

06
254

ISSN 1993-9175

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ



ВІСНИК

Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 19

Дніпропетровськ
2007

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 19

Дніпропетровськ
2007

Редакційна колегія:

Головний редактор д-р техн. наук *Пишійко О. М.*
Заступник головного редактора д-р техн. наук *Мямлін С. В.*
Члени редколегії: д-р біолог. наук *Дворецький А. С.*;
д-ри техн. наук *Блохін Є. П., Бобровський В. І., Боднар Б. Є., Босов А. А.,*
Браташ В. О., Вакуленко І. В., Гетьман Г. К., Дубинець Л. В.,
Жуковицький І. В., Заблудовський В. О., Загарій Г. І., Казакевич М. І.,
Колесов С. М., Коротенко М. Л., Костін М. О., Курган М. Б.,
Петренко В. Д., Пунагін В. М., Радкевич А. В., Разгонов А. П., Рибкін В. В.,
Скалозуб В. В., Хандецький В. С., Шафіт Є. М.;
д-ри фіз.-мат. наук *Гаврилюк В. І., Кравець В. В.*;
д-ри хім. наук *Біляєв М. М., Нейковський С. І., Федін О. В.*;
д-ри екон. наук *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 25.06.2007, протокол № 13

Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка
В53 В. Лазаряна. – Вип. 19. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна,
2007. – 2: ; с.

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

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

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

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

ББК 39.2

ЗМІСТ

ГАЛУЗЬ ТЕХНІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ»

В. І. ГАВРИЛЮК, В. В. БЕЗРУКОВ, Р. В. РИБАЛКА (ДІТ) ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОСЕРЕДКОВАНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСОВИХ І ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЙНОГО ОБ'ЄКТА НА ІМІТАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ	7
В. И. ГАВРИЛЮК, В. И. ПРОФАТИЛОВ (ДИИТ) МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЯКОРЯ ПО ЗНАЧЕНИЮ ИНДУКТИВНОСТИ ОБМОТКИ РЕЛЕ	13
Т. Н. СЕРДЮК, В. И. ГАВРИЛЮК (ДИИТ) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОДОВОЙ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ.....	18
D. WÓJCIK (Silesian University of Technology, Gliwice, Poland) PREDICTION OF EXPOSURE CONDITIONS IN VICINITY OF UMTS BASE STATION ANTENNAS.....	23

РОЗДІЛ «ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ»

Н. Н. БЕЛЯЕВ, П. Б. МАШИХИНА, М. К. ТРЕТЯК (ДИИТ) ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКА ТЕРМИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ ПРИ АВАРИЯХ НА ПРОМПЛОЩАДКАХ	27
Н. Н. БЕЛЯЕВ, О. П. ШАКИНА, А. Ю. ШМИГЕЛЬ (ДИИТ) ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРИ ГОРЕНИИ ФОСФОРА.....	30
Е. Ю. ГУНЬКО (ДИИТ) МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ИСПАРЕНИИ ЖИДКОСТИ ИЗ ГРУНТА	35
Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО (ДИИТ), Р. Г. ГАПОНОВА, Т. М. ПУСТОВАРОВА, М. В. БЕЛОНОЖКО (ДметАУ) ЭМИССИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В САНИТАРНОЙ ЗОНЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ Г. ДНЕПРОПЕТРОВСКА	40

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ»

В. М. БЕЗРУЧЕНКО, А. В. ШАПОВАЛОВ, (ДІТ) ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ КОМУТАЦІЇ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ.....	47
В. А. ДЗЕНЗЕРСКИЙ С. В. БУРЫЛОВ, В. Ю. СКОСАРЬ (ИТСТ НАН УКРАИНЫ «Трансмаг») Ю. И. СКОСАРЬ, Е. В. АНИКЕЕВ, М. А. НЕЗНАНОВ (ЗАО «ВЕСТА-Днепр») ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОКООТВОДОВ ДЛЯ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ	50
В. Г. КУЗНЕЦОВ, О. М. ПОЛЯХ (ДІТ) ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ.....	55
А. М. МУХА (ДІТ) ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПОТУЖНОСТІ ТЯГОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА БАГАТОСИСТЕМНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ	61

РОЗДІЛ «ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ»

І. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДІТ) РОЗШИРЕНІ МОЖЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРЕБУДОВИ ПЛАНУ ПІД ВИСОКІ ШВИДКОСТІ ПОЇЗДІВ У ПРОГРАМІ RWPLAN 1.3.4.....	67
Д. М. КУРГАН, І. О. БОНДАРЕНКО (ДІТ) ВПЛИВ СТАНУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ДІЛЯНКИ І СТРУКТУРИ ПОЇЗДОПОТОКУ НА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ КОЛІЇ	78

М. Б. КУРГАН, О. С. МАРКОВА (ДІТ) ВПЛИВ ОБМЕЖЕННЯ ШВИДКОСТІ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ РУХУ ПОЇЗДІВ	84
---	----

РОЗДІЛ «МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ»

В. И. БОБРОВСКИЙ, И. Я. СКОВРОН (ДИИТ) СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ	88
А. А. БОСОВ (ДИИТ), Г. Н. КОДОЛА (УкрГХТУ) ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПАРЕТО РЕШЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ВЕКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА	94
В. Г. КУЗНЕЦОВ, А. А. ЕРОФЕЕВ (Белорусский государственный университет транспорта) ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПЕРИОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ПОЕЗДООБРАЗОВАНИЯ	99
В. В. ЛАГУТА (ДИИТ) ПОГРЕШНОСТЬ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ПЕРВОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ С АППРОКСИМАЦИЕЙ ВТОРОЙ ПРОИЗВОДНОЙ ЛИНЕЙНЫМ СПЛАЙНОМ	105
О. Н. ЛИСОГУРСКИЙ (Белорусский государственный университет транспорта) СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ТЕХНИЧЕСКОМУ НОРМИРОВАНИЮ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ	109
Т. Ф. МИХАЙЛОВА (ДІТ), О. В. ПСКУНОВА (ДФА) МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБСЯГІВ ПОДАТКОВИХ НАДХОДЖЕНЬ З УРАХУВАННЯМ РИЗИКУ	113
Н. І. ПОСЛАЙКО (ДІТ) ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНІЄЇ СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ З НЕНАДІЙНИМИ ОБСЛУГОВУЮЧИМИ ПРИЛАДАМИ В ПЕРЕХІДНОМУ РЕЖИМІ	118
А. С. РАСПОПОВ (ДИИТ) КОНЕЧНО-АВТОМАТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СТЕРЖНЕВЫХ И БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	125
В. В. СКАЛОЗУБ, Л. А. ПАНИК (ДИИТ) МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОТОКОВЫХ ЗАДАЧ С НЕОДНОРОДНЫМИ НОСИТЕЛЯМИ	134
О. И. ХАРЧЕНКО (ДИИТ) МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ДИРЕКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗКОК	138
GINTAUTAS BUREIKA (Vilnius Gediminas Technical University) RESEARCH ON POSSIBILITIES TO IMPROVE DIESEL LOCOMOTIVES' MAINTENANCE SYSTEM	145

РОЗДІЛ «РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ»

І. Є. БАТЮШИН (Укрзалізниця), О. М. БОНДАРЬ, В. Л. ГОРОБЕЦЬ, О. М. ЗАБОЛОТНИЙ, Д.О. ЯГОДА (ДІТ) ПОКАЗНИКИ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОВОЗА ЧС4 ТА МІЦНОСТІ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ РАМ ВІЗКІВ ВИРОБНИЦТВА ХК «ЛУГАНСЬКТЕПЛОВОЗ»	152
А. А. БУРЯК, В. А. ДЗЕНЗЕРСКИЙ, Э. А. ЗЕЛЬДИНА (ИТСТ НАН Украины) ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА САМОСТАБИЛИЗАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЛЕВИТАЦИИ	161
В. С. КОССОВ, В. Н. ОГУЕНКО, В. В. ОГУЕНКО (ВНИКТИ, Россия) УЧЕТ ГИГАЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ СТАЛЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ СРОКА СЛУЖБЫ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ	165
А. Б. КУЗЬМИН, В. С. КОССОВ, А. Л. ПРОТОПОПОВ, Н. Ф. КРАСЮКОВ, Б. Б. БУНИН, Э. С. ОГАНЬЯН (ОАО ВНИКТИ, Россия) ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ АВТОСЦЕПКИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗКАХ	170
Л. М. ЛОБОЙКО (Укрзалізниця), Ю. С. БАРАШ (ДІТ) СТАН ВАГОННОГО ПАРКУ ТА ВАГОНРЕМОНТНОЇ БАЗИ В УКРАЇНІ	176
В. А. ПОЛЯКОВ, Н. М. ХАЧАПУРИДЗЕ (ИТСТ НАН УКРАИНЫ) РАЦИОНАЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА	183

РОЗДІЛ «РЕМОНТ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ»

В. М. БЕЗРУЧЕНКО, А. В. ШАПОВАЛОВ (ДІТ) ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ КОМУТАЦІЇ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ.....	190
Ю. Я. ВОДЯННИКОВ, Е. Г. МАКЕЕВА, А. М. САФРОНОВ (ГП «УкрНИИВ») ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С ОСЕВОЙ НАГРУЗКОЙ 25 ТС.....	193
А. В. ДОНЧЕНКО, М. В. ТРОЦЬКИЙ, А. Г. КРУПА (ДП «УкрНДІВ»), Ю. В. ДЬОМІН (КУЕТТ) БАЗОВІ ВИМОГИ ДО РУХОМОГО СКЛАДУ ДЛЯ БЕЗПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ	201
І. Ю. ЛЕВИЦЬКИЙ (Одеська залізниця) ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОБОТИ ПРИКОРДОННИХ ПУНКТИВ ПЕРЕХОДУ ОДЕСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ.....	206
И. А. ОРЛОВСКИЙ, А. Н. КУЛЕШОВ (Запорожский НТУ) УЧЁТ УПРУГИХ СВЯЗЕЙ И РАСПРЕДЕЛЁННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ВЕКТОРНОМ УПРАВЛЕНИИ АСИНХРОННЫМ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА.....	209
В. Р. РАСПОПИН, А. В. ШАПОВАЛ, Л. Ю. СНИТКО (ГП «УкрНИИВ»), Г. С. ИГНАТОВ (ОАО «КВСЗ»), В. Т. ВИСЛОГУЗОВ (ДИИТ) ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ	214
С. В. ШМАКОВ, С. Д. РЕЧКАЛОВ (ГП «УкрНИИВ») ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	216

РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»

А. Г. КИСЛОВ, С. А. БУГАЕВСКИЙ, С. А. ЧУГУЕНКО (ХНАДУ) СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ ДЛЯ РЕМОНТА И СОДЕРЖАНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	221
А. Н. ПШИНЬКО, А. В. КРАСНЮК (ДИИТ), Л. С. САВИН (ПГАСА), В. В. ПАЛИЙ (Укрзалізниця) АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С БЕТОНОМ	224
Ю. Л. САВИН, А. П. ПРИХОДЬКО, Л. С. САВИН (ПГАСА), Н. Н. СКРИПЧЕНКО (ДРИГУ НАГУ) АСПЕКТЫ УСТОЙЧИВОГО ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА.....	227
Б. В. САВЧИНСКИЙ (ДИИТ) КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЁТНЫХ СТРОЕНИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ.....	229
Б. Д. СУХОРУКОВ (ДИИТ) ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЁТНЫЙ МЕТОД «УСЛОВНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ» И ЕГО ТОЧНОСТЬ	232
А. Ф. ТАТАРИНОВ (ДИИТ) НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ДВУХШАРНИРНОЙ СТАЛЕБЕТОННОЙ АРКЕ ПРИ СИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ.....	234

РОЗДІЛ «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

І. О. ВАКУЛЕНКО, М. А. ГРИЩЕНКО (ДІТ), О. М. ПЕРКОВ (ІЧМ НАНУ) ВПЛИВ ДИСПЕРСНОСТІ СТРУКТУРНИХ СКЛАДОВИХ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ НА ОПІР РУЙНУВАННЮ	237
І. О. ВАКУЛЕНКО, М. А. ГРИЩЕНКО (ДІТ), О. М. ПЕРКОВ (ІЧМ НАНУ) ЗАЛЕЖНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ВИНИКНЕННЯ СМУГ ДЕФОРМАЦІЇ ВІД СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ ПІСЛЯ ВІДПАЛУ	240
И. А. ВАКУЛЕНКО, Н. А. ГРИЩЕНКО (ДИИТ), О. Н. ПЕРКОВ (ИЧМ НАНУ) О ПРИЧИНАХ ЗАРОЖДЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН НА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ БАНДАЖЕЙ	242

ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»

С. В. ВАСИЛЮК (Дорожні механічні майстерні Одеської залізниці) АНАЛІЗ РОЗВИТКУ СОЦІАЛЬНОГО ПАРТНЕРСТВА В УКРАЇНІ.....	245
В. А. ГЕРЦИК (СНУ ім. В. ДАЛЯ) ПРОБЛЕМИ МАРКЕТИНГОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗБУТУ НА ПІДПРИЄМСТВІ.....	247
О. Н. ГНЕННЫЙ (ДИИТ) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ИЗНОСА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	252
В. О. ГОРДІЄНКО (Дніпропетровська державна фінансова академія) ВИБІР МЕТОДУ РОЗПОДІЛУ КОЛЕКТИВНОГО ЗАРОБІТКУ МІЖ ЧЛЕНАМИ БРИГАДИ НА МЕТАЛУРГІЙНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ.....	257
А. А. КОВТУН , Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта» (Республика Беларусь) АНАЛИЗ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧРЕЖДЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ.....	260
М. Б. КУРГАН, І. П. КОРЖЕНЕВИЧ, Ю. С. БАРАШ, Н. І. ВЕРХОГЛЯДОВА (ДІТ) АНАЛІЗ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ З ПОЗИЦІЇ ВПЛИВУ ІНТЕНСИВНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗНОС ІНФРАСТРУКТУРИ	265
Г. И. МУЗЫКИНА, П. В. БЕХ, Т. В. БОЛВАНОВСКАЯ (ДИИТ) МАРКЕТИНГОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК	274
В. І. РОМАНКО (ДІТ), І. В. МАЛИШКО (Укрзалізниця) ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРАЦІ В ГОСПОДАРСТВІ ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ	276
Т. Р. СОЛОПЕНКО (КНАУ) МЕТОДИЧНІ ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБГРУНТУВАННЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ МІЖНАРОДНОГО МАРКЕТИНГОВОГО МЕНЕДЖМЕНТУ АВІАЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА	278
Н. М. ЧИГАСОВА (КНАУ) УПРАВЛІННЯ АЕРОПОРТАМИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ.....	282

ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОСЕРЕДКОВАНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСОВИХ І ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЙНОГО ОБ'ЄКТА НА ІМІТАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ

На основі розробленої імітаційної моделі та проведеного моделювання показано, що опосередковані методи дозволяють одержати достатню для практичного використання точність вимірювання системних характеристик ліній автоматики та зв'язку.

На основе разработанной имитационной модели и проведенного моделирования показано, что опосредствованные методы позволяют получить достаточную для практического использования точность измерения системных характеристик линий автоматики и связи.

On the basis of the developed imitating model and the carried out modeling it is shown, that using developed method allow to receive sufficient for practical use accuracy of system characteristics measurements of automatics and communication lines.

Вступ

Безпечна й ефективна робота залізничного транспорту багато в чому залежить від достовірності й своєчасності передачі інформації, що на фізичному рівні визначається якістю ліній передачі. Для виявлення відхилень параметрів ліній залізничної автоматики й зв'язку від нормативних, їх піддають періодичному огляду й контролю основних параметрів [1,2]. Спотворення при передачі гармонійних сигналів у провідних лініях автоматики й зв'язку характеризують такими параметрами як власне або робоче загасання, відносні фазові зрушення, власні (характеристичні) і робочі фазові коефіцієнти, абсолютний і відносний груповий час проходження. Умови передачі багаточастотних сигналів оцінюють амплітудно-частотною й фазо-частотною характеристиками [2].

Недоліком існуючих пристроїв контролю параметрів ліній залізничної автоматики й зв'язку є недостатня кількість вимірюваних параметрів в автоматичному режимі, можливість проведення вимірів тільки у вільних лініях (тобто в технологічні вікна), що ускладнює своєчасне виявлення деградації параметрів ліній зв'язку нижче допустимого рівня.

Розглянуті недоліки можна усунути при застосуванні для контролю параметрів ліній шумоподібного сигналу. Метод дозволяє проводити контроль і діагностування ліній безупинно в процесі їхньої роботи з виміром амплітудно-частотної й фазо-частотної характеристик.

Мета роботи

Метою проведених досліджень є розробка методу автоматичного контролю й діагносту-

вання ліній зв'язку й автоматики із застосуванням шумоподібного сигналу.

Для досягнення поставленої мети в роботі проведено порівняльне дослідження опосередкованих методів вимірювання часових і частотних характеристик лінійного об'єкта на імітаційній моделі.

Імітаційна модель

З теорії сигналів відома можливість вимірювання системних характеристик лінійного об'єкта широкосмуговими сигналами опосередкованими методами. Серед опосередкованих методів вимірювання зазначеними сигналами відомі кореляційний метод, спектральний метод і спектрально-статистичний [3].

