займає друге місце у собівартості продукції після зборів на соціальне страхування. Це стосується групи машинобудівних галузей. Діяльність цих підприємств потребує непорівнянні із іншими галузями витрати на підготовку виробництва (науково-дослідні, проектно-конструкторські і технологічні роботи), значних основних фондів, земельних ділянок для розміщення виробництва і допоміжних служб.



Наприклад, підприємства важкого машинобудування, авіа- і судобудування не можуть розміститися на обмежених територіях або широко використовувати багатоповерхові будинки як інші галузі. Для них необхідно розвинути транспортне, складське господарство, очисні споруди. Цикл виробництва в таких підприємствах тривалий, має різноманітні переділи. На жаль, усі ці обставини не враховуються економічною політикою (податками, платежами за землю, порядком кредитування тощо) і збільшують собівартість продукції машинобудівних галузей.

Найвпливовішим податком, з точки зору стимулювальної ролі, є податок на прибуток. Прибуток, який отримує підприємство, є основним внутрішнім джерелом формування фінансових ресурсів, які забезпечують його розвиток. Якщо податок на прибуток занадто великий, це зменшує зацікавленість підприємства в його отриманні, і воно намагається приховати прибуток і будь-якими засобами збільшити фонд оплати праці чи інші витрати або зменшити масштаби діяльності. Тому підвищення ефективності податкової системи України має відбуватися через посилення стимулювальної ролі податку на прибуток. Тенденція зниження рівня ставок податку на прибуток, що існує на сучасному етапі розвитку в системі оподаткування прибутку корпорацій у західних країнах, неприйнятна для України, оскільки не приведе до розширення бази оподаткування, в умовах спаду виробництва, а навпаки може призвести до істотного дефіциту бюджету.

На наш погляд, стимулювати розвиток промислових підприємств можливо шляхом застосування при оподаткуванні обґрунтованої диференціації ставок податку на прибуток залежно від виду діяльності (сфера матеріального виробництва і фінансово-посередницька діяльність) та розміру одержуваного прибутку.

Диференціація ставок податку на прибуток за видами діяльності доцільна у зв'язку з тим, що різні види діяльності неоднаково впливають на

хід відтворювального процесу: ті, що створюють матеріальні блага – сфера реального виробництва, і ті, що сприяють процесу виробництва – фінансово-посередницька сфера. Надмірне зростання кількості останніх може призвести до нерационального зростання суспільних витрат.

З метою усунення диспропорції між реальною і фінансово-посередницькою сферами слід обмежити понадприбутки (прибутки, що перевищують середній рівень рентабельності реального виробництва) тих фінансово-посередницьких структур, які безпосередньо не вкладають кошти на розширення виробництва, а займаються високодохідними і високоліквідними операціями, встановивши для них ставку податку на прибуток на 10...15 процентних пунктів вищою від базової ставки.

Стимулюючий ефект може мати регресивне оподаткування прибутку реального сектору економіки, що визначається зниженням ставки оподаткування в міру зростання прибутку, що буде створювати зацікавленість у зростанні ефективності виробництва, у тому числі за рахунок його обсягів.

Одним із основних способів податкового регулювання діяльності підприємств реального сектору є податкові пільги. Під час їх застосування досягається зниження рівня податкового навантаження на певні галузі. Разом із позитивними, пільгам притаманні і негативні моменти, серед яких: зниження рівня наповнення бюджетів різних рівнів, деформація конкурентних умов, зміна господарської поведінки платника з метою переведення здійснюваних операцій тощо до категорії пільгових.

У 2004 р. з 700 тисяч юросіб, зареєстрованих в Україні, понад дві третини користувалися різними пільгами. У результаті обсяг наданих пільг зрівнявся з дохідною частиною зведеного бюджету. За підрахунками ДПАУ, як показано на рис. 2, за минулий рік податкові пільги по-українськи становили загалом 90,9 млрд грн, а доходи зведеного бюджету за даними Мініну – 90,5 млрд грн [7].

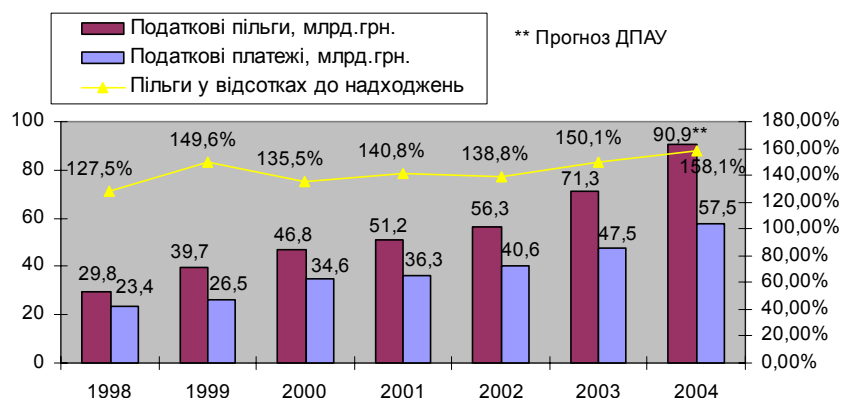


Рис. 2. Динаміка контрольованих ДПАУ податкових пільг і надходжень до бюджету

Серед основних недоліків пільгового оподаткування в Україні, які призвели до скасування багатої кількості пільг не соціальної спрямованості Законом України від 31.03.05 р., можна віднести:

- не спрацював механізм компенсації втрат бюджету від пільгового оподаткування надходженнями від інших джерел доходів;
- розвиток галузей, яким надавалися пільги, відбувався нижчими від очікуваних темпів або взагалі не відбувався;
- використання пільг суб'єктами господарювання мало нецільовий характер;
- відбувалась активізація тіньового сектора економіки [8].

Протиставлювана податковим пільгам політика загального зниження ставки податку на прибуток, при всій її значимості, все-таки не зможе ефективно впливати на певні сфери й напрямки економічної діяльності (см. рис. 2). Тому великий теоретичний і практичний інтерес представляє аналіз системи податкових пільг використовуваних у розвинених країнах, де пільги використовуються стосовно до кожного великого податку. Пільги, які націлені на загальне стимулювання виробничої діяльності, стосуються насамперед оподаткування прибутку.

На сьогоднішній день у розвинених країнах при оподаткуванні прибутку зберігається потужна система пільг, яка забезпечує ефективне

функціонування механізму податкового стимулювання, незважаючи на деяке зменшення кількості податкових пільг в 80–90-х рр.

Сталий характер носять пільги, які надаються промисловим підприємствам, спрямовані на стимулювання інвестицій й науково-технічної діяльності. Важливою формою податкових пільг в окремих країнах Заходу є пряме зменшення оподаткованого прибутку на повний або частковий обсяг витрат підприємств на інвестиційні цілі й науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи. Подібні пільги на різні строки і у різних розмірах використовуються в США, Канаді, Великобританії, Італії, Бельгії, Німеччині, Угорщині і в деяких інших державах [9].

Друга за масштабами форма, застосовуваних податкових пільг – зменшення самого податку на прибуток на величину цих пільг. Подібна форма іменується податковим кредитом. Звичайно, в розвинених країнах використовують декілька видів податкових кредитів. Найпоширеніший з них так званий інвестиційний кредит, тобто відрахування з податку на прибуток певної частини інвестиційних витрат підприємств. Головною метою його є стимулювання розширення парку обладнання та заміна застарілого. На теперішній час інвестиційний кредит досить широко використовується в ряді країн. Застосування деяких видів податкового кредиту в зарубіжних країнах [9–11] та ін. наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Застосування податкових кредитів в зарубіжних країнах**

Країна	Види витрат, за яких застосовується податковий кредит
Англія	У вигляді податкового кредиту підприємствам дозволено використати 10 % і більше корпоративного податку для фінансування заздалегідь обговорених законом інвестицій
Франція	Передбачено прямі вирахування з податку: 10 % від приросту інвестицій в розвиток виробництва 50 % від приросту вкладень в наукові дослідження інвестиційний податковий кредит надається на рівні 25 % приросту витрат компаній на НДДКР порівняно з попереднім роком
Італія	Вирахування з податку: на інвестиції у інновації в розмірі 50 % приросту господарського доходу порівняно з попереднім роком, якщо цей приріст перевищує 15 %, але менше самого розміру інвестицій на інвестиції в розмірі 50 % в нові господарчі активи, якщо розмір цих інвестицій вище середнього за останні 5 років податковий кредит в розмірі 25 % доходу від зайнятості, виплаченого знову найнятим працівникам (строк пільги 2 роки)
Нідерланди	У вигляді податкового кредиту дозволено використати 12,5 % витрат підприємств на нове обладнання і виробниче будівництво
Японія	Вирахуванню з податку підлягає 7 % витрат на енергозберігаюче устаткування, устаткування призначене для зменшення забруднення навколишнього середовища
США	Вирахування з податку: 20 % від приросту витрат на НДДКР 20 % витрат на фінансування програм фундаментальних наукових досліджень, що здійснюються за договорами з університетами інвестиційний податковий кредит надається у розмірі 6...10 % загальної вартості інвестицій в устаткування

Ще одна податкова пільга – зменшення ставки податку на прибуток для певних груп підприємців. Специфіка цієї пільги в тім, що випадки, коли зменшення ставки прямо оголошується податковою пільгою, досить рідкі. Звичайно більше низькі ставки податку на прибуток уводяться у вигляді самостійного напрямку податкової політики тих або інших країн нібито незалежно від загальної системи оподаткування [9]. Наприклад, в США знижена ставка податку встанов-

люється в тих випадках, коли підприємство застосовує обладнання, яке працює на альтернативних видах енергії (сонячній, енергії вітру).

Одночасно з податковими пільгами і у поєднанні з ними в багатьох країнах уживають повне звільнення від податків як без зазначення, так і із установленням строків так званих податкових канікул. Цілі, які ставляться країнами при звільненні від податку на прибуток, показані в табл. 3.

Таблиця 3

**Звільнення від податку на прибуток в зарубіжних країнах**

Країна	Умови за яких підприємство звільняється від податку на прибуток
Франція	Підприємства можуть утворювати тимчасово вільні від податків резерви для закордонних інвестицій
Італія	Нові підприємства, що виникли в деяких відсталих регіонах в 1986 р. звільнені від корпоративного і місцевого податків на підприємницький дохід протягом наступних 10 років (із частковим зменшенням цієї пільги після 31 грудня 1993 р.)
Фінляндія	Періодичне звільнення від податку вживають для стимулювання суднобудування і судноплавства
Бельгія	10-літнє звільнення від корпоративного податку компаній, які збільшують продуктивності праці у разі одночасного збільшення зайнятості і використання виробничих потужностей
Чехія	Великі податкові інвестори (більше 10 млн дол. США протягом 5 років у наукомісткій галузі) можуть відкласти сплату податку на доходи корпорацій на 5 років з початку діяльності

Таким чином, у розвинених країнах у системі оподаткування прибутку існує цілий комплекс різноманітних пільг. Потреба існування податкових пільг інвестиційної спрямованості не заперечується в працях українськими науковцями, які досліджують проблеми розвитку української економіки. Систему податкових пільг слід, на нашу думку, раціоналізувати в наступних напрямках.

Фінансові ресурси, зекономлені за рахунок пільг, доцільно акумулювати на спеціальних банківських рахунках підприємств і використовувати лише на цілі, передбачені даною пільгою (технічне переозброєння виробництва, впровадження енергозберігаючих технологій, використання альтернативних видів енергії та ін.). У разі нецільового використання цих ресурсів підприємства повинні бути позбавлені цих ресурсів шляхом вилучення їх у бюджет держави на спеціальний інвестиційний рахунок. Кошти з цього рахунку мають використовуватися для розвитку пріоритетних галузей, стимулювання НТП.

У загальній сумі пільг переважну частку становлять пільги соціального спрямування. Але не всі пільги досягають своєї соціальної мети. Поряд із запровадженням пільг щодо

інвестицій необхідно замінити всі пільги з податків на прибуток, додану вартість, плату за землю підприємствам за ознакою їх належності до громадських організацій інвалідів на прямі асигнування з бюджету на соціальний захист інвалідів.

Сьогодні надання пільг передбачається не лише податковими законами, а й іншими неподатковими законами, а також постановами Кабінету Міністрів. Тому потрібна систематизація податкового законодавства відносно пільг в одному законі «Про пільги», в якому необхідно чітко визначити перелік пільг, які надаються юридичним і фізичним особам на території України по всіх видах податків, критерії надання пільг, порядок і умови їх встановлення і контролю за цільовим призначенням, строки дії.

Як тимчасовий захід з метою зниження податкового тиску на промислові підприємства доцільно звільнити підприємства від оподаткування прибутку, що спрямовується на інвестиції у виробництво, тобто прибуток спрямований на капіталовкладення виробничого призначення оподатковувати податком за нульовою ставкою. Це дозволить послабити податковий тиск на виробників і збільшити інвестиції в реальний сектор економіки.

## Висновок

Стимулювання економічного розвитку промислових підприємств засобами податкового регулювання, беручи до уваги результати їх діяльності на даному етапі розвитку національної економіки, на думку автора, можливо такими шляхами:

1. Потрібно удосконалення структури оподаткування, яка визначається співвідношенням прямих і непрямих податків, шляхом зниження прямої ваги непрямих податків.

2. Зниження податкового тиску на промислові підприємства можливе за рахунок диференціації податку на прибуток залежно від виду діяльності та розміру одержаного прибутку.

3. Необхідна систематизація податкового законодавства відносно пільг в одному нормативно-правовому акті.

4. Потрібно з моменту запровадження змін у податкове законодавство мінімум три роки не змінювати ставки, пільги та правила оподаткування.

5. Кожна пільга повинна мати цільове призначення щодо використання коштів і повинна мати певний термін дії, на який вона впроваджується.

6. Щоб підприємства могли планувати господарську діяльність і могли оцінювати ефективність своїх поточних або перспективних рішень потрібна відносна стабільність і передбачуваність податкової політики держави.

Повне скасування пільг зовсім не розв'язує проблем у сфері оподаткування, тому що чинної альтернативи пільгам у податковій практиці немає. Тому подальшим етапом досліджень відносно стимулювання промислових виробництв має бути розробка методики оцінки впливу стимулюючих чинників податкового державного регулювання на результати господарювання підприємств, за допомогою якої можна бути встановити доцільність введення і використання термінових податкових пільг.