Поняття про кореляційну функцію. В інформаційно-вимірювальних системах доводиться порівнювати сигнали з метою виявити залежність або подібність їх між собою. Кількісну оцінку залежності двох сигналів $u(t)$ і $v(t)$ дає взаємна кореляційна функція (ВКФ)

$$R_{uv}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-0,5T}^{+0,5T} u(t) \cdot v(t - \tau) dt. \quad (1)$$

Ступінь кореляції розділених проміжком часу τ значень одного й того ж сигналу $u(t)$ визначає автокореляційна функція (АКФ), яку в подальшому будемо скорочено називати кореляційною:

$$R_{uu}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-0,5T}^{+0,5T} u(t) \cdot u(t - \tau) dt. \quad (2)$$

Існують прилади, за допомогою яких можна

або остаточно

$$p(\tau) = \frac{1}{\sigma_x^2} \cdot R_{xy}(\tau). \quad (5)$$

Перехідну характеристику $h(t)$ системи одержують інтегруванням імпульсної характеристики

$$h(t) = \int_0^t p(\tau) d\tau. \quad (6)$$

Імпульсну характеристику можна також використати для обчислення частотних характеристик системи з частотної передатної функції, яку одержують з імпульсної характеристики прямим дискретним перетворенням Фур'є:

$$\dot{W}(f_k) = T \sum_{n=0}^{N-1} p(nT) \cdot \exp(-j2\pi kn/N), \quad (7)$$

де T – інтервал дискретизації;
 nT – час спостереження.

З (7) одержуємо амплітудно-частотну (АЧХ) і фазово-частотну (ФЧХ) характеристики системи:

$$A(f_k) = |\dot{W}(f_k)|, \quad \varphi(f_k) = \arg \dot{W}(f_k). \quad (8)$$

Розглянутий розрахунковий алгоритм кореляційного методу відображений у структурній схемі системи вимірювання на рис. 2. Для дослідження точності вимірювання схема доповнена блоком обчислення еталонних характеристик об'єкта і блоком порівняння виміряних характеристик з еталонними.

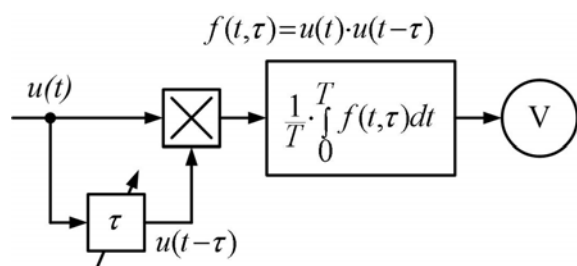


Рис. 1. Схема вимірювача кореляції

Суть кореляційного методу в тому, що вимірювана взаємно-кореляційна функція (ВКФ) $R_{xy}(\tau)$ об'єкта дає оцінку $\hat{p}(t)$ імпульсної характеристики $p(t)$ вимірювального об'єкта при умові, що автокореляційна функція (АКФ) $R_{xx}(\tau)$ вимірювального сигналу $x(t)$ може бути описана δ -функцією $\delta(t)$, тобто

$$\begin{aligned} R_{xy}(\tau) &= \int_0^{\infty} y(t)x(t-\tau)d\tau = \\ &= \int_0^{\infty} R_{xx}(\tau-\theta)p(\theta)d\theta. \end{aligned} \quad (3)$$

З виразу (3), відомого в кібернетиці як формула Вінера-Хопфа, при $R_{xx}(\tau - \theta) = \sigma_x^2 \delta(\tau - \theta)$ одержуємо

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^\infty \sigma_x^2 \delta(t - \tau) p(\theta) d\theta = \sigma_x^2 p(\tau) \quad (4)$$

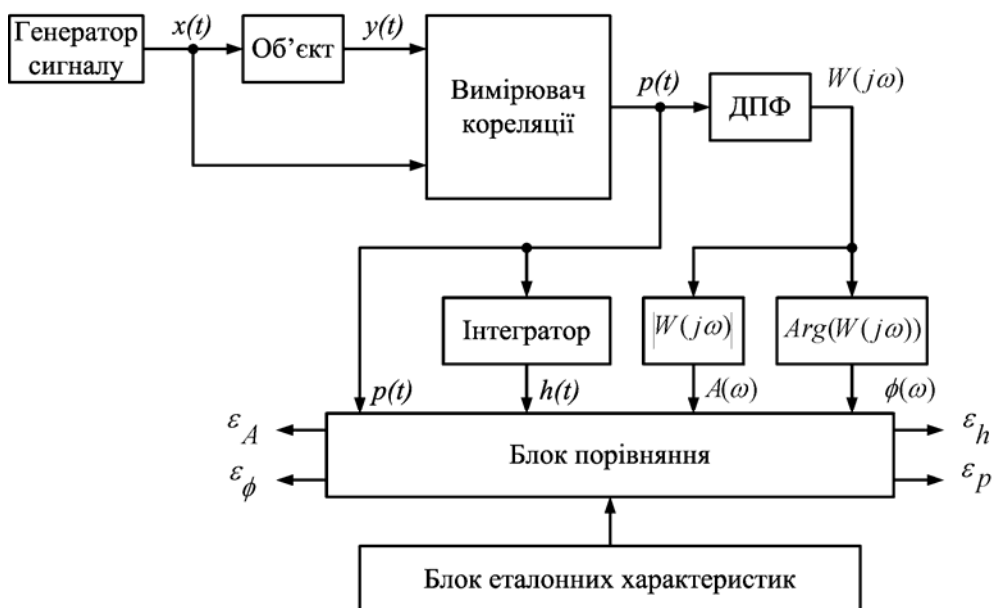


Рис. 2. Структурна схема імітаційної моделі вимірювальної системи

Спектральний метод вимірювання системних характеристик оснований на визначенні частотної передатної функції об'єкта безпосередньо із спектрів вхідного і вихідного сигналів. Згідно з означенням частотна передатна функція (ЧПФ)

$$W(j\omega) = \frac{S_y(j\omega)}{S_x(j\omega)}, \quad (9)$$

де $S_x(j\omega)$, $S_y(j\omega)$ – спектри відповідно вхідного і вихідного сигналів об'єкта. З ЧПФ одержують АЧХ і ФЧХ згідно з (8), а імпульсну характеристику об'єкта визначають зворотним перетворенням Фур'є частотної передатної функції, яке виглядає так:

$$p(nT) = \sum_{k=0}^{N-1} \dot{W}(k\Omega) \exp(j2\pi nk/N). \quad (10)$$

Перехідну характеристику знаходять інтегруванням імпульсної характеристики в (6).

Спектрально-статистичний метод вимірювання витікає безпосередньо з формули (3). Дійсно, перетворення Фур'є виразу (3), який являє собою інтеграл згортки, дає добуток зображень підінтегральних функцій:

$$\dot{G}_{xy}(\omega) = G_{xx}(\omega) \cdot \dot{W}(\omega), \quad (11)$$

де $\dot{G}_{xy}(\omega)$, $G_{xx}(\omega)$ – відповідно взаємний спектр сигналів і енергетичний спектр вхідного сигналу. З виразу (11) одержуємо формулу для роз-

рахунку частотної передатної функції у вигляді

$$\dot{W}(\omega) = G_{xy}(\omega) / G_{xx}(\omega), \quad (12)$$

звідки усі інші частотні і часові характеристики одержують так, як і в спектральному методі.

Узагальнену структуру вимірювальної системи незалежно від методу вимірювання можна представити у вигляді пристрою вимірювання сигналів (куди входять генератор сигналу, об'єкт, аналогово-цифрові перетворювачі і перемикач) та пристрій обробки даних. Для обробки цифрових даних, одержаних від пристрою вимірювання сигналів, на першому етапі зручно скористатись персональною ЕОМ (рис. 3).



Рис. 3. Структурна схема системи вимірювання

Для порівняльного дослідження розглянутих методів створена імітаційна програмна модель вимірювальної системи. Вікно програми, показане на рис. 4. Програма дозволяє вибрати метод вимірювання, вид вимірювального сигналу, характеристику об'єкта і отримати як результат похибку вимірювання вибраної характеристики заданим методом і заданим сигналом. Робота програми ілюструється графіками сигналу на вході і виході об'єкта, графіками виміряної і еталонної характеристик, а також таблицями цих характеристик.

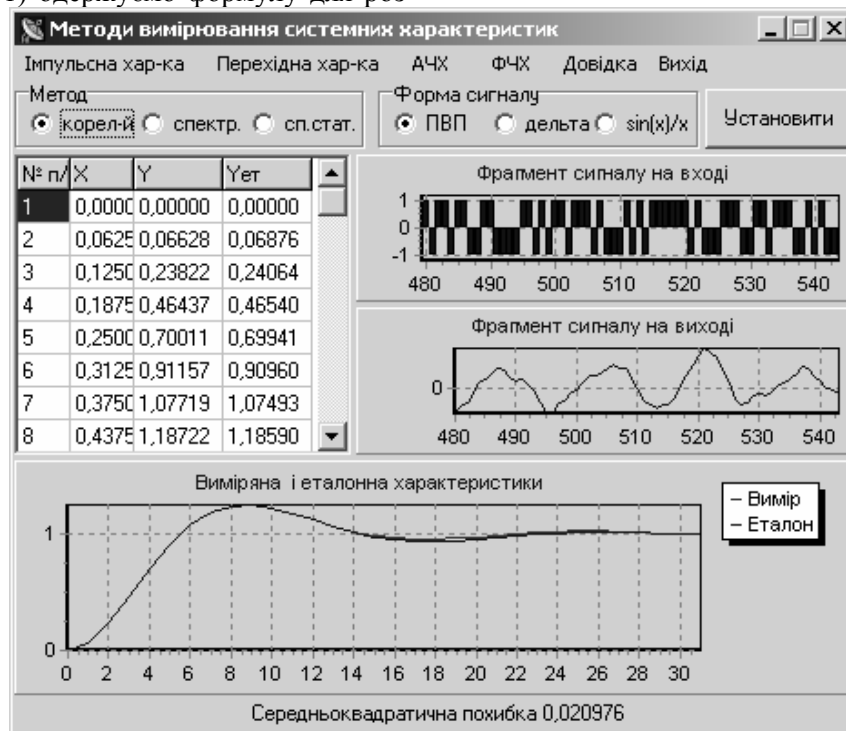


Рис. 4. Вікно програми для дослідження методів вимірювання

В якості об'єкта вимірювання взята коливальна ланка з передатною функцією

$$W(s) = \frac{k_1}{T_1^2 s^2 + 2\xi T_1 s + 1}, \quad 0 < \xi < 1 \quad (13)$$

де k_1 – коефіцієнт підсилення, T_1 – постійна часу, ξ – коефіцієнт демпфірування.

Розрахункові (еталонні) характеристики об'єкта визначаються такими формулами:

– імпульсна характеристика

$$p(t) = \frac{k_1}{T_1 \sqrt{1-\xi^2}} \exp(-k_1 t / T_1) \sin \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T_1} t, \quad t \geq 0 \quad (14)$$

– перехідна характеристика

$$h(t) = k_1 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} \exp(-k_1 t / T_1) \times \sin \left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T_1} t + \varphi_1 \right) \right], \quad (15)$$

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

– амплітудно-частотна характеристика

$$A(\omega) = k_1 / \sqrt{(1-T_1^2 \omega^2)^2 + 4\xi^2 T_1^2 \omega^2}, \quad (16)$$

– фазово-частотна характеристика

$$\varphi(\omega) = -\arctg \left[2\xi T_1 \omega / (1-T_1^2 \omega^2) \right]. \quad (17)$$

Цифрова модель об'єкта вимірювання, знайдена методом інваріантної імпульсної характеристики, представлена різницевою рівнянням у такому вигляді [4, 5]:

$$y_n = a_1 x_{n-1} + b_1 y_{n-1} + b_2 y_{n-2}, \quad (18)$$

де $a_1 = k_p \exp(-\alpha T) \sin \omega_p T$,

$$b_1 = 2 \exp(-\alpha T) \cos \omega_p T, \quad b_2 = -\exp(-2\alpha T),$$

$$\omega_p = \sqrt{1-\xi^2} / T_1, \quad k_p = k_1 / \omega_p T_1^2, \quad \alpha = \xi / T_1,$$

T – інтервал дискретизації.

В імітаційному експерименті прийняті такі значення параметрів: коефіцієнт підсилення $k_1 = 1$, постійна часу $T_1 = 1/2\pi$ с., коефіцієнт демпфірування $\xi = 0,4$. При цьому частота спряження $F_1 = 1$ Гц. Гранична частота ланки прийнята рівною $F_{гп} = 4F_1 = 4$ Гц, а частота дискретизації $F = 4F_{гп} = 16$. Перша гармоніка сигналу $dF = F/L$. Швидкість передачі $B = 1/T$ Бод, де T – інтервал дискретизації. При цьому швидкість передачі B чисельно рівна частоті дискретизації F .

Таблиця 1

Результати вимірювання середньоквадратичної похибки, %

Метод	Сигнал	Імпульсна хар-ка	Перехідна хар-ка	АЧХ	ФЧХ
Кореляційний	ПВП	4,17	2,10	4,45	6,55
	Дельта	0,00	0,17	1,42	2,39
	$\sin(x)/x$	0,08	0,17	1,41	2,29
Спектральний	ПВП	5,48	7,76	8,31	7,27
	Дельта	0,000	0,12	2,13	1,18
	$\sin(x)/x$	0,003	0,12	2,12	1,18
Спектрально-статист.	ПВП	5,54	7,34	8,62	6,82
	Дельта	0,03	1,64	1,50	0,9
	$\sin(x)/x$	0,003	1,62	0,92	1,18

В якості вимірювального сигналу використана регістрова псевдовипадкова М-послідовність (ПВП) двополярних коротких імпульсів [6]. Довжина ПВП складає $L = 512T$. На етапі розробки програми і її тестування було виявлено, що для прийнятої точності вимірювання детермінованим сигналом, форма останнього повинна наближатись до дельта-імпульсу. Тому в імітаційний експеримент включені тільки два види детермінованих сигналів: дельта-імпульс з довжиною $1T$ і сигнал виду $\sin(x)/x$ з мініма-

льною тривалістю. Мінімальний дискретний варіант цієї функції має вигляд

$$y(nT) = \begin{cases} \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} nT\right)}{\frac{\pi}{2} nT}, & n \neq 0 \\ 0, & n = 0 \end{cases}. \quad (19)$$

В цьому випадку кожний півперіод синусоїди відповідає одному інтервалу дискретизації

T і довжина головного пелюстка імпульсу $\sin(x)/x$ складає всього $2T$.

Вимірюються імпульсна, перехідна, амплітудно-частотна і фазово-частотна характеристики. Виміряні характеристики порівнюються з точними аналітично визначеними характеристиками. Розбіжність між ними оцінюється середньоквадратичним відхиленням.

Результати моделювання

Результати вимірювання середньоквадратичної похибки для трьох методів вимірювання часових і частотних характеристик трьома видами широкосмугових сигналів приведені в табл. 1 і проілюстровані діаграмами на рис. 5 та рис. 6.

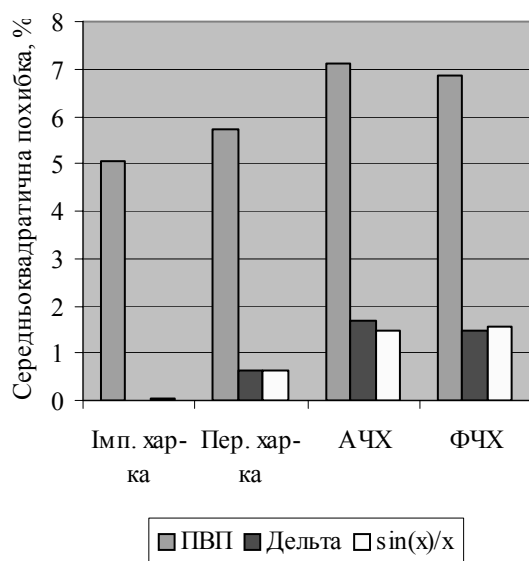


Рис. 5. Діаграми результатів вимірювання середньоквадратичної похибки відносно видів сигналу

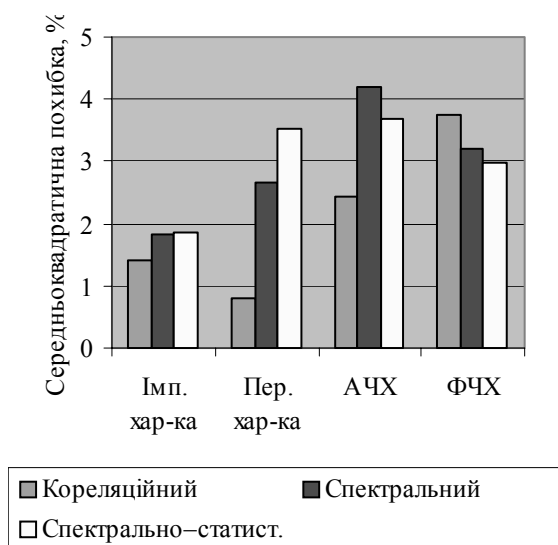


Рис. 6. Діаграми результатів вимірювання середньоквадратичної похибки відносно методів вимірювань

З результатів моделювання видно, що точність вимірювання шумоподібним сигналом поступається точності вимірювання сигналами $\delta(x)$ і $\sin(x)/x$ для всіх методів вимірювання (рис. 5). Розбіжність між значеннями середньоквадратичної похибки при вимірюванні сигналами виду ПВП та сигналом з найбільшою похибкою серед $\delta(x)$ і $\sin(x)/x$ імпульсної характеристики складає 5,03 %, перехідної характеристики 5,1 %, АЧХ 5,4 %, ФЧХ 5,3 %.

Точність вимірювання дельта-подібним сигналом і сигналом $\sin(x)/x$ практично однакова для всіх методів вимірювання (різниця значень похибок не перевищує 0,02 %).

Точність спектрального та спектрально-статистичного методів можна прийняти приблизно рівною, оскільки при вимірюванні кожної з характеристик (ІХ, ПХ, АЧХ, ФЧХ) різниця між значеннями їх похибок менша за різницю кожного з цих методів та кореляційного методу. У табл. 2 наведені різниці між похибками при вимірюванні окремо спектральним та спектрально-статистичним методами (перший рядок табл. 2) та між похибками кореляційного методу та найближчої до значення його похибки відповідно похибки обраної з спектрального та спектрально-статистичного методів (другий рядок табл. 2) за абсолютною величиною у відсотках.

Таблиця 2

Різниці між похибками при вимірюванні різними методами, %

Різниця між похибками методів	ІХ	ПХ	АЧХ	ФЧХ
Спектр. та спектр.-стат.	0,03	0,87	0,51	0,24
Корел. та найближча з похибок спектр. та спектр.-стат.	0,41	1,86	1,25	0,53

Слід зауважити, що значення середньоквадратичної похибки кореляційного методу вимірювання менше за відповідні значення спектрального та спектрально-статистичного методів лише при вимірюванні ІХ, ПХ та АЧХ. Як показано на рис. 6, при вимірюванні ФЧХ найменшу похибку дає спектрально-статистичний метод вимірювання.

Висновки

На основі розробленої імітаційної моделі та проведеного моделювання показано, що опосередковані методи дозволяють одержати високу точність вимірювання системних характеристик. Це виправдовує розробку експерименталь-

ного макету системи вимірювання для дослідження точності вимірювання в натурному експерименті. При виборі сигналів слід надати перевагу дельта-подібному вимірювальному сигналу, оскільки його практична реалізація значно простіша від реалізації сигналу $\sin(x)/x$. З подібних міркувань при виборі методу вимірювання перевагу слід надати кореляційному методу. Заради досягнення найбільш можливої точності вимірювань за допомогою наведених методів можна рекомендувати виміри ІХ, ПХ та АЧХ здійснювати кореляційним методом, а ФЧХ – спектрально-статистичним. Такі висновки можна сприймати як рекомендації відносно реалізації реальної системи вимірювання.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) (ЦШЕОТ 0012). – К., 1998.
2. Дмитренко И. Е. Измерения и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Учеб. для вузов ж.-д. трансп. / И. Е. Дмитренко, В. В. Сапожников, Д. В. Дьяков. – М.: Транспорт, 1994. – 263 с.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1985. – 540 с.
4. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002.- 608 с.
5. Безруков В. В. Порівняльний аналіз базових методів цифрового моделювання аналогових систем / В. В. Безруков, К. В. Гончаров, Д. Ф. Івахненко // Вісник ДПТУ ім. В. Лазаряна. Вип. 12. 2006.
6. Варакин Л. У. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М., Радио и связь, 1985. – 384 с.

Надійшла до редакції 15.09.2007.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЯКОРЯ ПО ЗНАЧЕНИЮ ИНДУКТИВНОСТИ ОБМОТКИ РЕЛЕ

В даній статті запропоновано метод визначення положення якоря реле за значенням індуктивності обмотки реле. Метод ґрунтується на тому, що при переміщенні якоря під час вмикання реле зменшується робочий повітряний зазор, що приводить до збільшення значення індуктивності обмотки, яке практично не залежить від струму й визначається величиною повітряного зазору між якорем і сердечником. Даний метод дозволяє автоматизувати вимірювання механічних параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики без зняття кожуха відповідно до експлуатаційно-технічних вимог.

В данной статье предложен метод определения положения якоря реле по значению индуктивности обмотки реле. Метод основан на том, что при движении якоря во время включения реле уменьшается рабочий воздушный зазор, что приводит к увеличению значения индуктивности обмотки, которое практически не зависит от тока и определяется величиной воздушного зазора между якорем и сердечником. Данный метод позволяет автоматизировать измерения механических параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики без снятия кожуха в соответствии с эксплуатационно-техническими требованиями.

The method of definition of a relay anchor situation on inductance of a winding of the relay is offered in the given paper. The method is based, that the working air backlash decrees at the switching on a relay. It follows to the increase of winding inductance, which does not depend on a current practically and it determined by size of an air backlash between an anchor and core. It allows us to automation measurements of mechanical parameters of electromagnetic relays of railway automatics without removal of casing in the accordance with the operating-technical requirements.

Введение и постановка задачи

В настоящее время на железнодорожном транспорте Украины в основном эксплуатируются релейные системы автоматики, основной элементной базой которых являются электромагнитные реле первого класса надежности типа НМШ или РЭЛ. С помощью данных реле обеспечивается безопасность движения поездов и надежность функционирования устройств железнодорожной автоматики, поэтому к их параметрам предъявляются жесткие требования.

Все основные работы по ремонту, регулировке и проверке параметров реле производятся в соответствии с «Инструкцией по техническому обслуживанию устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ)» на ремонтно-технологических участках (РТУ) СЦБ [1]. При проверке реле железнодорожной автоматики измерению подлежат электрические, временные и механические параметры. Наиболее сложным процессом является измерение механических параметров реле: совместного хода контактов, межконтактного зазора в крайних положениях якоря и при перелете контактов, высоты антимангнитного штифта, контактного давления, одновременно замыкания контактов.

Существующая технология проверки механических параметров реле железнодорожной

автоматики отличается низкой точностью и высокой субъективностью, из-за большого количества ручных операций, которые осуществляются различного рода приспособлениями, шаблонами, графмометрами, щупами и т.п. Кроме того, часть механических параметров (неодновременность замыкания контактов и совместный ход контактов), вообще не измеряются, так как в РТУ отсутствуют для этого измерительные средства. Для контроля данных параметров используется довольно субъективный метод визуальной оценки, который не позволяет измерить реальное значение параметра, а только фиксирует, соответствие нормативному значению.

Статистические исследования, проведенные на кафедре «Автоматики, телемеханики и связи» ДИИТа, показали, что при существующей технологии проверки реле железнодорожной автоматики, до 10% из них эксплуатируются с параметрами, которые не соответствуют нормативным значениям [2]. Это связано с тем, что существующая технология проверки параметров реле железнодорожной автоматики отличается невысокой точностью из-за большого количества ручных операций, а также требует значительных затрат времени. Повысить качество проверки реле можно путем разработки и внедрения методов автоматизированного изме-

рения параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики.

Для автоматизированного измерения механических параметров реле необходимо знать положение якоря в любой момент времени. Попытки решения данной задачи осуществлялись и ранее. В работе [3] авторы предлагали способ измерения величины воздушного зазора между якорем и сердечником реле, с помощью токовихревого датчика. Недостатком данного способа является то, что применение внешнего датчика, позволяло создать только полуавтоматический стенд, так как датчик требовал индивидуальной калибровки и настройки для каждого измеряемого реле. К тому же вся обработка информации проводилась в аналоговой форме, что значительно снижало точность получаемых результатов и увеличивало стоимость такого устройства. В работе [4] автор предлагает измерительное устройство, в котором для определения положения якоря используется датчик Холла. Датчик размещается на неподвижном сердечнике и при перемещении якоря с него снимается напряжение, пропорциональное координате якоря электромагнитного реле. К недостаткам данного метода можно отнести необходимость снятия кожуха реле для крепления датчика Холла, а также то, что не у всех типов реле есть место на сердечнике для размещения датчика, а крепление датчика на якоре приводит к изменению параметров самого измеряемого реле.

Целью работы является разработка метода определения положения якоря реле по значению индуктивности обмотки реле для автоматизированного измерения механических параметров реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ. Данный метод реализован программно на языке C++ и используется совместно с автоматизированным измерительным комплексом для проверки параметров реле железнодорожной автоматики, который был разработан на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Описание метода

При движении якоря во время включения реле уменьшается рабочий воздушный зазор, что приводит к увеличению значения индуктивности обмотки. Экспериментальные исследования реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ показали, что на участке движения якоря, индуктивность обмотки реле

практически не зависит от тока и определяется величиной воздушного зазора между якорем и сердечником. На рис. 1 представлена зависимость индуктивности от тока в обмотке на участке движения якоря для реле типа РЭЛ1-1600. Из данной зависимости видно, что при фиксированном положении якоря и изменении тока в обмотке реле от 5 до 11 мА (диапазон изменения тока при движении якоря реле), индуктивность обмотки реле изменяется не более чем на 5...10 %. Наибольшее влияние значения тока на изменение индуктивности наблюдается при минимальном зазоре между якорем и сердечником, так как в этом случае магнитная цепь реле начинает входить в режим насыщения. В нормальнодействующих электромагнитных реле первого класса надежности типов НМШ и РЭЛ индуктивность увеличивается при включении в 1,5...2 раза, что позволяет использовать данное явление для определения величины рабочего воздушного зазора.

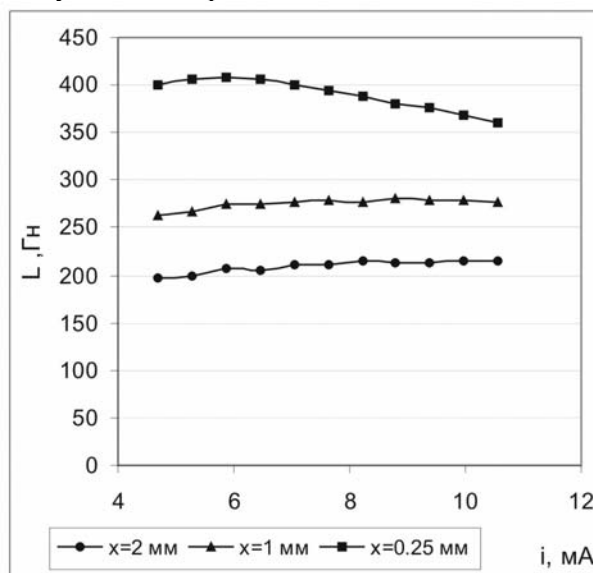


Рис. 1. Зависимость индуктивности от тока в обмотке реле типа РЭЛ1-1600 на участке движения якоря реле для разных координат якоря

Исходными данными для данного метода являются:

- зависимость тока в обмотке от времени $i(t)$ при включении реле;
- параметры электрической и магнитной цепей реле.

На рис. 4 представлена зависимость $i(t)$ для реле РЭЛ1-1600 с наложением моментов переключения контактов, а также моментов начала движения и остановки якоря, где t_1 – момент начала движения якоря, t_2 – момент размыкания тыловых контактов, t_3 – момент замыкания фронтальных контактов, t_4 – момент остановки якоря.

Таким образом, переходную зависимость

$i(t)$ можно разбить на три участка:

- 1 участок $(0...t_1)$ – нарастание тока в обмотке реле от момента подачи напряжения на обмотку реле до момента начала движения якоря;

- 2 участок $(t_1...t_4)$ – изменения тока в обмотке реле во время движения якоря;

- 3 участок – нарастание тока в обмотке реле от момента останова якоря до момента достижения током установившегося значения.

На первом и третьем участках якорь неподвижен и изменения тока в обмотке реле $i(t)$ описывается следующими выражениями

$$U = i(t)R + \frac{d\Psi}{dt}; \quad (1)$$

$$i(t) = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L_1}t} \right), \quad (2)$$

где R – сопротивление обмотки реле, L_1 – индуктивность обмотки реле до момента начала движения якоря, U – напряжение источника питания, Ψ – потокосцепление обмотки реле.

Согласно выражениям (1) и (2) индуктивность обмотки реле на этих участках будет равна:

$$L(t) = \frac{-Rt}{\ln \left(\frac{i(t) - i_{уст}}{i_{нач} - i_{уст}} \right)}, \quad (3)$$

где $i_{уст}$ – установившееся значение тока в обмотке реле, $t_{нач}$ – начальный ток. Для первого участка начальный ток равен нулю, а для третьего участка начальный ток равен значению тока в момент останова якоря.

На втором участке за счет движения якоря, индуктивность является переменной величиной и выражение (1) приобретает следующий вид:

$$U = i(t)R + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt}. \quad (4)$$

Для решения уравнения (4) численными методами, необходимо разбить второй участок зависимости $i(t)$ на n интервалов, так чтобы на интервале $[t_{нач}, t]$ производная $di/dt = \text{const}$. Тогда уравнение (4) превратится в линейное неоднородное дифференциальное уравнение первого порядка с постоянными коэффициентами:

$$i \frac{dL}{dt} + IL = A, \quad (5)$$

где $I = \frac{di}{dt} = \text{const}$, $A = U - iR$.

Общее решение неоднородного уравнения (5) будет иметь вид:

$$L = L_1 + L_2, \quad (6)$$

где L_1 – решение соответствующего однородного уравнения (при $A = 0$), L_2 – частное решение дифференциального уравнения (при $dL/dt = 0$ в начальный момент времени, так как до начала движения якоря индуктивность обмотки реле является константой). Таким образом, индуктивность обмотки реле на интервале $[t_{нач}, t]$ во время движения якоря будет определяться следующим выражением:

$$L = c_1 e^{-\frac{I}{L}t} + \frac{A}{I}, \quad (7)$$

где c_1 – постоянная интегрирования, которая будет равна:

$$c_1 = \frac{e^{-\frac{I}{L}t_{нач}}}{L_{нач} - \frac{A}{I}}, \quad (8)$$

где $L_{нач}$ – индуктивность обмотки реле в момент времени $t_{нач}$. Для первого интервала зависимости $i(t)$ $L_{нач}$ – это индуктивность обмотки реле до начала движения якоря, $t_{нач}$ – момент начала движения якоря.

В отличие от второго участка на первом и третьем участках индуктивность является константой, что используется для определения моментов начала движения и останова якоря. Экспериментальные исследования различных типов реле железнодорожной автоматики показали, что до момента начала движения якоря, ток в обмотке изменяется по экспоненциальному закону, независимо от значения напряжения питания. С началом движения якоря, начинает изменяться индуктивность обмотки реле, что приводит к отклонению зависимости $i(t)$ от экспоненты. Для определения момента начала движения якоря вычисляется начальная индуктивность реле по значению тока $i(t)$ в обмотке при $t = 20$ мс (время трогания реле НМШ и РЭЛ составляет 50...70 мс). Затем вычисляется следующее значение тока в обмотке реле и сравнивается с измеренным. Если данная выборка сигнала $i(t)$ выходит за пределы заданной погрешности (0,1 %), то время t запоминается как момент начала движения якоря. После

этого вычисляется значения тока еще для десяти выборок, и если погрешность не вернулась в заданный интервал, а продолжает расти, следовательно, момент начала движения якоря определен верно.

Момент остановки якоря соответствует наименьшему значению тока в обмотке реле при движении якоря, после чего ток возрастает по экспоненциальному закону до своего установившегося значения.

Индуктивность обмотки реле при движении якоря может быть описана следующим приближенным выражением [5]:

$$L(x) = K_0 w^2, \quad (9)$$

где w – число витков обмотки реле, K_0 – приведенная магнитная проводимость магнитной цепи реле, определяемая выражением

$$K_0 = \frac{3 + g l_c R_\delta}{3(R_{ж} l_c + q R_\delta)}, \quad (10)$$

где l_c – длина сердечника, $R_{ж}$ – сумма магнитных сопротивлений единицы длины (1 м) магнитопровода (сердечника и ярма), R_δ – магнитное сопротивление рабочего воздушного зазора, зависящее от положения якоря, g – магнитная проводимость потока рассеяния между сердечником и корпусом на единицу длины (1 м) магнитной цепи, q – коэффициент, который определяется путем расчета магнитной цепи реле по следующей формуле

$$q = \frac{l_c \sqrt{g R_{ж}}}{\text{th} l_c \sqrt{g R_{ж}}}. \quad (11)$$

Таким образом, зависимость положения якоря от времени $x(t)$ получается из сопоставления двух функций $L(t)$ и $L(x)$. Вычисление зависимости индуктивности обмотки от величины воздушного зазора $L(x)$ по формуле (9) требует громоздкого и длительного расчета магнитной цепи реле. Поскольку зависимость $L(x)$ определяется конструкцией реле, то для типовых реле железнодорожной автоматики НМШ и РЭЛ гораздо удобнее пользоваться аппроксимирующей функцией $L(x)$, полученной по экспериментальным значениям (рис. 2).

На рис. 3 изображена зависимость $x(t)$, которая получена по данному методу для реле железнодорожной автоматики типа РЭЛ1-1600. Из данной зависимости можно определить моменты начала движения и остановки якоря, а

при сопоставлении с моментами размыкания и замыкания контактов можно вычислить такие механические параметры реле, как физический зазор между якорем и сердечником, совместный ход контактов, межконтактный зазор в момент перелета контактов и в крайних положениях якоря, высоту антимагнитного штифта, неодновременность замыкания контактов. Кроме того, зависимость $x(t)$ может использоваться в качестве исходных данных для определения контактного давления и электромагнитной силы притяжения якоря реле.