З метою досягнення результативності податкового регулювання і стимулювання економіки (особливо в період спаду) необхідно постійно коригувати і вдосконалювати податкову систему з урахуванням конкретної економічної ситуації в країні.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Статистичний щорічник України за 2004 рік / За ред. О. Г. Осауленка; Відп. за вип. В. А. Головко // Держкомстат України. – К.: Видавництво «Консультант», 2005. – 590 с.
2. Звіт про результати роботи Міністерства фінансів України за III квартал 2005 року // [http: www.minfin.gov.ua/](http://www.minfin.gov.ua/)
3. Економіка України. Деякі підсумки та узагальнення. Економічний меморандум // Економіст, – 2005. – № 2. – С. 25–31.
4. Задерей Н. Інвестиції в очікування // Галицьки контракти, – 2005. – № 27. – С. 18–19.
5. Соціально-економічне становище України за січень-жовтень 2005 року // [http: www.ukrstat.gov.ua/](http://www.ukrstat.gov.ua/)
6. Ішук С. Податкові важелі стимулювання економічного розвитку промислових підприємств України // Регіональна економіка. – 2002. – № 4. – С. 76–81.
7. Смирнов К. Спроби стимулювати виробництво і розвиток економіки шляхом надання пільг обєрулися серйозними втратами для бюджету // Галицьки контракти, – 2005. – № 11. – С. 22–23.
8. Лютий І. О. Податки на споживання в економіці України / І. О. Лютий, А. Б. Дрига, М. О. Петренко. – К.: Знання, 2005. – 335 с.
9. Никитин С. Налоговые льготы, стимулирующие предпринимательскую деятельность в развитых странах Запада / С. Никитин, А. Никитин, М. Степанова // Мировая экономика и международные отношения. – 2000. – № 11. – С. 48–56.
10. Скворцов Н. Н. Налоговый менеджмент: стратегия и тактика: В 10 кн. Кн.1. От стагнации к стабилизации. Практ. рук. / Под ред. В. П. Давыдовой. – К.: Вища шк., 2002. – 222 с.
11. Крисоватий А. І. Податковий менеджмент: Навчальний посібник / А. І. Крисоватий, А. Я. Кізима. – Тернопіль: Карт-бланш, 2004. – 304 с.

Надійшла до редколегії 14.02.05.

## СИСТЕМА ОПОДАТКУВАННЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ФІНАНСОВО-ГОСПОДАРСЬКУ ДІЯЛЬНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВ

Проаналізовано вплив системи оподаткування на фінансово-господарську діяльність підприємств в умовах економічної трансформації в Україні.

Выполнен анализ влияния системы налогообложения на финансово-хозяйственную деятельность предприятий в условиях экономической трансформации в Украине.

The article studies the influence of indirect taxes, excises in particular, on the financial and economic activities of enterprises in condition of economic transformation in Ukraine.

Відомо, що система оподаткування – це сукупність податків і зборів (обов'язкових платежів), що стягуються в порядку, який встановлений відповідними законами держави до бюджетів різних рівнів, а також до державних цільових фондів.

Досвід країн з розвинутою ринковою економікою свідчить, що система оподаткування, яка прийнята у тій чи іншій країні впливає на економічні процеси як на макро, так і на мікроекономічних рівнях. Отже, існує необхідність дослідження питань, які пов'язані із впливом податкової системи України на економічні процеси суб'єктів підприємницької діяльності.

Огляд чисельних публікацій провідних вітчизняних економістів В. Л. Анрющенка, А. В. Бодюка, В. В. Буряковського, В. П. Вишневецького, С. В. Каламбет, О. П. Кириленка, О. М. Ковалюка, К. Ф. Ковальчука, І. О. Луніної, Т. М. Рева, А. М. Соколовської, Л. М. Шаблістої, Ю. В. Чередниченко, В. М. Федосова, С. І. Юрія та інших щодо ролі і місця податків в економічній системі дозволяє стверджувати про актуальність дослідження цього питання.

Про інтерес, який виявляється до системи оподаткування підприємств та її впливу на їх фінансово-господарську діяльність свідчить ряд публікацій [5–9].

В умовах становлення сучасних ринкових відносин податки в економіці України перетворилися на одну з найсуттєвіших статей витрат підприємств, що не може не відобразитися на рівні їх підприємницької та інвестиційної діяльності.

Елементами оподаткування, через які здійснюється вплив податків на фінансово-господарську діяльність підприємств є: об'єкт оподаткування, база оподаткування, ставки податку, джерело сплати податку, строки сплати податку, податкові пільги, штрафні санкції за порушення податкового законодавства.

Дія названих елементів оподаткування виявляється на таких показниках фінансово-господарської діяльності підприємств: собівартість і ціна продукції, обсяг реалізації, прибуток від реалізації, платоспроможність і фінансова стійкість підприємства, іммобілізація обігових засобів, залишки нереалізованої продукції, обсяг залучення кредитів, чистий прибуток, використання прибутку.

Метою дослідження є виявлення впливу системи оподаткування України на фінансово-господарську діяльність підприємств. Методологічною основою дослідження є теоретичні положення та національна і зарубіжна практика оподаткування підприємств.

Фінансова наука поділила податки на непрямі та прямі. Порядок обчислення окремих податків та умови їх сплати можуть позитивно чи негативно впливати на діяльність підприємства в цілому чи на окремих напрямках його діяльності. Аналізуючи структуру податкових надходжень до Зведеного бюджету України за 1996–2003 рр., відмітим значну питому вагу непрямих податків (31,8 % у 1996 р. і 27,9 % у 2003 р.), що суперечить практиці оподаткування країн з сучасною ринковою економікою. Світовий досвід підтверджує, що частка непрямих податків, до яких відноситься ПДВ і акцизний збір, має становити в доходах бюджету не більш 10...15 % [5, с. 39]. Податок на додану вартість в податкових надходженнях до бюджету країни посідає перше місце, тоді як у країнах з розвинутою ринковою економікою перше місце в структурі податкових надходжень посідає податок на доходи громадян.

Надто висока питома вага ПДВ у розмірі податкових надходжень пов'язана з високою ставкою і надмірно широкою, в порівнянні із західними країнами базою оподаткування.

Податком на додану вартість оподатковуються операції з відвантаження готової продукції, товарів, інших активів, виконання робіт, надання послуг, кошти за які на дату відвантаження (передачі, виконання) не отримані. Оподатковуються також кошти, які отримані від покупців (замовників) до відвантаження (виконання) товарів (робіт, послуг). Такий порядок оподаткування сприяє збільшенню неплатежів ПДВ та зростанню кількості підприємств – «тіньовиків».

Хоча Україна і має приблизно середню ставку ПДВ, порівняно з іншими країнами Європи, але власне зміст ПДВ, його економічна суть у країнах із розвинутою ринковою економікою дуже відрізняються. Якщо там ПДВ є справді податком на ту додану вартість, яку додає підприємство перепродуючи товар, то в Україні він фактично є податком на збут. Адже відвантажена, але неоплачена продукція вже обкладається ПДВ. У тому разі, коли розмір податкового кредиту перевищує суму податкових зобов'язань платника, держава не поспішає вертати сплачений ПДВ підприємствам.

Сплата ПДВ за першою подією, затримка з відшкодуванням ПДВ веде до вимивання реальних коштів у підприємств, що значно погіршує їх фінансовий стан і сприяє поглибленню кризи неплатежів. Якщо сплачений у ціні придбаних матеріальних цінностей ПДВ підлягає відшкодуванню, то негативний вплив на діяльність підприємств буде виявлятися в іммобілізації коштів до їх відшкодування і залежати від суми іммобілізації коштів та тривалості періоду іммобілізації.