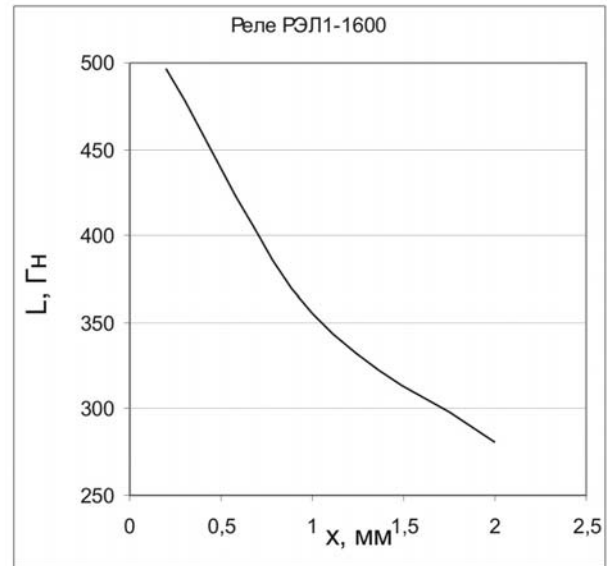


Рис. 2. Зависимость индуктивности обмотки от величины воздушного зазора для реле РЭЛ1-1600

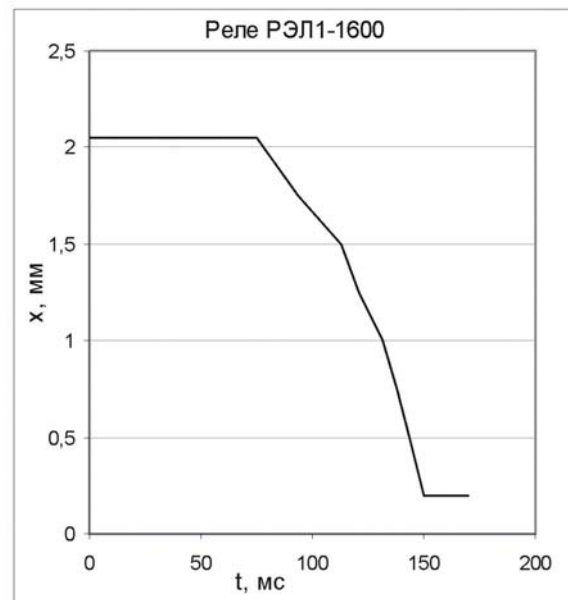


Рис. 3. Зависимость положения якоря реле от времени для РЭЛ1-1600

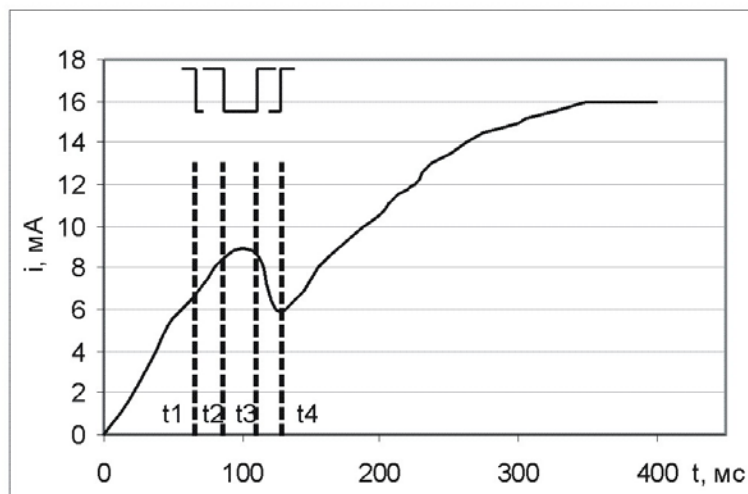


Рис. 4. Переходная зависимость $i(t)$ для реле типа РЭЛ1-1600 при включении реле

Выводы

Предлагаемый метод определения положения якоря по значению индуктивности обмотки реле позволяет решить задачу автоматизации измерения механических параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ без снятия кожуха в соответствии с эксплуатационно-техническими требованиями к реле первого класса надежности.

Лабораторные испытания автоматизированного измерительного комплекса для проверки параметров реле железнодорожной автоматики показали, что погрешность определения положения якоря с помощью данного метода не превышает 7 % для реле типа НМШ и 5 % для реле типа РЭЛ. Наибольшая погрешность наблюдается в начале движения якоря, что объясняется нелинейной зависимостью функции $L(x)$, когда изменение положения якоря не вызывает существенного изменения индуктивности обмотки реле.

Такая погрешность вычисления механических параметров реле позволяет использовать метод на практике вместо существующей технологии проверки реле.

К достоинствам данного метода измерения механических параметров реле можно также отнести увеличение точности и уменьшение субъективности получаемых результатов, а также уменьшение времени на измерение, за счет того, что отпадает необходимость проводить измерения для каждого контакта отдельно и снимать кожух реле.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ): ЦШЕОТ/0012: Затв. Гол. упр. зв'язку, енергетики та обчислювальної техніки М-ва транспорту України 05.10.1998. – К., 1998. – 72 с.
2. Стенд для проверки реле СЦБ. Разработка предложений по созданию стенда на базе КТС-ЛИУС-2. Отчет по НИР / ДИИТ. – № 353/3803. – Д., 1983. – 54 с.
3. Разгонов А. П. Полуавтоматический стенд для контроля и измерения параметров реле // Межвузовский сборник научных трудов. Днепропетр. ин. инж. трансп. – Д.: Транспорт. – 1985. – С. 11 – 20.
4. Устройство для снятия динамической электромагнитной характеристики электромагнитных элементов постоянного тока при срабатывании: А.С. 789970 СССР, МКИ G05 B23/02/Р. А. Агаронянц. – № 2671891/24-07; Заявлено 03.10.78. Опубл. 23.12.80, Бюл. № 47. – 4 с.
5. Витенберг М. В. Расчет электромагнитных реле. – М.: Энергия, 1975. – 416 с.

Поступила в редакцию 05.11.2007.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОДОВОЙ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ

Розроблена математична модель, яка дозволила дати наукове обґрунтування автоматизованому методу визначення параметрів рейкового кола по величині ЕРС, наведених в приймальних котушках локомотива, яка пропорційна струму в рейках. Для реалізації запропонованого методу визначення параметрів рейкового кола був розроблений апаратно-програмний комплекс, який встановлюється на базі вагона-лабораторії.

Разработана математическая модель, которая позволила дать научное обоснование автоматизированному методу определения параметров рельсовой цепи по величине ЭДС, наведенной в приемных катушках локомотива, которая пропорциональна току в рельсах. Для реализации предложенного метода определения параметров рельсовой цепи был разработан аппаратно-программный комплекс, который устанавливается на базе вагона-лаборатории.

The mathematic model, which is allowed us to give a scientific substantiation to the automated method of definition of parameters of a rail circuit on electro-motive force in locomotive coils proportional to a current in rails, was elaborated. The hardware-software complex was developed to realization of proposed method of definition of parameters of rail circuit. It is established on the base of car - laboratory.

Введение

Используемые в настоящее время методы определения параметров рельсовых цепей (РЦ) основаны на измерениях в интервалах между движущимися поездами. Первичные параметры определяют на основании измерений входного сопротивления рельсовой цепи, которое получают при оценке известных зависимостей между ее напряжениями и токами в начале и конце рельсовой цепи. Вторичные параметры определяют по найденным значениям первичных параметров рельсовой цепи. Такие измерения связаны с выходом на поле и влекут за собой значительные трудовые и временные затраты.

Перспективными являются методы, основанные на определении параметров рельсовой цепи с помощью измерительной аппаратуры установленной на базе вагона-лаборатории, поскольку не требуют выделения специального времени для проверки (окон) и отключения аппаратуры рельсовых цепей и контактной сети. Первичные и вторичные параметры линии определяются по значениям амплитуды и фазы тока локомотивной сигнализации в рельсовой цепи и сопротивлению, которое полагается известным. Значения тока в рельсах могут быть получены в результате измерений с помощью аппаратуры, установленной на базе вагона-лаборатории. Определение фазы сигнального тока вызывало определенные трудности, поэтому большинство из этих методов реализованы не были. К тому же нередко они давали погрешность до 100 %.

Следует отметить, что метрологические свойства этих методов исследованы недостаточно, а при их разработке не были учтены все факторы, влияющие на точность измерений, например погрешности измерений тока локомотивной сигнализации и ординаты рельсовой линии. Следовательно, существует необходимость в разработке метода и устройства для определения параметров тока локомотивной сигнализации и первичных и вторичных параметров рельсовой цепи на базе вагона-лаборатории.

Таким образом, целью работы является разработка метода определения первичных и вторичных параметров кодовых рельсовых цепей с помощью оборудования, установленного на базе вагона-лаборатории «Автоматика, телемеханика и связь».

Математическая модель

Для реализации поставленной задачи, которая заключается в автоматизированном определении параметров рельсовой цепи, необходимо проработать вопросы, которые включают в себя следующую последовательность операций (рис. 1). В начале измеряется ЭДС локомотивных катушек. По величине ЭДС определяются значения кодового тока в начале и конце рельсовой цепи. Далее по величине тока локомотивной сигнализации можно определить первичные и вторичные параметры рельсовой цепи.

Рассмотрим вопрос определения электродвижущей силы в приемной локомотивной катушке. В системе автоматической локомотив-

ной сигнализации (АЛС) существует непрерывная связь между путевыми и локомотивными устройствами. Приемные катушки АЛС связаны индуктивно с током в рельсах, посредством магнитного поля, которое образуется вокруг них. Таким образом, в пределах каждой рельсовой цепи имеется отдельный канал связи.



Рис. 1. Последовательность операций для определения параметров рельсовой цепи

Ток $I_{\text{АЛС}}$ в канале связи, образованном рельсами и колесной парой, протекает в противоположном направлении под каждой из приемных локомотивных катушек (ПК1, ПК2), которые включены между собой последовательно встречно. В результате суммарная наведенная в приемных катушках ЭДС равна

$$\dot{E} = \dot{E}_1 + \dot{E}_2, \quad (1)$$

где \dot{E}_1, \dot{E}_2 - ЭДС, наведенные в приемных катушках ПК1 и ПК2 соответственно.

Без учета эффекта запаздывания волны и включая во внимание то, что поперечное сечение сердечника имеет форму квадрата, действующее значение ЭДС в каждой из приемных катушек может быть определено по формуле

$$E = -\frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I_m}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{2} \cdot R} \cdot \omega \cdot S, \quad (2)$$

где μ - магнитная проницаемость среды (стали сердечника), Гн/м; μ_0 - магнитная постоянная, Гн/м; R - расстояние от излучающего проводника до точки в пространстве, м, I_m - амплитудное значение тока локомотивной сигнализации под приемной катушкой локомотива, А, ω - угловая частота, рад/с, S - площадь поперечного сечения сердечника, м².

Относительная погрешность между измеренными и рассчитанными данными в соответствии с полученной зависимостью между током локомотивной сигнализации и ЭДС (2) не превышает $\pm 3,5$ %. Полученная зависимость может быть использована при определении параметров рель-

совой цепи с помощью аппаратно-программного комплекса установленного на базе вагона-лаборатории [1], в котором датчиками информации являются локомотивные катушки.

Для определения параметров рельсовой цепи с помощью аппаратно-программного комплекса установленного на базе вагона-лаборатории воспользуемся схемой замещения канала АЛС, приведенной на рис. 1. На схеме показаны четырехполюсники питающего конца рельсовой цепи Н, который задан коэффициентами A_H, B_H, C_H, D_H , и рельсовой линии РЛ, сопротивление поездного шунта $R_{\text{ш}}$, приемные катушки подвижного состава ПК1 и ПК2, которые позволяют передавать информацию из рельсовой линии в аппаратно-измерительный комплекс (АИК) для контроля параметров тока локомотивной сигнализации и определения первичных и вторичных параметров рельсовой цепи. Четырехполюсник РЛ имеет переменное сопротивление, поскольку при движении подвижного состава от релейного к питающему концу рельсовой цепи сопротивление рельсовых нитей $Z_p = R_p \cdot l + j \cdot X_p \cdot l$, где R_p и X_p - удельное активное и индуктивное сопротивление рельсовой нити, а l - расстояние от питающего конца рельсовой цепи до приемных катушек локомотивной сигнализации, и сопротивление изоляции $Z_{\text{из}}$ будут изменяться. Также на схеме замещения показаны напряжения и токи \dot{U}, \dot{I} и \dot{U}_n, \dot{I}_n соответственно на входе и выходе четырехполюсника Н. В зависимости от положения ключа К аппаратно-измерительный комплекс может записывать и контролировать параметры тока локомотивной сигнализации по результатам измерения ЭДС с одной или двух приемных катушек.

Схема замещения четырехполюсника питающего конца кодовой рельсовой цепи Н приведена на рис. 3, где C_0 - емкость ограничителя, Z_0 - сопротивление ограничителя типа РОБС-3А, ДТ - дроссель-трансформатор [2].

Связь между напряжениями и токами в начале \dot{U}, \dot{I} и конце \dot{U}_n, \dot{I}_n четырехполюсника питающего конца рельсовой цепи можно представить в виде системы уравнений [2]:

$$\begin{cases} \dot{U} = A_H \cdot \dot{U}_n + B_H \cdot \dot{I}_n \\ \dot{I} = C_H \cdot \dot{U}_n + D_H \cdot \dot{I}_n \end{cases}, \quad (3)$$

Схема рельсового четырехполюсника (РЛ) для режима локомотивной сигнализации приведена на рис. 4, на которой показаны \dot{U}_n, \dot{I}_n

напряжение и ток на входе рельсовой линии, подаваемые с выхода четырехполосника питающего конца рельсовой цепи, а $\dot{U}_{алс}$, $\dot{I}_{алс}$ – напряжение и ток на выходе РЛ. При чем напряжение на выходе рельсового четырехполосника равно $\dot{U}_{алс} = R_{ш} \cdot \dot{I}_{алс}$. Связь между напряже-

ниями и токами в начале и конце рельсовой линии описывается системой уравнений

$$\begin{cases} \dot{U}_n = A \cdot \dot{U}_{алс} + B \cdot \dot{I}_{алс} \\ \dot{I}_n = C \cdot \dot{U}_{алс} + D \cdot \dot{I}_{алс} \end{cases}, \quad (4)$$

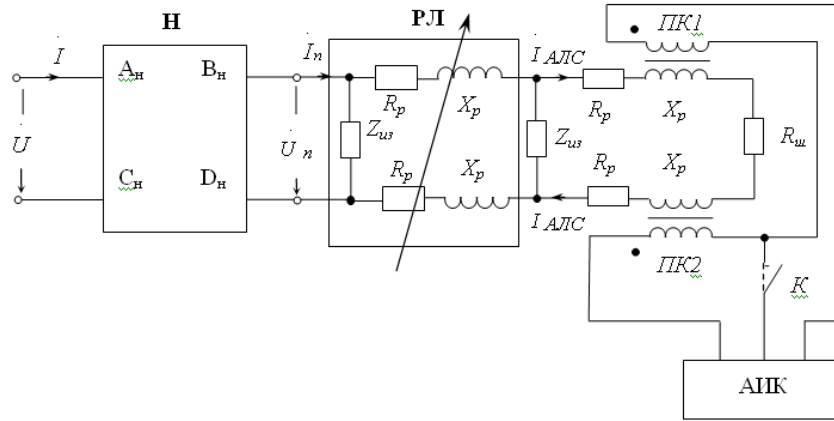


Рис. 2. Схема замещения канала системы контроля параметров тока локомотивной сигнализации

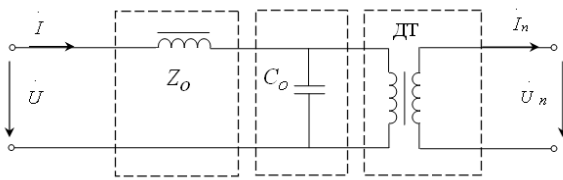


Рис. 3. Схема замещения четырехполосника питающего конца кодовой рельсовой цепи

Учитывая, что $\dot{U}_{алс} = R_{ш} \cdot \dot{I}_{алс}$, получим

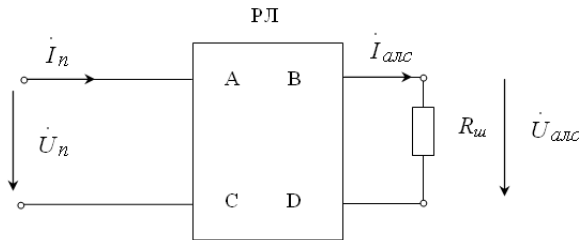


Рис. 4. Четырехполосник рельсовой линии

$$\begin{aligned} \dot{I}_n &= C \cdot \dot{U}_{алс} + D \cdot \dot{I}_{алс} = C \cdot \dot{I}_{алс} \cdot R_{ш} + D \cdot \dot{I}_{алс} = \\ &= \frac{1}{R_{ш}} \cdot \dot{I}_{алс} \cdot R_{ш} + D \cdot \dot{I}_{алс} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_n &= A \cdot \dot{U}_{алс} + B \cdot \dot{I}_{алс} = A \cdot \dot{I}_{алс} \cdot R_{ш} + B \cdot \dot{I}_{алс} = \\ &= \dot{I}_{алс} \cdot (R_{ш} \cdot A + B) \end{aligned}$$

$$\dot{I}_n = \dot{I}_{алс} (1 + D) = \dot{I}_{алс} \left(2 + \frac{Z \cdot (l - x)}{R_{ш}} \right), \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_n &= \dot{I}_{алс} \cdot \left(R_{ш} \cdot \left(1 + \frac{Z \cdot x}{R_{ш}} \right) + Z \cdot x \right) =, \\ &= \dot{I}_{алс} \cdot (R_{ш} + 2 \cdot Z \cdot x) \end{aligned} \quad (6)$$

Итак, получена связь между напряжением и током на питающем конце рельсовой цепи \dot{U}_n , \dot{I}_n и током $\dot{I}_{алс}$, который протекает под приемными катушками локомотива.

По определению условий работы рельсовой линии в режиме АЛС напряжение в начале линии равно минимальному напряжению путевого трансформатора, то есть $U_n = U_{мин}$. Величина минимального напряжения путевого трансформатора определяется из регулировочных таблиц [3].

В результате математических преобразований было получено, что полное сопротивление рельсовой линии равно

$$Z = \frac{U_{мин} - I_{к} \cdot R_{ш}}{2 \cdot I_{к}}, \quad (7)$$

Волновое сопротивление рельсовой цепи равно

$$Z_B = \sqrt{Z \cdot R_{ш}}. \quad (8)$$

Коэффициент распространения волны равен

$$\gamma = \frac{\text{arcsch}(\sqrt{Z_B \cdot R_{ш}})}{l}, \quad (9)$$

Входное сопротивление рельсовой цепи в зависимости от расстояния между питающим концом и поездом определяется выражением

$$Z_{\text{вх}}(l) = \sqrt{Z(l) \cdot R_{\text{ш}}}, \quad (10)$$

Проводимость изоляции рельсовой линии может быть определена следующим образом

$$Y_{\text{из}} = \frac{\gamma(l)^2}{z \cdot l}, \quad (11)$$

где z - удельное сопротивление рельсовой линии, Ом/км.

Таким образом, разработана математическая модель для косвенного определения параметров рельсовой цепи по величине ЭДС, наведенной в приемных катушках локомотива, которая пропорциональна току в рельсах.

Результаты моделирования

Сравнительная оценка рассчитанных и экспериментальных значений тока локомотивной сигнализации, входного сопротивления рельсовой цепи, проводимости изоляции и коэффициента затухания в зависимости от координаты

кодовой рельсовой цепи 50 Гц показала, что относительная ошибка между рассчитанными с помощью предложенного метода и измеренными данными не превышает 10 %.

Значения первичных и вторичных параметров рельсовой цепи, полученные в результате расчетов по разработанной математической модели и экспериментальных исследований, приведены в табл. 1. Ввиду сложности проведения измерений в условиях эксплуатации, связанных с необходимостью организации «окон», отключения аппаратуры рельсовых цепей, а также ввиду зависимости первичных и вторичных параметров рельсовых цепей от погодных условий, для проверки адекватности разработанного метода определения была использована физическая модель.

В результате предложенная математическая модель позволила дать научное обоснование методу определения параметров рельсовой цепи, который включает в себя измерение ЭДС в приемных катушках локомотива и вычисление тока локомотивной сигнализации по ее значению и определение параметров рельсовой цепи по значениям тока в рельсах.

Таблица 1

Значение первичных и вторичных параметров кодовой рельсовой цепи 50 Гц

Расстояние от питающего конца рельсовой цепи до локомотивных катушек, / км	Ток локомотивной сигнализации $I_{\text{алс}}$			Входное сопротивление рельсовой цепи			Проводимость изоляции рельсовой цепи			Коэффициент распространения волны		
	расчетное значение, А	измеренное значение, А	относительная ошибка, %	расчетное значение, Ом	измеренное значение, Ом	относительная ошибка, %	расчетное значение, См	измеренное значение, См	относительная ошибка, %	расчетное значение	измеренное значение	относительная ошибка, %
0	10,00	10,00	0	0,67	0,70	3,72	0,14600	0,15000	2,67	1,016	1,000	1,638
0,2	9,32	9,50	1,91	0,70	0,70	0,25	0,03400	0,03500	2,86	0,517	0,500	3,426
0,4	8,69	8,50	2,18	0,72	0,70	3,34	0,01400	0,01500	6,67	0,351	0,350	0,232
0,6	8,09	8,00	1,17	0,75	0,75	0,08	0,00739	0,00750	1,49	0,268	0,260	2,974
0,8	7,54	7,50	0,57	0,78	0,78	0,47	0,00441	0,00450	2,09	0,218	0,220	0,935
1	7,03	7,00	0,43	0,80	0,80	0,53	0,00285	0,00280	1,82	0,185	0,180	2,672
1,2	6,55	6,50	0,78	0,83	0,83	0,39	0,00195	0,00200	2,40	0,161	0,160	0,737
1,4	6,11	6,00	1,77	0,86	0,86	0,36	0,00139	0,00140	0,57	0,144	0,140	2,503
1,6	5,69	5,50	3,45	0,89	0,90	0,64	0,00103	0,00100	2,50	0,130	0,130	0,161
1,8	5,30	5,30	0,06	0,93	0,95	2,49	0,00077	0,00080	3,29	0,119	0,120	0,954
2	4,94	5,00	1,16	0,96	0,95	1,01	0,00060	0,00060	0,70	0,110	0,110	0,058
2,2	4,61	4,50	2,36	0,99	1,00	0,59	0,00047	0,00048	2,81	0,103	0,100	2,537
2,4	4,29	4,30	0,19	1,03	1,00	2,99	0,00037	0,00036	2,89	0,096	0,095	1,369
2,6	4,00	4,10	2,44	1,07	1,10	3,01	0,14600	0,15000	2,67	1,016	1,000	1,638

Аппаратно-программный комплекс

Для реализации предложенного автоматизированного метода определения параметров

рельсовой цепи был разработан аппаратно-программный комплекс, который устанавливается на базе вагона-лаборатории «Автоматика, телемеханика и связь». Комплекс предназначен для измерения амплитуды кодового тока и вре-

менных параметров числового кода автоматической локомотивной сигнализации, тока асимметрии, параметров рельсовой цепи, ее координаты, контроля проезда изолирующих стыков, определения спектрального состава обратного тягового тока и регистрации результатов измерений.

Анализ литературных источников [4-6], а также разработанная математическая модель позволила сформулировать требования, которые предъявляются к автоматизированному аппаратно-программному комплексу: измерение электродвижущей силы в приемных катушках локомотива в диапазоне от 0 до 5 В; измерение тока кодовых сигналов частотой 25, 50 и 75 Гц в рельсовых цепях в диапазоне от 1 до 35 А; измерение длительности сигналов от 0,08 до 0,6 с с точностью не ниже $\pm 0,01$ с для кодовых сигналов частотой 50 и 75 Гц и $\pm 0,02$ с – для кодовых сигналов частотой 25 Гц; измерение перерыва в кодировании от 2 до 9,99 с; измерение координаты рельсовой цепи от 0 до 4000 м; реализация полосовой фильтрации сигнала, записанного с катушек локомотивной сигнализации. Для фильтра 50 Гц полоса пропускания фильтра должна лежать в пределах от 43 до 57 Гц, для фильтра 75 Гц – от 65 до 87 Гц, для фильтра 25 Гц – от 20 до 31 Гц; определение спектрального состава обратного тягового тока в диапазоне от 0 до 20 кГц.

Разработанная измерительная система реализована в виде приставки к персональному компьютеру типа IBM PC. Она осуществляет цифровую обработку сигнала и содержит следующие основные узлы: блок согласования, аналого-цифровой преобразователь, мультиплексоры, генератор тактовых импульсов, программируемый таймер, регистры данных и управления.

Выводы

Разработана математическая модель, которая позволила дать научное обоснование методу определения параметров рельсовой цепи по величине ЭДС, наведенной в приемных катушках локомотива, которая пропорциональна току

в рельсах. Для реализации предложенного автоматизированного метода определения параметров рельсовой цепи был разработан аппаратно-программный комплекс, который устанавливается на базе вагона-лаборатории «Автоматика, телемеханика и связь». Была выполнена сравнительная оценка рассчитанных и экспериментальных значений тока локомотивной сигнализации, входного сопротивления рельсовой цепи, проводимости изоляции и коэффициента затухания в зависимости от координаты кодовой рельсовой цепи 50 Гц, которая показала, что относительная ошибка не превышает 10 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сердюк Т. Н. Автоматизированная система для контроля параметров кодового тока в рельсах / Т. Н. Сердюк, В. И. Гаврилюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: ДПТ, 2004. – Вип. 3. – С. 15-20.
2. Путевая автоблокировка и авторегулировка. Котляренко и др. – М.: Транспорт, 1983. – 408 с.
3. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник / В. С. Аркатов, Н. Ф. Котляренко, А. И. Баженов, Т. Л. Лебедева / Под ред. В. С. Аркатова. – М.: Транспорт, 1982. – 360 с.
4. Інструкція про порядок користування автоматичною локомотивною сигналізацією безперервного типу (АЛС) і пристроями контролю пильності машиніста на залізницях України: ЦТ-ЦШЕОТ-0027: Затв. Наказом Міністерства транспорту України 27.01.2000. – К., 2000. – 30 с.
5. Аппаратура «Контроль». Техническое описание и инструкция по эксплуатации: 8402 ТО: Минва путей сообщения СССР. – М., 1988. – 120 с.
6. Методика выполнения измерений параметров кодов АЛСН в вагоне-лаборатории Приднепровской ж. д.: Утв. Службой сигнализации и связи Приднепровской ж. д. 08.05.2003. – Д., 2003. – 27 с.

Поступила в редакцию 19.09.2007.

D. WÓJCIK, MSc in telecommunications and PhD in radiocommunications, Silesian University of Technology (Gliwice, Poland)

PREDICTION OF EXPOSURE CONDITIONS IN VICINITY OF UMTS BASE STATION ANTENNAS

Швидке впровадження безпроводного зв'язку впливає на те, що потенціальний ризик, якому підпадає здоров'я людини із-за впливу на неї електромагнітних полів, різко зріс. Стаття присвячена проблемам, які викликає сотова телефонія і які повинні бути розглянуті у двох різних аспектах: можлива небезпека здоров'я із-за присутності кишенькових мобільних телефонів та розташування антен станцій. Для оцінки умов впливу антени станції універсальної мобільної телекомунікаційної системи (UMTS) запропоновано метод, який базується на заміні панелі антени дискретним лінійним масивом і який включає в себе елементи теорій геометричної оптики та дифракції.

Ввиду быстрого внедрения беспроводной связи потенциальный риск, которому подвергается здоровье человека из-за воздействия на него электромагнитных полей, резко возрос. Статья посвящена проблемам, вызываемым сотовой телефонией, которые должны быть рассмотрены в двух различных аспектах: возможная опасность здоровью из-за наличия карманных мобильных телефонов и размещения антенн станций. Для оценки условий влияния антенны станции универсальной мобильной телекоммуникационной системы (UMTS) предлагается метод, основанный на замене панели антенны дискретным линейным массивом и который включает в себя теории геометрической оптики и дифракции.

The rapid diffusion of wireless telecommunications has focused attention on potential risks for human health due to the exposure to electromagnetic (EM) fields. In context of cellular telephony the problem should be considered in two different aspects: possible health hazard due to hand-held phone devices or due to base station antennas, which this paper will be devoted to. To evaluate exposure condition in vicinity of Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) base station antenna, the method based on the replacement of panel antenna with a discrete linear array and combined with the geometrical optics and uniform theory of diffraction.

Introduction

To evaluate of exposure condition due to UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) base station antenna, the knowledge of its field distribution is needed. Radiated field distribution is easy to evaluate in far-field region, where angular field distribution is essentially independent of the distance from the antenna [1]. In this case all data required for evaluation can be found in catalogues of the antenna, additionally the knowledge of supplied power is needed. If the antenna has maximum overall dimension D , it is usually assumed, that far-field region is commonly taken to exist at the radial distance from the source greater then

$$R = \frac{2D^2}{\lambda}, \quad (1)$$

where λ is the wavelength. For large base station antennas ($D \approx 2,6 \text{ m}$) the far field region starts with the distance of about 80 m for 2000 MHz. Simple calculations shows that for typical power level delivered to UMTS antennas the isolines of maximum permitted EM field intensity are located at near field region.

The near field distribution is difficult to evaluate, because it changes strongly with the distance from the source. Additionally, in urban environment, one must take under consideration the influence on the near-field distribution of scattering objects presented in vicinity of the antenna. Certainly, the near field can be successfully computed using full-wave methods, such method of moments or FDTD. However, full-wave methods are impractical in routine procedure because of variety types of applied antennas, limited knowledge of their geometry. Additionally, for problem space dimensions considered in urban environment, time of computation by full-wave methods is unacceptably long. Thus a simple and reliable calculation method for prediction exposure conditions in urban environment is needed.

In UMTS base stations the most popular type of antennas are panel antennas. The typical panel antenna geometry is shown in Fig. 1. The geometry of the model is reasonably close to that of Kathrien antennas [4]. The antenna consists of an array of four collinear dipoles with horizontal separators placed in front of a reflector. As it can be observed, the antenna is made up of identical cells.

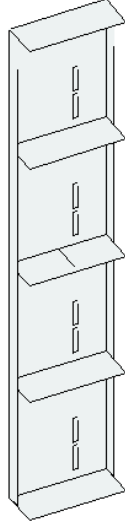


Fig. 1. Typical panel base-station antenna

In this paper, a simple and effective methods for evaluation of near field of typical UMTS base station panel antenna will be presented. The attention is focused at the method bases on the replacement the original antenna with discrete linear array. Total field in particular observation point located in near field of whole antenna is calculated as the sum of fields produced by each source of the array. Estimation of all needed parameters of the array from catalogue data of the antenna is discussed. Comparison of approximated results with those obtained by full-wave analysis shows, that the method can be successfully used for near field intensity evaluation. To evaluate the near field distribution in urban environment, the method based on the replacement of panel antenna with a discrete linear array is combined with the geometrical optics (GO) and uniform theory of diffraction (UTD). Some results of analysis of near field in practical situations will be presented. Obtained results will be related to recommendations on limitation of exposure to EM fields.

Simple methods

In simple near field intensity evaluations, far-field approximation is usually employed. Power density S at the distance r is given in [3]

$$S = \frac{PG}{4\pi r^2}, \quad (2)$$

where P is the input power and G – gain of the antenna under investigation. However, such approximation gives reliable results at the distance grater then R . Close to antenna far-field approximation usually overestimates the radiated power density.

Close to base station antenna, field intensity can be successfully evaluated by using of so-called cylindrical wave approximation. The method is recommended by FCC (Federal Communication Commission) as particularly useful for certain specialized antennas, such as UMTS panel antennas [5]. In cylindrical model it is assumed that in proximity of omnidirectional antennas (for example dipole antennas) power density has spherical symmetry. Consequently, inverse distance dependence for power density is obtained. If antenna under investigation has directional radiation pattern in horizontal plane it can be assumed, that in vicinity of the source power is radiated uniformly throw the portion of cylindrical surface corresponding to the half-power beamwidth of the antenna in azimuth plane [5]:

$$S = \frac{P}{\pi r D} \left(\frac{180}{\phi_{BW}} \right), \quad (3)$$

where ϕ_{BW} denotes the beamwidth in degrees.

Cylindrical-wave model leads to appropriate approximation of power density in vicinity of the antenna. However, the model fails if far field region because of inverse distance dependence. In contrast, in far field region spherical-wave model can be successfully employed. These two models can be combined in so called cylindrical-spherical wave model [3]:

$$S = \frac{PG}{4\pi r \sqrt{r^2 + r_0^2}}, \quad (4)$$

where r_0 is a constant. In far field region ($r > r_0$) reduces to spherical-wave approximation.

Close to antenna (4) leads to cylindrical-wave results if

$$r_0 = \frac{GD\phi_{BW}}{720}, \quad (5)$$

The model gives good approximation of average power density produced by panel antennas.

Discrete model of base-station antenna

For evaluation of near-field intensity of panel antennas, discrete model can be employed. Let r_d denotes the distance determining the boundary between near and far field region of separated cell of the antenna. If observation point is located at the distance greater then r_d , each cell can be replaced by source point. In this way discrete linear array as a model of antenna is obtained. For typical antennas, maximum dimension of separated cell is comparable to wavelength and r_d distance can be evaluated by (1) as equal to double wavelength.

Let us consider the array of N sources, as shown in Fig. 1. The fields emitted by every single source are calculated using far-field equations. The total EM field in a particular observation point is obtained as a sum of the fields radiated by individual sources. The phase shifts arisen from different distances between particular sources and the observation point are also included. Therefore, the total electric field is described by the following equation

$$E_{tot}(r) = \sqrt{\frac{30PG_m}{N}} \sum_{i=1}^N F(\theta_i, \phi_i) \frac{e^{-j(kr_i + \nu_i)}}{r_i} \mathbf{1}_{pi}, \quad (6)$$

where P is the radiated power, G_m and F – gain and radiation pattern of unit cell, respectively. Position vector associated with an observation point in the global co-ordinate system is denoted as r , and r_i , θ_i , ϕ_i fix observation point localisation in local spherical co-ordinate system centred at i -th element of the array. $\mathbf{1}_{pi}$ vector describes polarisation of the field radiated by i -th source.

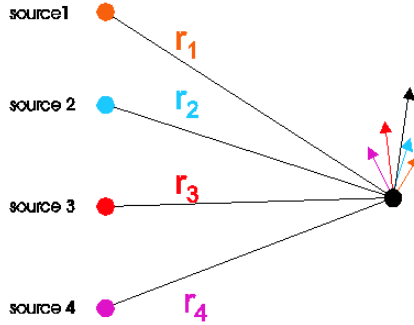


Fig. 2. Discrete model of panel antenna

It must be stressed that discrete model can be successfully employed in near-field analysis in urban environment. In fact, the model can be combined with geometrical optics and uniform theory of diffraction in order to taking into account influence of buildings located in vicinity of antennas under investigation. Another important advantage of discrete model is that it can be used both in near- and far-field of the antenna, because the model bases on the physics of specific antenna much more than spherical- or cylindrical-wave models.

Estimation of discrete array parameters

As has been shown in [2], all needed parameters of the array can be obtained from catalogue data of the antenna only. In this paper, improved method of model parameters estimations is presented. Introduced simplifications allow avoiding application of optimisation techniques, Fourier

transform and filtration. Thereby, they make the method simpler in application then method proposed in [2]. At the same time, comparison of calculated field distributions with those obtained by full-wave analysis shows that excellent agreement can be obtained.