Об'єктом оподаткування ПДВ є операції пов'язані з продажем товарів (робіт, послуг) усередині держави, їхнім імпортом та експортом. База оподаткування з продажу товарів (робіт, послуг) визначається виходячи з договірної вартості. У базу для розрахунку ПДВ включають акцизний збір та інші загальнодержавні податки та збори. Для товарів, які ввозяться на митну територію України, база оподаткування включає митну вартість, ввізне мито, акцизний збір.

Для придбаних товарів (робіт, послуг), вартість яких відноситься до складу валових витрат виробництва, вхідний ПДВ відшкодовується за рахунок сум ПДВ, які надходять від реалізації продукції (робіт, послуг) підприємствами, а також із коштів державного бюджету.

Сплачений вхідний ПДВ включається до податкового кредиту. Підставою для включення ПДВ у податковий кредит є податкова накладна. Відшкодування податкового кредиту здійснюється насамперед за рахунок сум ПДВ, що надходять від реалізації продукції.

Відомо, що сума ПДВ, яка підлягає сплаті в бюджет платником податку визначається як різниця між загальною сумою його зобов'язань, що виникли у зв'язку з продажем товарів (робіт, послуг) протягом звітного періоду, і сумою податкового кредиту, що сформувався протягом того самого періоду. Якщо за результатами звітного періоду сума податкового кредиту перевищує суму податкових зобов'язань платника ПДВ, різниця підлягає відшкодуванню платнику податку з державного бюджету. Відшкодування з бюджету податкового кредиту платнику ПДВ має бути здійснено після подання звіту через три звітних періоди. На практиці цей період буває значно довшим. Отже, збільшується період іммобілізації обігових коштів підприємств.

Акцизний збір – це непрямий податок, що встановлюється на підакцизні товари та включається в їхню ціну. Аналіз порядку обчислення та встановлених термінів сплати акцизного збору до бюджету дає змогу зробити такі висновки:

1. Найнегативніший вплив на фінансовий стан суб'єктів господарювання справляє сплата акцизного збору на імпортовані товари. Суб'єкти господарювання зобов'язані сплатити акцизний збір під час митного очищення товару, а за алкогольні та тютюнові вироби під час придбання марок акцизного збору. Відшкодування цих коштів відбувається тільки після реалізації товарів споживачам. Отже, матиме місце іммобілізація обігових коштів суб'єктів господарювання. Водночас слід звернути увагу на те, що в разі імпорту підакцизних товарів не дозволяється використовувати векселі для розрахунків з бюджетом, що робить неможливим відкласти сплату акцизного збору.

2. У підприємств, що виробляють та реалізують підакцизні товари також може мати місце іммобілізація обігових коштів на сплату акцизного збору. Це пояснюється тим, що оподатковуваний оборот з продажу підакцизних товарів, який ураховується для обчислення акцизного збору визначається за фактом відвантаження підакцизних товарів. Така ситуація частіше трапляється за щоденної та подекадної сплаті податку.

3. Негативний вплив на фінансово-господарську діяльність підприємств – платників акцизного збору матиме місце тоді, коли встановлення або підвищення ставок податку призводить до підвищення цін, обмежуючи обсяг виробництва і реалізації продукції та створюючи затоварення.

Таким чином, непрямі податки виконують в основному фіскальну функцію і забезпечують формування доходів державного бюджету.

Вплив непрямих податків на фінансово-господарську діяльність підприємств є досить суттєвим, та водночас складним та недостатньо визначеним.

По-перше, непрямі податки включаються в ціну реалізації. Це може негативно вплинути на обсяги виробництва і реалізації продукції, призводить до зростання їх залишків.

По-друге, на суму непрямих податків зростають витрати підприємств, а значить і їх потреба у фінансових ресурсах – обігових коштах.

Пряме оподаткування в Україні базується на таких основних видах податку:

- податок на прибуток підприємств;
- прибутковий податок з громадян (з 01.01.2004 р. – податок з доходів фізичних осіб).

Причому, частка першого значно перевищує частку другого.

Ставка податку на прибуток в Україні несуттєво відрізняється від ставок оподаткування в країнах із розвинутою економікою. Відмінність полягає в самому підході до стягнення податку на прибуток. Якщо в більшості країн податок на прибуток сплачується за результатами роботи підприємства за певний період виходячи із отриманого балансового прибутку, то в Україні об'єкт оподаткування податком на прибуток визначається виходячи із скоригованого валового доходу, зменшеного на суму скоригованих валових витрат та суму амортизаційних відрахувань, який не завжди відповідає сумі прибутку, яка отримана за результатами фінансового обліку.

Нарахування на заробітну плату у сьогоднішніх розмірах підривають будь яку зацікавленість суб'єктів господарювання легально виплачувати кошти найманим працівникам. Лише внески юридичних осіб до основних позабюджетних фондів (пенсійного, фондів соціального страхування, зайнятості) становлять у сукупності 37,5 % від нарахованої заробітної плати. А якщо ще врахувати суми комунального податку, то можливо дійти висновку, що умов для легальної виплати заробітної плати у підприємств практично не має. А тому й не дивно, що сьогодні більшість підприємств шукають та знаходять можливість виплачувати доходи найманим працівникам із неофіційних джерел. Доказом цього є різниця між середнім рівнем споживання і середніми офіційними доходами населення (приблизно 2,5:1) [9, с. 97].

Податкове законодавство України для суб'єктів господарювання передбачає низку платежів за ресурси: податок (орендну плату) за землю, податок з власників транспортних

засобів та інших самохідних машин і механізмів, збір за спеціальне використання природних ресурсів, збір за забруднення навколишнього природного середовища. Ці податки включаються в собівартість продукції, що впливає на розмір прибутку підприємств, є ціноутворюючим елементом і можуть суттєво впливати на загальний рівень цін.

Система оподаткування в Україні суттєво впливає на формування цін виробництва. Для аналізу податків із позиції ціноутворення рекомендується класифікувати податки за формою оподаткування. Прямі податки пов'язуються з витратною складовою ціни, а непрямі – з надбавками до ціни виробника. Відповідно чинна система оподаткування може бути також структурована як сукупність трьох груп податків, що взаємодіють із цінами виробництва, прямим, опосередкованим і прихованим шляхом [8, с. 77].

У сучасних умовах до податків, які прямо впливають на ціни, належать податки, що стягуються пропорційно вартості реалізованої продукції, наданих послуг, виконаних робіт (податок на додану вартість, акцизний збір, імпортне та експортне мито).

Податки, які входять до складу собівартості продукції, впливають на ціну опосередковано.

До третьої групи відносять такі податки, які через перенесену вартість (матеріальні витрати) впливають на ціни приховано.

Перехід України до сучасних ринкових відносин зумовив значні перетворення у системі господарювання, керування господарськими процесами. Вони не могли не торкнутися і бухгалтерського обліку як системи впорядкованого узагальнення інформації про господарську діяльність, стан і рух майна і зобов'язань підприємств.

З появою нових видів інформації та нових груп її споживачів рамки і функції бухгалтерського обліку розширилися. У результаті в Україні за принципами, які встановлені у міжнародній практиці, формується декілька самостійних підсистем єдиної системи бухгалтерського обліку. Серед них слід виділити підсистеми фінансового, управлінського та податкового обліку.