To apply discrete model of the antenna, knowledge of number of sources N , their arrangement, radiation pattern, and excitation coefficients is necessary. However, the model will be useful in practice, if only all of these parameters can be evaluated from catalogue data of the antenna under investigation. While typical panel antennas are analysed, sources of the discrete model form a uniform array: spacing between elements is the same, amplitudes of currents feeding particular sources are equal and each succeeding element has a ν progressive phase lead current excitation relative to the preceding one [1].

Number of cells of the antenna N is bounded with its height D and height of unit cell d . For typical base-station panel antennas, h is comparable to wavelength. Therefore, to evaluate number of source, the following relation can be used:

$$N \approx \frac{D}{\lambda}. \quad (7)$$

In far field region, total field of the array is equal to the field of a single source multiplied by array factor [1]

$$E_{tot}(r, \theta, \phi) = E(r, \theta, \phi) \times AF(\theta). \quad (8)$$

For typical panel antennas, maximum radiation occurs, when AF has its maximum value

$$\theta_m = \arccos\left(-\frac{\nu\lambda}{2\pi d}\right). \quad (9)$$

Nulls of radiation pattern appear for θ satisfying following relation

$$N\left(\frac{\pi d \cos \theta}{\lambda} + \frac{\nu}{2}\right) = \pm n\pi, \quad (10)$$

where $n = 1, 2, \dots$

It has been suggested in [2], that proper values of d and ν can be obtained using optimization techniques. As it will be shown in this paper, very reliable results are obtained, when d and ν are directly calculated from (6) and (7):

$$d = \frac{\lambda}{N(\cos \theta_0 - \cos \theta_m)}, \quad \nu = \frac{2\pi \cos \theta_m}{N(\cos \theta_0 - \cos \theta_m)}, \quad (11)$$

when θ_0 denotes the nearest to θ_m null of radiation pattern ($\theta_0 < \theta_m$).

Next, gain of unit source and its radiation pattern must be evaluated. Gain of unit cell can be evaluated as

$$G_m \approx \frac{G}{N}. \quad (12)$$

Of course, the smaller tilt is, the better is this evaluation. It can be assumed [2], that radiation pattern can be expressed as

$$F(\theta, \phi) \approx F_V(\theta)F_H(\phi). \quad (13)$$

$F_V(\theta)$ and $F_H(\phi)$ are the radiation patterns of unit cell in vertical and horizontal plane, respectively. Array factor AF is not a function of ϕ . Thus, radiation pattern of unit cell in horizontal planes the same as known radiation pattern of whole antenna. However, $F_V(\theta)$ function can be successfully interpolated to obtain catalogue radiation pattern of whole antenna in vertical plane [3].

Results

In order to examine the presented calculating methods typical base-station K742215 has been examined. Catalogue data of the antenna are as follows [4]:

- frequency range 1710-2200 MHz;
- gain 18 dBi;
- vertical half power beam width 6.5° ;
- horizontal half power beam width 65° ;
- electrical down-tilt 6° .

Antenna is located at the building, close to roof edge. The nearest building was taken into account during the calculations. The building is located at the distance of 22 m and its roof is about 5 m under the centre of the antenna. It was assumed that antenna radiates power of 10 W.

Fig. 3 shows power density distribution in vicinity of the antenna, obtained by using of discrete model combined with high frequency techniques. Maximum power density allowed for general public in Poland is 0.1 W/m^2 . From the picture it can be easily observed that actual power density excess limit value in main beam of the antenna only. Diffraction and refractions caused by the presence of the buildings do not disturb the field distribution significantly, that suggests that such phenomena do

not play an important role in exposure condition evaluation.

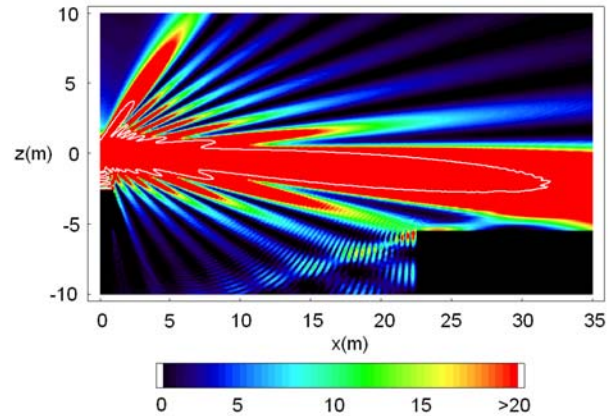


Fig. 3. Power density [mW/m²] in vicinity of 742215 antenna for 10 W radiated power

Conclusions

In this paper the methods of evaluation exposure conditions to EM fields in vicinity of UMTS base station antennas were presented. The method based on the replacement the original panel antenna with discrete linear array was the focus of the attention. Evaluation of the model parameters were discussed in details. As an example, the near field distribution in vicinity of typical antenna was calculated and presented.

BIBLIOGRAPHY

1. C. A. Balanis. Antenna Theory. Analysis and Design. - John Wiley & Sons, - 1997.
2. Bizzi M., Gianola P. Electromagnetic fields radiated by GSM antennas // Electronic Letters. - 1999. - vol. 35. - № 11. - pp. 855-857.
3. Wójcik D. Near field of cellular telephony base station antennas. PhD Dissertation. - Gliwice: Silesian University of Technology (Poland). - 2004.
4. Kathrein - Antennas for Mobile Communications, Version 10, Edition 01/06.
5. Karwowski A. Comparison of simple models for predicting radiofrequency fields in vicinity of base station antennas // Electronic Letters. - 2000. - vol. 36. - № 11. - pp. 859-861.

Поступила в редколлегию 19.09.2007.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКА ТЕРМИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ ПРИ АВАРИЯХ НА ПРОМПЛОЩАДКАХ

Предложены метод расчета теплового загрязнения воздушной среды и поражения людей при горении огненного шара. Метод основан на численном интегрировании трехмерного уравнения энергии. Приводятся результаты численного эксперимента.

Запропонован метод розрахунку теплового забруднення повітря та враження людей після горіння вогненої кулі. Метод базується на чисельному інтегруванні тривимірного рівняння енергії. Наводяться результати чисельного експерименту.

The method to calculate the thermo pollution and damage of people when the fire ball was burning was developed. The method is based on numerical integration of 3D equation of energy. The results of numerical experiments are presented.

В настоящее время повышенный интерес привлекает к себе задачи, связанные с выбросом или разливом ряда химических веществ (например, углеводородов), при котором образуется облако газа паровоздушной смеси (ГПВС). Если это облако переобогащено топливом, то происходит горение его с образованием огненного шара [1]. В этом случае будет происходить термическое воздействие на обслуживающий персонал, который располагается возле места аварии. Поражение людей может происходить за счет вдыхания горячего воздуха (поражение органов дыхания), а так же за счет контакта горячего воздуха с телом человека (ожоги различной степени тяжести). В этой связи является важным прогноз риска термического поражения людей с целью определения уровня экологической безопасности на промышленном объекте (аварии на транспорте и т. п.). Анализ литературных источников показал, что вопрос прогноза риска термического поражения людей при образовании огненного шара и миграции нагретого воздуха в атмосфере в литературе практически не рассматривались. Рассматривались лишь вопросы термического поражения при излучении огненного шара [1]. Важным вопросом является исследование возможного поражения персонала на промплощадке при миграции огненного шара. Это приобретает в настоящее время особую актуальность в связи со значительным износом технологического оборудования на многих производствах. **Целью** настоящей работы является создание численной модели и разработка на их основе метода расчета теплового загрязнения воздушной среды и термического поражения людей при образовании огненного шара.

Постановка задачи, математическая модель

Рассмотрим область, имеющую размеры

R_x, R_y, R_z . Пусть в результате аварии произошло быстрое горение углеводородов (или других веществ), в результате которого образовалась подзона с высокой температурой T_a – огненный шар. В данной работе принимается, что шар имеет характерный диаметр D в момент времени $t = 0$. Далее рассматривается миграция этой подзоны в атмосфере при воздействии воздушного потока – ветра (рис. 1). Рядом с местом аварии находится персонал (на рис. 1 местонахождение персонала показано позицией 2), который начинает убегать по маршруту, который показан штриховой линией на рис. 1. Требуется рассчитать динамику теплового загрязнения воздушной среды и риск термического поражения персонала, убегающего с места аварии.

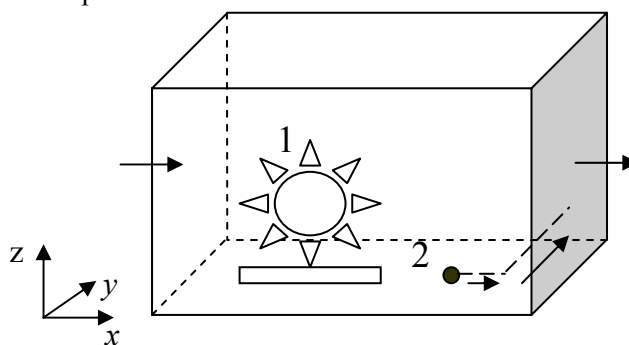


Рис. 1. Схема расчетной области:
1 – огненный шар; 2 – положение человека

Для моделирования теплового загрязнения воздушной среды будем использовать трехмерное уравнение энергии

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} =$$

$$= \frac{\partial}{\partial x} \left(a_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(a_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(a_z \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (1)$$

где T – температура, α – коэффициент температуропроводности, u, v, w – компоненты скорости воздушной среды.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работе [4].

Согласно методики компании DOW Chemikal [1] радиус огненного шара R_0 и время его существования рассчитываются так:

$$R_0 = 29 \cdot M^{1/3}, \text{ м};$$

$$t_s = 4,5 \cdot M^{1/3}, \text{ с},$$

где M – половина вместимости емкости тонн.

Термическое поражение людей может быть оценено по величине теплового потока, падающего на человека. В этом случае будут поражены кожные покровы и человек получит ожоги различной степени тяжести. Термическое поражение будет происходить за счет теплового излучения и за счет конвективной теплоотдачи. На промышленной площадке могут находиться различные объекты, которые в первые секунды горения огненного шара могут выполнить роль экранов, защищающих людей от теплового излучения. Поэтому несомненный интерес представляет прогнозирование термического поражения при конвективной теплоотдачи, т. е. при соприкосновении горячего воздуха с телом человека. Интенсивность поражения людей при тепловом излучении огненного шара может быть рассчитана по методике, приведенной в работе [1]. В данной работе рассматривается термическое поражение людей в результате контакта горячего воздуха с телом человека (т.е. при конвективной теплоотдачи). Величина теплового потока рассчитывается по формуле Ньютона–Рихмана.

$$q = h_c (T_a - T_b),$$

где T_a – температура воздуха на месте нахождения человека;

T_b – температура тела человека;

h_c – коэффициент конвективной теплоотдачи.

Сопоставляя данную величину q с пороговым значением (например, при $q = 210...336 \text{ кДж/м}^2$ – ожоги 2-ой степени) [1] можно прогнозировать риск термического поражения людей на промплощадке при горении огненного шара. Однако необходимо отметить, что расчет величины q при эвакуации людей является сложной задачей, т. к., с одной стороны, происходит миграция горячего воздуха под действием ветра, а с другой стороны – изменяется местоположение людей, убегающих от места аварии.

Поражение людей может наступить также в результате вдыхания горячего воздуха. Степень поражения органов дыхания в этом случае зависит от температуры воздуха и времени нахождения

человека при такой температуре. Поэтому риск термического поражения людей может быть рассчитан по величине времени пребывания людей в зоне с повышенной температурой. Если проанализировать данные о термическом поражении людей (ожог 2 степени), находящихся в зоне с повышенной температурой (более 71°C), представленные в работе [5] и ввести, по аналогии с химическим поражением человека, параметр тепловой дозы $\text{Th } D$

$$\text{Th } D = \int_0^t T dt,$$

где T – температура на месте нахождения человека ($^\circ\text{C}$);

t – время экспозиции (с).

Термическое поражение (ожог 2-й степени) наступит при величине тепловой дозы равной $\text{Th } D = 1100...1500 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{с}$ (при $T > 71^\circ\text{C}$).

В разработанной модели риск термического поражения людей при горении огненного шара оценивается как по величине тепловой дозы, так и по величине теплового потока при конвективной теплоотдачи.

Метод решения

Для численного интегрирования уравнения (1), используется попеременно-треугольная неявная разностная схема [3]. Каждое разностное уравнение представляет собой запись балансового соотношения для контрольного объема (разностной ячейки). Расчет неизвестного значения определяется на каждом шаге расщепления по явной формуле бегущего счета.

Практическая реализация модели

На базе разработанной численной модели создан пакет прикладных программ «Thermo-3» Пакет программ реализован на алгоритмическом языке FORTRAN-IV. Рассмотрим практическое использование данного пакета на примере решения прикладной задачи.

Путь на месте аварии образовался огненный шар, имеющий диаметр 30 м и температуру 1300°C . Размеры расчетной области $120 \times 120 \times 60 \text{ м}$; скорость ветра $7,5 \text{ м/с}$. В момент аварии обслуживающий персонал находится на расстоянии 30 м от огненного шара и начинает убежать со скоростью 3 м/с ; $h \cdot c = 1700 \text{ Вт}\cdot\text{м}^2/\text{с}$ [4].

Ставится задача исследования теплового загрязнения воздушной среды после аварии и прогнозирования риска термического поражения людей на маршруте эвакуации (рис. 1).

На рис. 2...5 представлена динамика формирования зоны теплового загрязнения при миграции огненного шара. Хорошо видно, что с течением времени начальная форма шара изменяется и зона теплового загрязнения быстро

вытягивается в направлении движения воздушного потока.

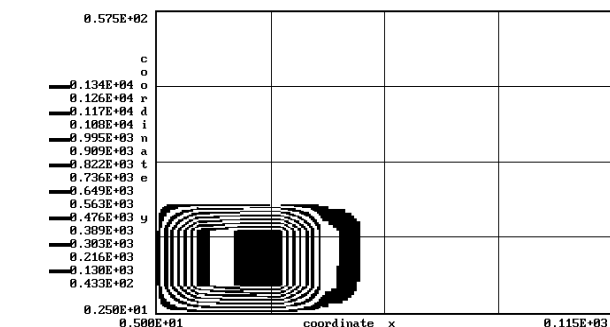


Рис. 2. Распределение изотерм, $t = 0, 2$ с после аварии

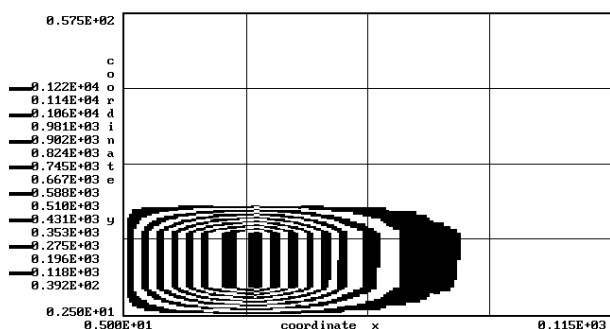


Рис. 3 Распределение изотерм, $t = 1, 5$ с после аварии

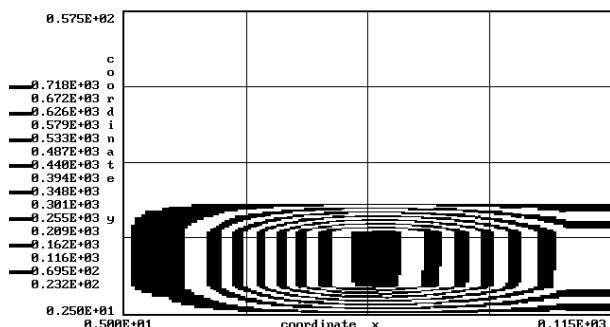


Рис. 4. Распределение изотерм, $t = 5, 6$ с после аварии

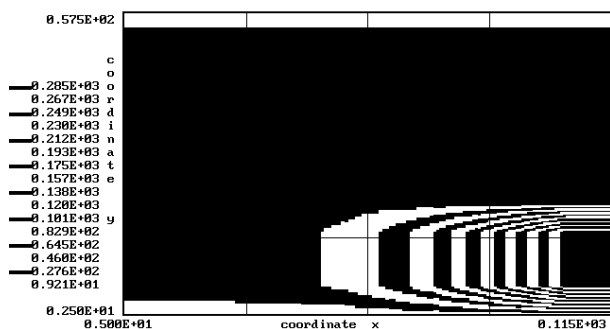


Рис. 5 Распределение изотерм, $t = 16$ с после аварии

В табл. 1 представлены результаты расчета величины теплового потока, падающего на бегущего человека. В этой таблице также представлены данные о температуре воздуха на

месте нахождения человека. Как видно, люди уже через 12 секунд после аварии получают ожоги несовместимые с жизнью.

Таблица 1

Расчетные значения теплового потока, попавшего на человека и температуры воздуха на месте расположения персонала

Ниже представлены данные о величине тепловой дозы, позволяющие прогнозировать риск термического поражения людей в случае рассмотренного сценария аварии:

Время после аварии, с	Тепловой поток, кДж/м ²	Температура, °C
3	79	470
6	389	622
12	897	448

$t = 3$ с $Th D = 571$ °C·с;

$t = 6$ с $Th D = 2506$ °C·с;

$t = 9$ с $Th D = 4299$ °C·с;

$t = 12$ с $Th D = 5714$ °C·с.

Из данной таблицы также видно, что через 6 секунд после аварии люди получают смертельное поражение органов дыхания.