В Україні поняття податкового обліку з'явилося у зв'язку з введенням в дію в 1997 р. Законів України « Про оподаткування прибутку підприємств» і «Про податок на додану вартість».

Податковий облік тісно пов'язаний з фінансовим обліком. Їх взаємозв'язок у наступному:

- обидва вони базуються на одних і тих же первинних документах;
- фіксують одні і тіж дані і факти господарських операцій;

- ці види обліку ведуть одні і ті ж структурні підрозділи підприємств;
- основна частина інформації, отриманої як у системі фінансового, так і податкового обліку призначена для зовнішніх користувачів.

У той же час, як свідчить практика, результати за даними фінансового і податкового обліку можуть відрізнятися між собою. Уведення у систему господарювання таких показників, як валові доходи, валові витрати, складної системи обліку авансів і бартерних операцій, впровадження додаткової громіздкої документації з обліку ПДВ та інших податків значно збільшило витрати на введення бухгалтерського обліку підприємств.

### Висновки

Проведене дослідження засвідчило, що чинна система оподаткування України впливає на фінансово-господарську діяльність підприємств по двох основних напрямках:

1. На результат діяльності суб'єктів господарювання через включення податків у собівартість продукції, що впливає на розмір прибутку підприємств і є ціноутворюючим елементом, а також до ціни реалізації продукції (робіт, послуг). Це може призвести до зменшення виручки від реалізації, накопичення залишків продукції, скорочення обсягів виробництва, втрати окремих ринків збуту, відмови від де-

яких напрямків господарювання або взагалі банкрутства.

2. На фінансовий стан підприємства через іммобілізацію обігових коштів.

Кількісна характеристика впливу окремих податків на фінансово-господарську діяльність підприємств потребує подальших досліджень.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України від 25 червня 1991 р. № 1251-ХІІ «Про систему оподаткування».
2. Закон України від 28 грудня 1994 р. № 334/94-ВР «Про оподаткування прибутку підприємств».
3. Закон України від 3 квітня 1997 р. № 1681/97-ВР «Про податок на додану вартість».
4. Декрет Кабінету Міністрів України від 26 грудня 1992 р. № 18-92 «Про акцизний збір».
5. Василюк О. Д. Державні фінанси України: Навчальний посібник. – К.: Вища шк. – 1997. – 326 с.
6. Дадалко В. А. і др. Налогообложение в системе международных экономических отношений: Учеб. пособие. – Мн: Армита-Маркетинг, Менеджмент, 2000. – 359 с.
7. Данко І.М. Непрямі податки: їх вплив на фінансово-господарські рішення // Фінанси України. – 2003. – № 10. – С. 131–135.
8. Мацелюк Н.П. Вплив податкових чинників на формування цін // Фінанси України. – 2003. – № 2. – С. 77–86.
9. Пинзеник В. Макроэкономическая стабилизация в Украине: Итоги и проблемы // Вопросы экономики. – 1996. № 1. – С. 97.

Надійшла до редколегії 24.06.2006.



## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ЗАТРАТАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Розглянута проблема управління витратами виробництва, яка становить собою пошук і досягнення оптимального їх рівня як по підприємству в цілому, так і по його структурним підрозділам. Дослідження проблеми управління витратами підприємства повинно носити системний характер. Запропоновано механізм управління витратами, який складається з поєднання елементів організаційного та економічного характеру.

Рассмотрена проблема управления затратами производства, которая состоит в поиске и достижении оптимального их уровня как по предприятию в целом, так и по его структурным подразделениям. Исследование проблемы управления затратами предприятия должно носить системный характер. Предложен механизм управления затратами, состоящий из сочетания элементов организационного и экономического характера.

The article is devoted to the issue of operational cost management which consists in the search and achievement of the optimum level both for the enterprise as a whole and for its structural subdivisions. Studies of the issue of operational cost management must have a systematic character. The article proposes a mechanism of cost management which consists of combination of organizational and economic elements.

Общеизвестно, что производство товаров и услуг на предприятии начинается в том случае, если оно располагает всеми необходимыми трудовыми, материальными и финансовыми ресурсами. Возникающие при этом затраты предприятие должно компенсировать, реализуя свою продукцию на рынке сбыта, получая соответствующие доходы. Исследование проблемы управления затратами предприятия в действительных рыночных условиях приобретает особенное значение и должно носить системный характер.

Об интересе, проявляемом к управлению затратами предприятий, свидетельствует наличие целого ряда публикаций, посвященных этой теме, как отечественных [2–6], так и зарубежных ученых [1; 7].

Реформирование бухгалтерского учета, вызванного вводом с 01.01.2000 г. в действие национальных, приближенных к международным, стандартов учета, усиливает интерес к дальнейшим исследованиям по данной теме.

Формирование политики системного подхода к управлению затратами, при котором предприятие рассматривается как сложная динамическая система, состоящая из ряда структурных подразделений, определенным способом связанных между собой и внешней средой. Контроль за внедрением в производство предложений по оптимизации затрат, сделанных по результатам финансово-экономического анализа деятельности предприятия.

Проблема управления затратами состоит в поиске и достижении оптимального их уровня как по предприятию в целом, так и по его

структурным подразделением. Поэтому должен быть разработан механизм управления затратами, состоящий из сочетания элементов организационного и экономического характера. Основными условиями эффективного функционирования этого механизма является готовность руководства предприятия и его структурных подразделений к работе в условиях рыночной экономики, наличие менеджеров, способных результативно управлять производственными затратами, а также должна быть обеспечена нормативно-правовая база функционирования этого механизма.

Этапы формирования политики управления затратами производства:

- подготовка управленческого персонала к работе в условиях рыночной экономики;
- определение цели и задач управления затратами;
- разработка нормативно-правовой базы;
- установление показателей контроля;
- определение уровня допустимых отклонений от запланированных величин;
- оценка объективности информации;
- сравнение фактических затрат с плановыми;
- установление причин отклонения отчетных показателей от запланированных величин;
- ликвидация причин отклонения;
- объективная оценка работы ответственных лиц (менеджеров).

Известно, что процесс производства продукции характеризуется временем ее нахождения непосредственно в производстве (время заготов-

ки, собственно обработки и подготовительно – заключительное время) и временем пребывания ее на складе. Последний показатель оказывает большое влияние на результаты финансовой деятельности предприятия. С финансовой точки зрения, чем длиннее складской период, чем больше складские запасы, тем дольше капитал находится в связанном состоянии, кроме того, несвоевременные платежи клиентов приводят к ухудшению финансовой ситуации. С другой стороны, само предприятие несет обязательства по своим платежам. Источником средств для этих платежей служит выручка от реализации готовой продукции и предоставления услуг. Иными словами, два противоположных процесса – расходование средств и их приток – должны находиться в определенном равновесии.

Из сказанного следует, что для успешного решения задач, связанных с функционированием и совершенствованием производства, руководство предприятия должно располагать информацией о затратах производства и о возможности выполнения своих финансовых обязательств. Эта информация позволяет принимать такие решения или осуществлять такие мероприятия, которые способствуют поддержанию финансового равновесия предприятия. Одна из задач экономических служб, в частности, бухгалтерского учета, в подготовке такой информации. Экономическая информация должна достоверно и объективно отражать затраты производства иначе выводы, сделанные по результатам анализа, не будут соответствовать действительности, а разработанные аналитиками предложения не принесут пользы предприятию.