Выводы

В работе построена компьютерная модель и на ее основе разработан метод расчета термического поражения людей. Модель основана на численном интегрировании трехмерного уравнения энергии. Модель позволяет быстро выполнить прогноз риска поражения людей находящихся вблизи места аварии.

Дальнейшее совершенствование модели следует проводить в направлении ее развития для моделирования теплового загрязнения воздушной среды с учетом зданий на промплощадке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учеб. пособ. в 5-ти книгах / Под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаяева. - М.: АСВ, 2001. - 200 с.
2. Демидов П. Г. Горение и свойства горючих веществ. М : Изд-во МКХ РСФСР, 1962. – 254 с.
3. Згуровский М. 3. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей сред: Наук. Думка / В. В. Скопецкий, К. Хрущ , Н. Н.Беляев. – К, 1997. – 368 с.
4. Крейт Ф. Основы теплопередачи. / Ф. Крейт, У. Блэк. – М. : Мир, 1983. – 512 с.
5. Кулешов М. М. Пожежна безпека будівель та споруд: Навч. посіб. / Навч. М. М. Кулешов, Ю. В. Уваров, О. Л. Олійник, В. П. Пустомельник, А. С. Беліков – Х, 2004 – 271 с.

Поступила в редакцию 30.10.2007.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРИ ГОРЕНИИ ФОСФОРА

Розроблено тривимірну чисельну модель розрахунку процесу поширення токсичної річовини при горінні фосфору. Модель базується на чисельному інтегруванні рівняння конвективно-дифузійного переносу домишки. Наводяться результати обчислювального експерименту.

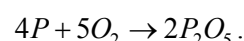
Разработана трехмерная численная модель распространения оксида фосфора в атмосфере при горении фосфора. Модель основывается на численном интегрировании уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

The 3D numerical model to simulate the toxic gas dispersion during phosphor firing. The model is based on the K-gradient transport model. The results of numerical experiment are presented.

Введение. Авария при транспортировке фосфора железнодорожным транспортом, которая произошла на Львовской железной дороге в июле 2007 года поставила задачу разработки более надежных, чем существующая нормативная методика [5], методов прогноза уровня загрязнения окружающей среды при горении фосфора. Нормативная методика дает возможность только оценить размеры (площадь) зоны загрязнения и только до высоты 10 метров от уровня земли и не позволяет рассчитать концентрацию оксида фосфора (продукта горения фосфора) на различном расстоянии от места аварии. Особую актуальность приобретает вопрос разработки эффективных методов прогноза уровня загрязнения атмосферы при авариях связанных с эмиссией токсичных веществ с целью оперативного получения научно обоснованной информации об уровне загрязнения воздушной среды, подстилающей поверхности для организации эффективной защиты населения от химического поражения. Целью настоящей работы является создание регуляторной математической модели, ориентированной на использование экологами в повседневной практике для экспресс-прогноза загрязнения атмосферы при горении фосфора.

Достоинством предложенной модели является возможность учета основных физических факторов, влияющих на процесс переноса оксида фосфора в атмосфере и при этом требуются небольшие затраты машинного времени при практической реализации модели.

Постановка задачи. Будем считать, что произошла разгерметизация цистерны с фосфором, в результате которой имело место испарение воды, находящейся в цистерне. Это привело к тому, что фосфор вступил в контакт с воздушной средой и начался процесс его горения:



В результате горения от цистерны начинает распространяться шлейф оксида фосфора, представляющего угрозу для окружающей среды.

Для моделирования процесса переноса оксида фосфора в атмосфере будем использовать трехмерное уравнение миграции примеси [2, 3]

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

где C – концентрация загрязняющего вещества (P_2O_5), попадающего в атмосферу при горении фосфора;

u, v, w – компоненты вектора скорости воздушной среды;

w_s – скорость оседания примеси;

$\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коэффициент турбулентной диффузии;

Q – интенсивность выброса токсичного вещества;

$\delta(r - r_i)$ – дельта-функция Дирака;

$r_i = (C_i, \gamma_i, Z_i)$ – координаты источника выброса (цистерны).

В данной модели имеется возможность задавать несколько источников выделения оксида фосфора, т. е. моделировать поступление оксида фосфора в атмосферу при горении от нескольких цистерн.

В разработанной математической модели

используется неравномерный профиль скорости ветра и вертикального коэффициента диффузии

$$u = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^n,$$

$$\mu_z = k_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^m,$$

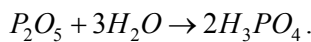
где u_1 – скорость ветра на высоте z_1 ; $k_1; 0, 2$; $n = 0, 16$; $m \approx 1$.

Для моделирования процесса загрязнения атмосферы при горении фосфора необходимо знать массовую скорость выгорания фосфора G , кг/м²·мин. Как правило, массовая скорость выгорания того или иного вещества определяется экспериментальным путем. Для экспресс-прогноза эту величину можно ориентировочно назначить исходя из имеющихся литературных данных [2]. Так как молекула фосфора имеет слабые связи, то можно считать, что массовая скорость выгорания его близка к массовой скорости выгорания бензина. Тогда, зная геометрические размеры цистерны, площадь ее поперечного сечения S можно рассчитать интенсивность Q поступления оксида фосфора в атмосферу

$$Q(t) = S(t)G,$$

где t – время.

Для защиты атмосферы используют подачу воды в шлейф оксида фосфора. В этом случае процесс взаимодействия описывается уравнением



В разработанном пакете прикладных программ процесс взаимодействия оксида фосфора с водой рассчитывается в отдельном модуле. Процесс рассеивания воды от источника (в данной работе рассматривается от вертолета) моделируется с помощью уравнения вида (1). В модели полагается, что капли воды осаждаются со скоростью w_s .

Метод решения. Рассмотрим построение попеременно-треугольной разностной схемы для численного интегрирования уравнения переноса. Заменим производную по времени раздельной разностью «назад»:

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

Конвективные производные представим в виде:

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

$$\mu_{2x} = \frac{\mu_x}{1 - \frac{u^- \Delta x}{\mu}} \mu_{1x} = \frac{\mu_x}{1 + \frac{u^+ \Delta x}{\mu}};$$

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

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

где $u^+ = \frac{u + |u|}{2}$; $u^- = \frac{u - |u|}{2}$, $v^+ = \frac{v + |v|}{2}$;
 $v^- = \frac{v - |v|}{2}$, $w^+ = \frac{w + |w|}{2}$; $w^- = \frac{w - |w|}{2}$.

Для аппроксимации конвективных производных используем выражения:

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

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

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

$$\frac{\partial w^+ C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^+ C_{ijk} - w_{ijk}^+ C_{i,j,k-1}}{\Delta z} = L_z^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial w^- C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^- C_{i,j,k+1} - w_{ijk}^- C_{i,j,k}}{\Delta z} = L_z^- C^{n+1}.$$

Компоненты скорости потока будем задавать на гранях разностной ячейки (контрольного объема). Вторые производные аппроксимируем следующими выражениями:

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

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

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \approx \tilde{\mu}_z \frac{C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{ijk}^{n+1}}{\Delta z^2} - \tilde{\mu}_z \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{ij,k-1}^{n+1}}{\Delta z^2} =$$

$$= M_{zz}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1}.$$

В данных выражениях L_x^+ , L_x^- , L_y^+ , L_y^- , L_z^+ , L_z^- , M_{xx}^+ , M_{xx}^- и т. д. – обозначения разностных операторов. С учетом этих обозначений, разностный аналог трехмерного уравнения переноса примеси будет иметь вид:

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

Расщепим решение данного разностного уравнения при интегрировании на временном интервале dt так:

– на первом шаге $k = \frac{1}{4}$:

$$\frac{C_{ij}^{n+k} - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k =$$

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

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

– на третьем шаге $k = n + \frac{3}{4}$; $c = n + \frac{1}{2}$ используется формула (4);

– на четвертом шаге $k = n + 1$; $c = n + \frac{3}{4}$ используется формула (3).

В данные разностные соотношения входит «возмущенный» коэффициент диффузии $\tilde{\mu}$:

$$\mu_{1x} = \frac{\mu_x}{1 + \frac{u^+ \Delta x}{\mu}}, \quad \mu_{2x} = \frac{\mu_x}{1 - \frac{u^- \Delta x}{\mu}} \quad \text{и т. д.}$$

На пятом шаге расщепления учитывается влияние источников на изменение концентрации примеси и расчетная зависимость на этом шаге имеет вид:

$$\frac{C_{i,j,k}^{s^{n+1}} - C_{i,j,k}^{s^n}}{\Delta t} = \sum_{l=1}^N \frac{q_l(t^{n+1/2})}{\Delta x \Delta y \Delta z} \delta_l.$$

В дискретном виде дельта-функция Дирака «размазывается» по объему разностной ячейки с учётом сбережения суммарного количества выбрасываемого загрязнения. Функции δ_l тождественно равняются нулю, кроме ячеек, где расположен l -й источник загрязнения. На каждом шаге расщепления расчет неизвестной концентрации оксида фосфора осуществляется по явной формуле бегущего счета.

Практическая реализация. На основе разработанной численной модели создан пакет прикладных программ CHEMICAL-3D. Разработанная численная модель была применена для решения задачи о загрязнении атмосферы при поступлении оксида фосфора от двух железнодорожных цистерн. Численное моделирование выполнено при следующих параметрах: размеры расчетной области $250 \times 221 \times 55$ м, коэффициент диффузии – $2,35 \text{ м}^2/\text{с}$, скорость ветра – $3,3 \text{ м/с}$ (на высоте 10 м), аварийный выброс происходит на высоте 1,3 м, профиль ветра – неравномерный; скорость оседания капель воды – $0,01 \text{ м/с}$. Для защиты атмосферы от загрязнения осуществляется подача воды от вертолета на высоте 9 м, интенсивность подачи воды – 150 кг/сек , вода подается в течение промежутка времени (100...116 с).

На рис. 2...4 показана зона загрязнения атмосферы возле цистерн для различных направлений ветра.

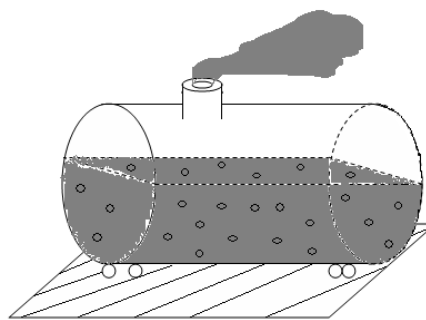


Рис. 1. Выход оксида фосфора из цистерны

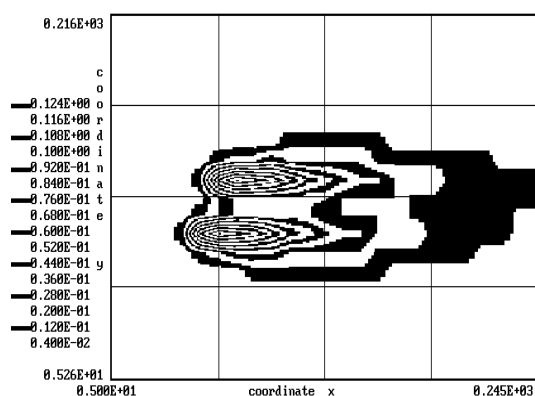


Рис. 2. Зона загрязнения атмосферы при выбросе оксида фосфора из двух цистерн $t = 70$ с (сечение $z = 9$ м), $\alpha = -45^\circ$

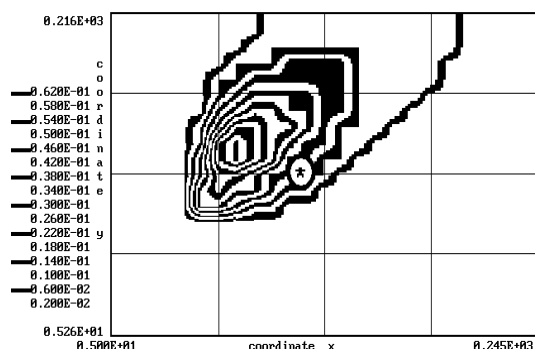


Рис. 3. Зона загрязнения атмосферы при выбросе оксида фосфора из двух цистерн $t = 70$ с (сечение $z = 9$ м), $\alpha = 45^\circ$, * – место сброса воды от вертолета

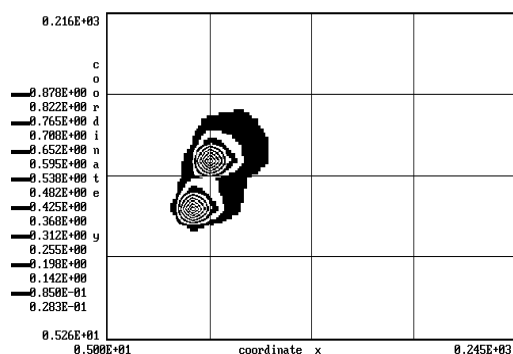


Рис. 4. Зона загрязнения атмосферы при выбросе оксида фосфора из двух цистерн $t = 70$ с (сечение $z = 1,3$ м), $\alpha = 45^\circ$

Из рис. 2, 3 отчетливо видно, как происходит переориентация зоны загрязнения при изменении направления ветра. Так при угле $\alpha = -45^\circ$ отчетливо выделяется две подзоны с высоким градиентом концентрации оксида фосфора, которые соответствуют положению двух железнодорожных цистерн. Однако, при угле $\alpha = 45^\circ$ эти две подзоны сливаются в одну зону загрязнения на высоте 9 м. На высоте 1,3

м (рис. 4) при данной ориентации ветра можно отчетливо видеть положение дымящихся цистерн. На последующих рисунках показана динамика изменения формы, размеров и интенсивности зоны загрязнения при подачи воды от вертолета. Как видно из рис. 5 в первые секунды после окончания подачи воды зона загрязнения резко уменьшается в размерах (отметим, что подача воды прекращается в момент времени $t = 116$ с). Однако, достаточно быстро зона загрязнения «восстанавливается» в прежних размерах. Это отчетливо видно из рис. 7, который необходимо сравнить с рис.3, где представлена зона загрязнения перед подачи воды с вертолета, т. е. одноразовая подача воды является не слишком эффективным способом защиты атмосферы от загрязнения.

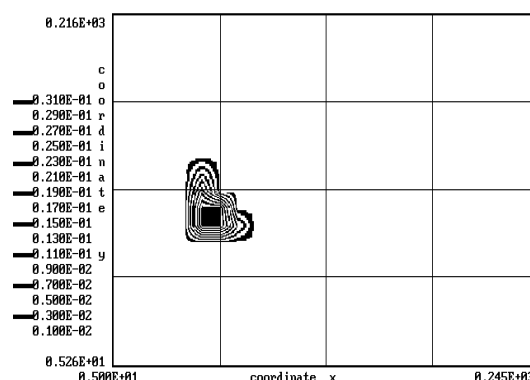


Рис. 5. Зона загрязнения атмосферы при выбросе оксида фосфора из двух цистерн $t = 120$ с (сечение $z = 9$ м), $\alpha = 45^\circ$ (после подачи воды)

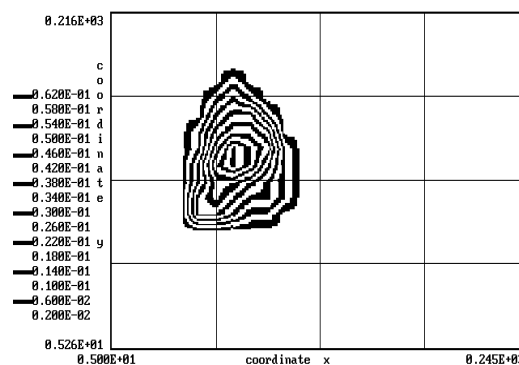


Рис. 6. Зона загрязнения атмосферы при выбросе оксида фосфора из двух цистерн $t = 160$ с (сечение $z = 9$ м), $\alpha = 45^\circ$ (после подачи воды)

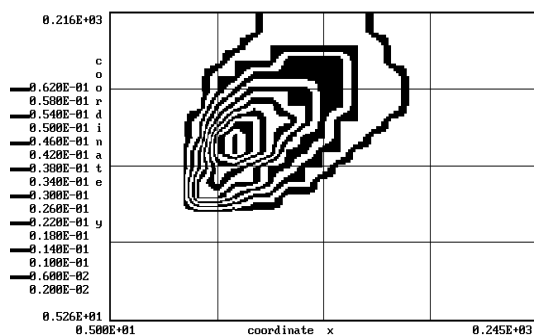


Рис. 7. Зона загрязнения атмосферы при выбросе оксида фосфора из двух цистерн $t = 200$ с (сечение $z = 9$ м), $\alpha = 45^\circ$ (после подачи воды)

Ниже представлены данные об интенсивности нейтрализации оксида фосфора при подачи воды:

$t = 120$ с	нейтрализовано 8,26 кг оксида фосфора
$t = 140$ с	нейтрализовано 12,41 кг оксида фосфора
$t = 160$ с	нейтрализовано 14,38 кг оксида фосфора
$t = 160$ с	нейтрализовано 15,49 кг оксида фосфора
$t = 200$ с	нейтрализовано 16,14 кг оксида фосфора
$t = 260$ с	нейтрализовано 16,45 кг оксида фосфора
$t = 280$ с	нейтрализовано 16,45 кг оксида фосфора

Из этой таблицы видно, что процесс нейтрализации закончился к моменту времени $t = 260$ с.