Комплексное рассмотрение деятельности предприятия с одной стороны, и необходимость управления внутрипроизводственными процессами в его отдельных подразделениях с другой, обуславливают различия между финансовым и производственным учетом.

Финансовый учет охватывает все взаимоотношения предприятия с внешними контрагентами, выраженные в денежной форме. Особое значение имеют следующие показатели деятельности предприятия за определенный период: имущество и задолженность, ликвидность, рентабельность, отношения собственности, платежеспособность и финансовая устойчивость. Поэтому в данных финансового учета заинтересованы:

1) руководство предприятия – для решения задач в сфере финансово-экономического управления;

2) компаньоны – в информации о рентабельности своих денежных вложений;

3) инвесторы, предоставившие заемный капитал, – в информации о надежности кредита и величине процентных ставок;

4) государство – для определения налоговых обязательств и контроля за соблюдением действующих нормативных актов.

Задача производственного учета – получить информацию о ходе производственного процесса в отдельной хозяйственной системе посредством микроэкономического анализа и отразить ее с целью принятия точных управленческих решений, к которым можно отнести:

- определение оптимальной производственной программы и номенклатуры продукции;

- определение верхней допустимой цены закупки сырья, материалов, топливно-энергетических ресурсов;

- установление оптимальных цен на выпускаемую продукцию (работы, услуги);

- выбор альтернативы: собственное производство или закупка полуфабрикатов и комплектующих;

- объективная оценка работы ответственных лиц.

Общая ответственность за результаты деятельности предприятия всегда лежит на высшей ступени руководства (управленческая ответственность), которая затем передается сверху вниз – путем делегирования задач и компетенции, соответственно постановки и передачи частных целей – на нижестоящие ступени иерархической лестницы (ответственность за реализацию). Цели должны быть запланированы и установлены таким образом, чтобы они носили конструктивный характер и их можно было бы достичь только в результате определенных усилий.

Менеджер, осуществляющий планирование и контроль за затратами на том или ином участке производства, кроме их совокупной величины, должен знать, какие затраты изменяются в зависимости от воздействия внешних факторов, и быть готовым противостоять этому, а также знать на какие элементы затрат он может оказывать прямое воздействие.

При оценке результатов деятельности предприятия (подразделения) важную роль играют обороты по реализации продукции, скидки и факторы уменьшения выручки. Четко должна быть выделена чистая выручка предприятия от реализации продукции или услуг. Эта чистая выручка должна сопоставляться с затратами на единицу реализованной продукции так, чтобы был виден вклад в результат каждого вида продукции.

В современных условиях уже недостаточно ориентироваться только по показателям произведенной продукции. Планирование, управление и учет фактических результатов должны осуществляться в соответствии с критериями подготовки рынка. Из этого следует, что анализ результатов финансово-производственной деятельности предприятия должен строиться с учетом интересов клиентов, особенностей регионов, каналов сбыта и других возможных параметров.

В результате анализа может быть установлено, что предложение не покрывает спрос, тогда следует или повысить эффективность производства за счет более интенсивного использования оборудования и повышения производительности труда, либо за счет увеличения рабочих мест, т. е. ввода дополнительных мощностей. Если невозможны дополнительные капиталовложения или увеличение численности персонала, необходимо проверить возможности устранения «узких мест». Согласование спроса и предложения практически представляет собой многократно повторяющийся процесс, в котором важную роль играют решения руководителей относительно объема инвестиций, корректировки нагрузки на персонал и оборудование в соответствии с имеющимися производственными мощностями.

Нельзя исключить и того, что спрос на мощности окажется меньше, чем производственные возможности предприятия. Чтобы избежать неполной загрузки, необходимы меры по стимулированию спроса. Синхронизация производственной программы с программой сбыта является одной из наиболее трудных задач администрации. При согласовании друг с другом спроса и производственных возможностей предприятия и определяется выработка по каждому участку производства, используемая в качестве показателя плановой загрузки данного подразделения и лежащая в основе планирования затрат и получения необходимой суммы прибыли. Составление плана прибыли базируется на желаниях и целях администрации предприятия. Исходя из опыта высокоразвитых рыночных стран, каждая вложенная в дело денежная единица должна приносить 15 % чистой прибыли.

При планировании затрат возникают следующие вопросы:

- Какие затраты возникают? – т. е. виды затрат.
- Где возникают затраты? – т. е. место возникновения затрат.
- Для чего возникают затраты? – т. е. объекты затрат.
- Благодаря какой продукции и услугам достигнут успех на рынке? – т. е. объекты выручки.

Планирования и учет себестоимости на предприятиях ведут по элементам затрат и калькуляционным статьям расходов. К элементам затрат относятся: материальные затраты, затраты на оплату труда, начисления на заработную плату, амортизация основных средств, прочие затраты. Группировка затрат по элементам необходима для того, чтобы изучить материалоемкость, энергоемкость, трудоемкость и фондоемкость продукции. Группировка затрат по назначению, т. е. по статьям калькуляции, указывает, куда, на какие цели и в каких размерах израсходованы ресурсы. Она необходима для исчисления себестоимости отдельных видов изделий, установления центров сосредоточения затрат и поисков резервов их сокращения.

Известно, что под местом возникновения затрат понимаются подразделения предприятия, занимающиеся изготовлением и реализацией готовой продукции (производственные участки, служба сбыта). При большом объеме затрат среди основных производных подразделений целесообразно разделить их на несколько зон, например, по виду продукции (работ, услуг), по которым отдельно планировать объем производства и реализации, соответственно устанавливая нормы затрат. Удельный вес затрат основных производственных подразделений достигает 70...80 % общей суммы затрат по предприятию, а остальные 20...30 % составляют затраты вспомогательных подразделений, обеспечивающих работу основных производственных подразделений. К ним относятся служба снабжения, служба главного механика и главного энергетика, управленческий аппарат подразделения и предприятия в целом.

Объектом затрат является каждый вид продукции (работ, услуг), производимых структурными подразделениями предприятия, которые либо прямо отгружаются потребителю, либо помещаются на склад предприятия и на которые в конечном счете попадают эти затраты. Классификация объектов затрат зависит от внутрипроизводственной структуры предприятия, а при установлении объектов выручки, которой является проданная клиентам продукция, от запроса рынка. Для производственного планирования представляет интерес классификация продукции, а для планирования сбыта – группировка по клиентам или регионам. При классификации объектов выручки необходима группировка продукции по такому параметру, чтобы он наилучшим образом соответствовал условиям производства и реализации продукции.

Анализ сравнения фактических затрат с плановыми показывает, на сколько всем управленческим службам предприятия удалось достичь поставленных целей. Возникшие при этом отклонения необходимо группировать по отделам или службам функционирования предприятия. В сфере производства необходимо проанализировать отклонения по объектам затрат – лучше всего это сделать по калькуляционным статьям расходов, в сфере сбыта – по потребителям и регионам.

### Выводы

Применение системного подхода к управлению затратами позволит повысить эффективность финансово-хозяйственной деятельности предприятий, обеспечит их финансовую стабильность и конкурентоспособность. Как показала практика, изложенная система способна развиваться и совершенствоваться в процессе дальнейшей производственной деятельности. Всегда возможны ее корректировки в соответствии с потребностями отдельных

предприятий и особенностями развития рыночной экономики.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Друри К. Введение в управленческий и производственный учет / Пер. с англ. – М.: «ЮНИТИ», 1998. – 324 с.
2. Кредісов А. Менеджмент для керівників / А. Кредісов, Є. Панченко, В. Кредісов. – К.: ГЕНЕЗА, 1999. – 556 с.
3. Лебедев В. Г. Управление затратами на предприятии / В. Г. Лебедев, Т. Г. Дроздова. – СПб.: Изд-во Бизнес пресса, 2000. – 227 с.
4. Лецій В. Р. Інформаційне забезпечення управління підприємством. // Фінанси України, – 1999. – № 5. – С. 53–59.
5. Перегудов Ф. И. Введение в системный анализ: Учебное пособие для вузов / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.
6. Финансовое управление компанией. – М.: Правовая культура, 1995 – 284 с.
7. Шим Д. Методы управления стоимостью и анализа затрат / Д. Шим, Д. Сигель; Пер. с англ. – М.: Филдинг, 1996. – 357 с.

Поступила в редколлегию 10.03.2006.

## МОДЕЛЬ ОПЦІОННОГО КОНТРАКТУ ЗІ ЗМІННИМ ТЕРМІНОМ ДІЇ

Розроблено економіко-математичну модель, яка може бути використана для вдосконалення механізму хеджування вкладень на фінансовому ринку з метою отримання прибутку від діяльності з сучасними видами фінансових інструментів.

Разработана экономико-математическая модель, которая может быть использована для совершенствования механизма хеджирования вложений на финансовом рынке с целью получения прибыли от деятельности с современными видами финансовых инструментов.

An economic and mathematical model has been developed which can be used for improvement of the mechanism of hedging investments on the financial market with the aim of drawing an economic profit while using modern types of monetary instruments.

Торгівля терміновими контрактами у теперішній час є характерною особливістю потужних та стабільних фінансових ринків. Тому формування портфелів, які складені з фондових активів і термінових контрактів є важливою задачею для учасників ринку, де використовуються похідні фінансових інструментів.

У роботах [1–3] наведені приклади опціонів, які дістали поширення у даний час. Слід зазначити, що для валютних та відсоткових опціонів, а також опціонів на реально існуючі облігації, акції, товар, ф'ючерси, опціони, свопопціони, індексні опціони важливим є період, протягом якого вони можуть бути виконані. Крім того, за правилами виконання опціони поділяються на американські, європейські і бермудські.

Для американського опціону характерним є можливість купівлі або продажу його в будь-який момент часу між датою укладення договору і датою його закінчення. Якщо опціон європейський, то майно може бути куплено чи продано тільки у момент закінчення договору.

Для бермудського опціону період, протягом якого він може бути виконаний, повинен бути більшим, ніж для європейського, але меншим, ніж для американського опціону з тими ж датами початку і закінчення договору. Крім того, опціони бувають як позабіржові, так і біржові, ліквідність яких забезпечується стандартним договором.

Для побудови моделі опціонного контракту в умовах ідеального ринку передбачимо, що: цінні папери є абсолютно ліквідними і є нескінченно діленими, відсутні витрати і податки, пов'язані з купівлею та продажем цінних паперів, жоден з учасників ринку своїми діями не може вплинути на ціни активів.

Слід зазначити, що в прийнятих умовах не має значення чи була зроблена реальна передача акцій чи була передана відповідна сума грошей.

Окрім відомих факторів, від яких залежить ціна опціону моменту часу і терміну закінчення опціону, поточної ціни акції, ціни виконання, виплачуваних дивідендів, термінової структури відсоткової ставки у фіксований момент часу, характеру зміни ціни акції з часом, виду опціону) будемо враховувати залежність поточної ціни акції від часу.

У роботі [6] було показано, що на ідеалізованому ринку інвестори можуть фактично дублювати потік платежів опціону-колл, керуючи портфелем, що містить тільки акцію та облігацію. Володіння цим портфелем еквівалентно володінню опціоном-колл і ринкова вартість складових його цінних паперів у початковий момент часу є вартість опціону.

Опціон локально відтворюється без ризиковими облігаціями та акціями. Його вартість визначається у роботі формулою, яка ґрунтується на ринкових показниках, що спостерігаються, та визначає вартість опціону незалежно від ринкових переваг інвесторів. Для оцінки опціонів застосовують біноміальні моделі, метод Монте-Карло, стохастичне диференціальне рівняння, яке ґрунтується на лемі Іто.

Для визначення ціни опціону у роботі [7] наведено таке стохастичне диференціальне рівняння:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = rW - \frac{1}{2} \delta^2 x^2 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - (r - \gamma)x \frac{\partial W}{\partial x}, \quad (1)$$

де  $W$  – ціна опціону;  $x$  – ціна акції;  $\delta$  – волатильність ціни акції;  $r$  – неперервно нарахова-

на миттєва ставка без ризику;  $\gamma$  – ставка неперервно нарахованого дивіденду.

Визначимо розв'язок цього рівняння в області

$$D = \{\tau_0 < \tau < T, 0 < x < \xi(\tau)\}.$$

Крайові умови для рівняння (1) запишемо у достатньо загальному вигляді

$$W(\tau_0, x) = \Psi(x), \quad 0 < x < \xi(\tau), \quad (2)$$

$$\frac{\partial W(\tau, 0)}{\partial x} = \Psi_1(\tau),$$

$$\frac{\partial W[\tau, \xi(\tau)]}{\partial x} = \Psi_2(\tau),$$

де  $\xi(\tau)$  – змінна межа ціни акції.

Для розв'язку задачі застосуємо метод розроблений у роботах [4; 5], який ґрунтується на спільному застосуванні методу скінченно-інтегральних перетворень та алгоритму Рунге-Кутта. Відповідно до вимог метода введемо нову функцію  $V(\tau, x)$ , відносно якої задані граничні умови будуть перетворені до однорідних:

$$V(\tau, x) = W(\tau, x) - \Psi_1(\tau) - \\ - [\Psi_2(\tau) - \Psi_1(\tau)] \frac{x}{\xi(\tau)}$$

Тоді вихідна задача має вигляд

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} = rV - \frac{1}{2} \delta^2 x^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} - (r - \gamma)x \frac{\partial V}{\partial x} + \\ + q(\tau, x), \quad \tau > \tau_0, 0 < x < \xi(\tau);$$

$$V(\tau_0, x) = \Omega(x), \quad 0 < x < \xi(\tau);$$

$$\frac{\partial V(\tau, 0)}{\partial x} = \frac{\partial V[\tau, \xi(\tau)]}{\partial x} = 0, \quad \tau > 0,$$

де

$$q(\tau, x) = \dot{\Psi}_1 x \left( \frac{x}{2\xi} - 1 \right) + \frac{x^2 (\Psi_1 - \Psi_2)}{2\xi} - \frac{\dot{\Psi}_2 x^2}{2\xi} - \\ - r \left[ \Psi_1 x \left( -\frac{x}{2\xi} + 1 \right) + \frac{\dot{\Psi}_2 x^2}{2\xi} \right] - \frac{1}{2\xi} \delta^2 x^2 [\Psi_2 - \Psi_1] - \\ - x(r - \gamma) \left[ \Psi_1 - \frac{x}{\xi} (\Psi_1 - \Psi_2) \right],$$

$$\Omega(x) = \Psi(x) - \Psi_1(\tau_0) \left( \frac{x}{2\xi(\tau_0)} - 1 \right) - \\ - \frac{x}{\xi(\tau_0)} \cdot \frac{\Psi_2(\tau_0) x^2}{2\xi(\tau_0)}.$$

Відповідно до граничних умов задачі, введено скінченноінтегральне перетворення

$$\alpha_n(\tau) = \int_0^{\xi(\tau)} V(\tau, x) \cos \frac{n\pi x}{\xi(\tau)} dx$$

та формулу обернення

$$V(\tau, x) = \frac{2}{\xi(\tau)} \sum_{n=0}^{\infty} \alpha_n(\tau) \cos \frac{n\pi x}{\xi(\tau)}.$$

Для визначення коефіцієнтів розкладання  $\alpha_n(\tau)$  запишемо задачу Коші для системи звичайних диференціальних рівнянь першого порядку

$$\frac{d\alpha_n}{d\tau} = r\alpha_n + \frac{\xi}{\xi} \sum_{m=0}^{\infty} \omega_{nm} \alpha_m + \delta^2 \sum_{m=0}^{\infty} \alpha_m \beta_m^2 \gamma_{nm} + \\ + (r - \gamma) \sum_{m=0}^{\infty} \alpha_m \beta_m \chi_{nm} + q_1(\tau),$$

$$\alpha_n(\tau_0) = \int_0^{\xi(\tau_0)} \Omega(x) \cos \frac{n\pi x}{\xi(\tau_0)} dx,$$

де

$$\omega_{nm} = \frac{2(-1)^{n+m} nm}{m^2 - n^2}, \quad n \neq m;$$

$$\omega_{nm} = \frac{1}{2}, \quad n = m;$$

$$\gamma_{nm} = \frac{(-1)^{n+m} 2\beta_m}{\beta_n^2 - \beta_m^2}, \quad n \neq m;$$

$$\gamma_{mn} = \frac{\xi^2}{6} + \frac{(-1)^m}{4\beta_{m^2}}, \quad n = m;$$

$$\chi_{nm} = -\frac{\xi}{\beta_n}, \quad n = m;$$

$$\chi_{nm} = \frac{2(-1)^{n+m} \beta_m}{\beta_m^2 - \beta_n^2}, \quad n \neq m;$$

$$\beta_i = i\pi/\xi, \quad q_1(\tau) = \int_0^{\xi} q(\tau, x) \cos \beta_n x dx.$$

Визначив значення коефіцієнтів  $\alpha_n(\tau)$ , остаточно ціна опціону, яка враховує залежність від часу ціну акції, обчислюється за формулою

$$W(\tau, x) = \frac{2}{\xi(\tau)} \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_n(\tau) \cos \beta_n x + \frac{\Psi_2 x^2}{2\xi} - \Psi_1 x \left( \frac{x}{2\xi} - 1 \right).$$

Слід зазначити, що функціональний ряд в області  $D$  збігається абсолютно і рівномірно.

Для розробки програмного продукту було використано мову програмування Visual Basic for Applications (VBA).

Структуру програмного продукту можна умовно поділити на три суттєві етапи:

- введення даних;
- розв'язування задачі;
- відображення результатів числового та графічного розв'язку задачі.

Програмний продукт, що був спеціально розроблений для цієї моделі, має гнучкий характер використання. При будь-якому доповненні чи зміні початкової інформації щодо котирувань акцій, алгоритм та програма автоматично враховує її. Використовуючи вхідні дані, які наведені в роботі [4] щодо визначення вартості опціону АТ «Днепрошина», можна навести такий графік (рисунок).

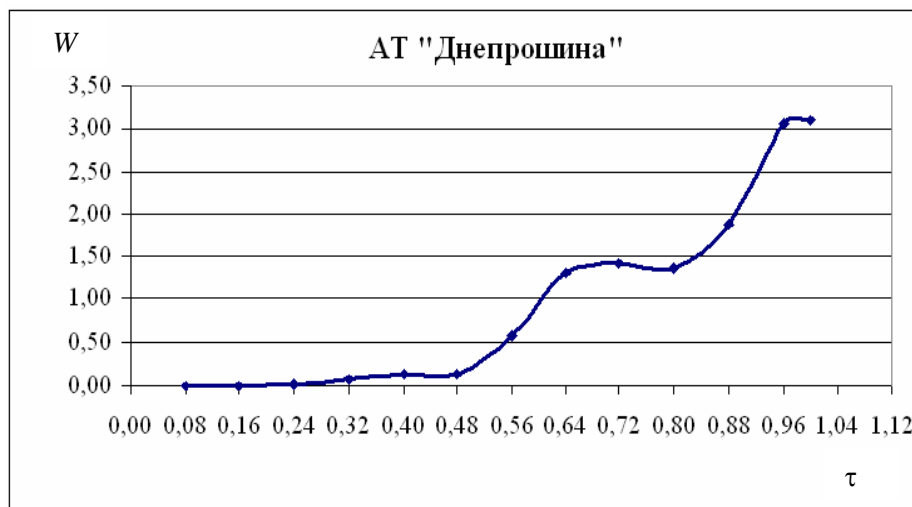


Рис.

Таким чином, розроблена математична модель може бути використана для вдосконалення механізму хеджування вкладень на фінансовому та фондовому ринку з метою отримання прибутку від діяльності з сучасними видами фінансових інструментів.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Шведов А. С. О математических методах, используемых при работе с опционами // Экономический журнал ВШЕ. – 1998. – № 3. – С. 385–409.
2. Николаев Л. К. О циклах экономической активности в процессе роста капитала // Экономика и математические методы, – 2003, – № 1, – С. 33–42.
3. Коркунов А. В. Оценка опционов и дельта-хеджирования применительно к фьючерсным контрактам на российском рынке // Экономический журнал ВШЕ – 1999 – № 2 – С. 173–185.
4. Яковенко Є. О. Модель оцінки опціону на фінансовому та фондовому ринках // Сучасний етап та проблеми розвитку підприємництва в регіоні: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції 10–11 листопада 2005 року м. Жовті Води, т.3, Наука і освіта – С. 26–28.
5. Яковенко Е. А. Модель циклических колебаний темпа прироста капитала в экономике / Е. А. Яковенко, А. Г. Яковенко // Науковий вісник НГУ. – 2005. – №2. – С. 94–96.
6. Black F. and Sholes M. S., The Pricing of Options and Corporate Liabilities. – Journal of Political Economy 81, 1973, – P. 637–659.
7. Merton R. C., Theory of Rational option Pricing – Bell Journal of Economics and Management Science, 1973 – P. 141–183.

Надійшла до редколегії 16.05.2006.

Наукове видання

# **В І С Н И К**

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

Випуск 12

Українською, російською та англійською мовами

Відповідальний за випуск *І. П. Корженевич*

Комп'ютерна верстка *Я. І. Заїць*

Коректори *Т. В. Щепоткіна, Т. В. Мацкевич*

Здано до набору 09.10.2006. Підписано до друку 28.12.2006. Формат 60×84 1/8.

Папір офсетний. Друк офсетний. Умов. друк. арк. 27,91.

Обл.-вид. арк. 29,11. Тираж 100 прим. Замовлення № 1823. Видавн. № 95.

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), [admin@diitrvv.dp.ua](mailto:admin@diitrvv.dp.ua)