Выводы. В работе построена трехмерная численная модель расчета загрязнения воздушной среды в случае горения фосфора. Модель основывается на численном интегрировании уравнения переноса примеси в атмосфере. Разработанная модель позволяет выполнить расчет процесса нейтрализации оксида фосфора (продукт горения фосфора) путем подачи воды от вертолета. Модель дает возможность оперативно рассчитать эффективность процесса нейтрализации с учетом расположения дымящихся цистерн, места, интенсивности и режима подачи воды, метеоусловий. Расчет по предложенной модели требует около 5 с на получение прогнозной информации об уровне загрязнения атмосферы и эффективности организованного процесса нейтрализации. Для практической реализации модели необходима стандартная метеорологическая информация. Дальнейшее совершенствование модели необходимо проводить в направлении ее адаптации к моделированию процесса нейтрализации оксида фосфора с учетом рельефа местности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Котляревского В. А. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учебн. пособ. В 5-ти кн. / Под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева. - М.: АСК, 2001. - 200 с.
2. 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.
3. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - М.: Наука, 1982. - 320 с.
4. Методика прогнозування наслідків впливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. - К.: Наук. думка. 2001. - 33 с.

Поступила в редакцию 19.09.2007.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ИСПАРЕНИИ ЖИДКОСТИ ИЗ ГРУНТА

Розроблено тривимірну чисельну модель розрахунку процесу розповсюдження забруднюючих речовин на промйайданчику у разі аварійного розливу на ґрунт. Модель базується на чисельному інтегруванні рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки та на моделі течії невязкої нестислої речовини. Наводяться результати обчислювального експерименту щодо прогнозу рівня забруднення атмосфери.

Разработана трехмерная численная модель расчета процесса распространения загрязняющих веществ на промплощадке при аварийном разливе на ґрунт. Модель основывается на численном интегрировании уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси и на модели течения невязкой несжимаемой жидкости. Приводятся результаты вычислительного эксперимента по прогнозу уровня загрязнения атмосферы.

The 3D model to simulate the pollutant transfer near building after accidents was developed. The model is based on the transport gradient model and the model of inviscid incompressible fluid. The results of numerical experiments are presented.

Введение. На промышленных объектах, при авариях на транспорте часто происходят аварийные разливы, при которых жидкость (нередко, токсичное вещество) разливается на поверхность ґрунта и, вследствие ее фильтрации с поверхности земли, в ґрунте образуется зона, пропитанная жидкостью, глубиной h . При такой ситуации начинается процесс загрязнения атмосферы путем испарения жидкости из ґрунта. Актуальной задачей является прогнозирование интенсивности загрязнения атмосферы для данной аварийной ситуации. Решение этой задачи позволит, с одной стороны, получить научно-обоснованную информацию о динамике загрязнения атмосферы с целью прогнозирования величины экологического ущерба, а, с другой стороны, – может служить для эффективной организации защитных мероприятий, направленных на ликвидацию последствий аварийного разлива (например, с целью обоснования необходимого количества нейтрализатора для ликвидации остатков в ґрунте). При рассмотрении задач данного класса важной проблемой является расчет количества испаряющегося вещества из ґрунта. Необходимо отметить, что в настоящее время расчет этого количества Q осуществляется, как правило, на базе эмпирической модели [4]:

$$Q = (5,83 + 4,1V)P_n\sqrt{M},$$

где V – скорость ветра; P_n – давление насыщенных паров; M – молекулярная масса вещества.

Важно отметить, что данная зависимость была получена для случая испарения жидкости со свободной поверхности, но ввиду отсутствия модели, позволяющей учесть процесс испарения из ґрунта, эта же формула применяется на практике при оценке количества испарившегося вещества из ґрунта. Целью данной работы является разработка математической модели для моделирования процесса испарения жидкости из ґрунта с учетом тех основных физических факторов, которые влияют на данный процесс. Более конкретно – в работе рассматривается решение сопряженной задачи – «испарение из ґрунта + перенос паров загрязнителя в атмосфере», с учетом деформации зоны загрязнения в атмосфере, встречающей на своем пути препятствия – здания (рис. 1). С этой целью, к математической модели испарения жидкости из ґрунта добавляется математическая модель переноса паров загрязнителя, выделившихся из ґрунта, в атмосфере, с учетом зданий на пути миграции паров. Анализ научных публикаций, связанных в той или иной мере с рассматриваемой задачей, показал отсутствие научных разработок, посвященных решению данной задачи в той сложной постановке, которая рассматривается в данной работе, т. е. в формате «испарение из ґрунта + перенос паров загрязнителя в атмосфере с учетом влияния на этот перенос зданий».

Математическая модель испарения жидкости из ґрунта. Будем считать, что в результате аварийного разлива в ґрунте образовалась зона глубиной h , пропитанная жидкостью.

Вследствие испарения в грунте образуются две подзоны: подзона 1, где жидкость уже испарилась и подзона 2, где еще находится жидкость, попавшая в грунт после разлива (рис 2.). Будем считать, что процесс миграции паров испарившейся жидкости в подзоне 1 происходит вследствие диффузии. Для моделирования движения паров жидкости в пористой среде (подзона 1) будем использовать следующее уравнение диффузии:

$$n \frac{\partial C}{\partial t} = n_e \mu_1 \frac{\partial^2 C}{\partial z_0^2}, \quad (1)$$

где μ_1 – коэффициент диффузии паров в подзоне 1; C – концентрация паров в этой подзоне; z_0 – координата; n – объемная пористость грунта; t – время; n_e – поверхностная пористость.

Ось z_0 направлена вертикально вниз, величине $z_0 = 0$ соответствует положение поверхности земли, а величине $z_0 = h$ – глубина загрязнения грунта разлитой жидкостью. Граничные условия для данного уравнения имеют вид: на нижней границе (граница раздела подзоны 1 и подзоны 2) ставится условие $C = C_n$, где C_n – концентрация насыщенных паров разлитой жидкости при заданной температуре T_0 . Величина C_n рассчитывается по зависимости [5]:

$$C_n = \frac{16MP_n}{T},$$

где M – молекулярный вес вещества; P_n – давление насыщенных паров; T – температура.

На границе $z_0 = 0$ (граница раздела «грунт-атмосфера») ставится условие «идеального» диффузионного контакта. В качестве начального условия полагается что при $t = 0$, известна концентрация C_n в подзоне 1. Необходимо отметить, что в данной постановке решение уравнения (1) будет осуществляться в области с изменяющейся длиной подзоны 1, т. к. в процессе испарения длина подзоны 1 увеличивается, а длина подзоны 2 – уменьшается. Это, безусловно, усложняет решение задачи.

При практической реализации рассмотренной модели необходимо задать величину коэффициента диффузии паров загрязнителя в грунте. Безусловно, эта информация может быть получена только экспериментальным путем.

Для экспресс-прогноза можно воспользоваться моделью Поясова Н. П. [2]:

$$\mu_1 = \eta(\lambda - \lambda_0)\mu_0,$$

где η – коэффициент извилистости; λ – общая пористость; λ_0 – объем пор, не участвующих в процессе диффузии; μ_0 – коэффициент диффузии паров загрязнителя в атмосфере.

С другой стороны, при экспресс-прогнозе можно считать, что коэффициент μ_1 примерно в 3...5 раз меньше коэффициента μ_0 [2].

В дискретной модели зона разлива на грунт формируется с помощью маркеров, что дает возможность задавать любую форму этой зоны. Для расчета количества вещества, испарившегося от границы зоны z_0 (граница раздела «грунт-атмосфера») используется закон Фика:

$$Q = Sdt \frac{\partial C}{\partial z},$$

где S – площадь поверхности зоны разлива; dt – промежуток времени; z – вертикальная ось в системе декартовых координат x, y, z , которая применяется для моделирования процесса переноса паров в атмосфере после их «выхода» из грунта.

Необходимо отметить, что при расчете величины градиента концентрации в данной формуле необходимо учитывать, что концентрация загрязняющего вещества над поверхностью зоны разлива изменяется вследствие воздействия воздушного потока.

Для численного интегрирования уравнения (1) будем использовать неявную схему условной аппроксимации [5]. В этой схеме на каждом шаге расщепления расчет неизвестной величины C осуществляется по явной схеме бегущего счета.

Математическая модель миграции паров загрязнителя в атмосфере. Для расчета процесса загрязнения атмосферы при миграции в ней паров жидкости, выделившихся вследствие испарения жидкости из грунта, и в условиях застройки будем использовать трехмерное уравнение миграции примеси (модель градиентного типа) [2–4]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)C}{\partial z} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \end{aligned}$$

$$+\frac{\partial}{\partial z}\left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z}\right)+\sum Q_i(t)\delta(r-r_i), \quad (2)$$

где C – концентрация паров загрязняющего вещества; u, v, w – компоненты вектора скорости воздушной среды; w_s – скорость оседания примеси; $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коэффициент турбулентной диффузии; Q – интенсивность выброса токсичного вещества (интенсивность испарения от зоны разлива); $\delta(r-r_i)$ – дельта-функция Дирака; $r_i = (x_i, y_i, z_i)$ – координаты источника выброса.

Для расчета поля скорости воздушного потока на промплощадке делается допущение, что движение воздушной среды – потенциальное, тогда компоненты скорости воздушной среды определяются соотношениями:

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

где P – потенциал.

Уравнение для определения потенциала имеет вид:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0 \quad (3)$$

Постановка краевых условий для уравнения (2) рассмотрена в работе [3]. Для уравнения (3) 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:

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

(условие Дирихле).

Процессами теплообмена будем пренебрегать.

В разработанной численной модели используется неравномерный профиль скорости ветра и вертикального коэффициента диффузии:

$$u = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^n, \quad \mu_z = k_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^m,$$

где u_1 – скорость ветра на высоте z_1 ; $k_1 = 0,2$; $n = 0,16$; $m \approx 1$.

Метод решения. Численное интегрирование уравнения (2) осуществляется с использованием неявной попеременно-треугольной разностной схемы расщепления [3]. Особенностью данной разностной схемы является то, что при решении уравнения (2) расчет разбивается на четыре шага. На каждом шаге расщепления строится неявная разностная схема. Однако, определение неизвестного значения концентрации токсичного вещества определяется по явной формуле бегущего счета.

Для численного интегрирования уравнения (3) 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 τ – фиктивное время.

Численное интегрирование данного уравнения проводится с использованием неявной разностной схемы условной аппроксимации. В разработанном пакете программ осуществляется также численное интегрирование уравнения (3) с помощью метода Либмана и метода условной аппроксимации. Расчет поля потенциала проводится одновременно с использованием указанным методов с целью контроля результатов расчета.

Практическая реализация. Рассмотрим применение разработанной численной модели для решения задачи о загрязнении атмосферы на промышленной площадке, где произошел аварийный разлив нитробензола на грунт, в результате чего началось загрязнение атмосферы испарением нитробензола из грунта (рис. 1).

Рассматривается следующая постановка задачи. Размеры расчетной области $60 \times 60 \times 30$ м; скорость ветра 5,5 м/с (на высоте 10 м). Профиль ветра – неравномерный; вертикальный коэффициент диффузии изменяется с высотой. Площадь зоны разлива составляет 50 м^2 ; глубина смачивания грунта нитробензолом – 0,35 м. Температура воздуха 20°C ; принимаем, что такая же температура у разлитого нитробензола. На площадке расположено 2 здания: одно здание прямоугольной формы, а другое здание Г-образной формы (рис. 1.), высотой 7,5 м. Объемная пористость грунта – 0,2; коэффициент

диффузии паров принимается равным $\mu_1 = 0,005 \text{ м}^2/\text{с}$.

При испарении нитробензола на промплощадке будет происходить загрязнение атмосферы, т. к. над зоной разлива будет формироваться шлейф. На первом этапе вычислительного эксперимента определялось количество загрязнителя, испарившегося от зоны разлива:

$t = 50 \text{ с}$	$G = 8,7 \text{ г}$
$t = 70 \text{ с}$	$G = 12,1 \text{ г}$
$t = 100 \text{ с}$	$G = 17,4 \text{ г}$
$t = 120 \text{ с}$	$G = 20,8 \text{ г}$
$t = 4960 \text{ с}$	$G = 863,2 \text{ г}$
$t = 29760 \text{ с}$	$G = 5182,3 \text{ г}$

В данной работе была решена задача о прогнозе экологической безопасности маршрута эвакуации людей из здания. На рис. 1 штриховой линией показан этот маршрут: он начинается из фасада первого здания и проходит вдоль промышленной площадки. Длина маршрута – 80 м. Ставится задача оценки токсичного поражения людей при их перемещении по этому маршруту, если они покидают здание через 30 с после аварии (полагается, что за это время люди спустятся с соответствующих этажей и выйдут из рабочих зон на площадку). Для прогноза токсичного поражения осуществляется расчет величины токсодозы:

$$TD = \int_0^t C dt,$$

где C – концентрация токсичного газа в точке расположения рецептора (человека) на маршруте эвакуации; t – время.

Сложность решения данной задачи состоит в том, что данная концентрация C изменяется с течением времени ввиду миграции шлейфа, а, с другой стороны, происходит перемещение людей по маршруту эвакуации, т. е. $C = f(x, y, z, t)$.

Перейдем к рассмотрению результатов проведенного вычислительного эксперимента. Рассмотрим сначала вопрос о токсичном поражении людей при их эвакуации. Будем считать, что персонал передвигается по маршруту эвакуации со скоростью 2 м/с.

Динамика изменения величины токсодозы для рассматриваемого сценария выглядит следующим образом:

$t = 50 \text{ с}$	$TD = 0,00097 \text{ мг·мин/л}$
$t = 70 \text{ с}$	$TD = 0,0012 \text{ мг·мин/л}$
$t = 100 \text{ с}$	$TD = 0,0015 \text{ мг·мин/л}$
$t = 120 \text{ с}$	$TD = 0,017 \text{ мг·мин/л}$

Полученные расчетные данные дают возможность прогнозировать степень токсичного поражения людей в случае возможной аварии на объекте и, тем самым, оценить безопасность принятого маршрута эвакуации.

На последующих рисунках представлена динамика загрязнения воздушной среды на промплощадке после аварии. На рис. 3-5 отчетливо видно как шлейф, формирующийся над зоной разлива, огибает промышленные здания. Из этих рисунков также видно, что при этом произойдет попадание загрязняющего вещества через окна и вентиляционные отверстия в помещения. На рис. 6 показано как загрязняющее вещество «обходит» здания сбоку и полностью «накрывает» маршрут эвакуации, проходящий возле зданий (зона А, см. также рис. 1). На рис. 7 показана зона загрязнения, формирующаяся на промплощадке при разливе на грунт, но уже в другом месте – между зданиями. Из этого рисунка хорошо видно, что формирующийся шлейф также накроет часть маршрута эвакуации.

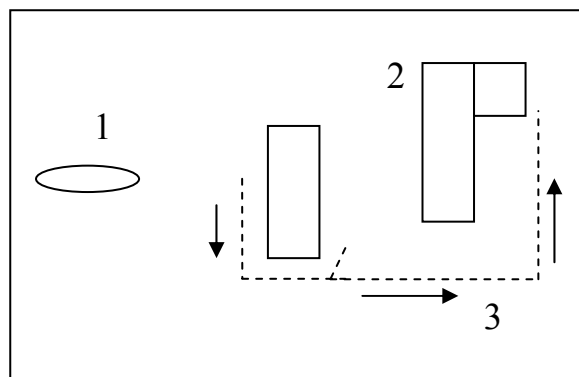


Рис. 1. Схема размещения объектов (план):
1 – зона разлива (на грунт); 2 – здание;
3 – маршрут эвакуации людей

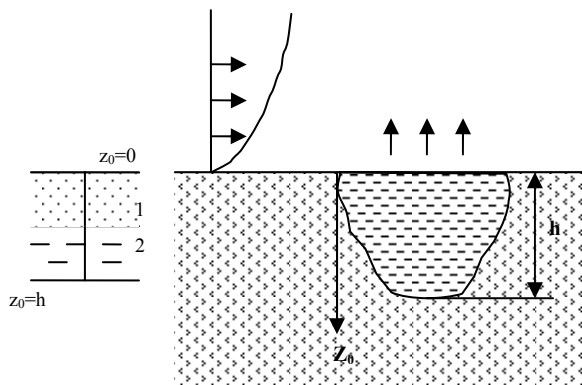


Рис. 2. Схема зоны загрязнения грунта

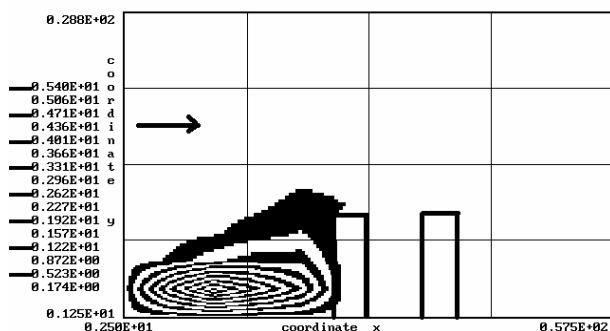


Рис. 3. Зона загрязнения для момента времени $t = 10$ с (сечение $y = 60$ м)

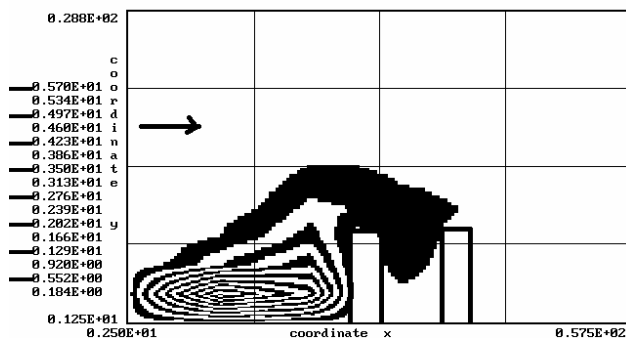


Рис. 4. Зона загрязнения для момента времени $t = 20$ с (сечение $y = 60$ м)

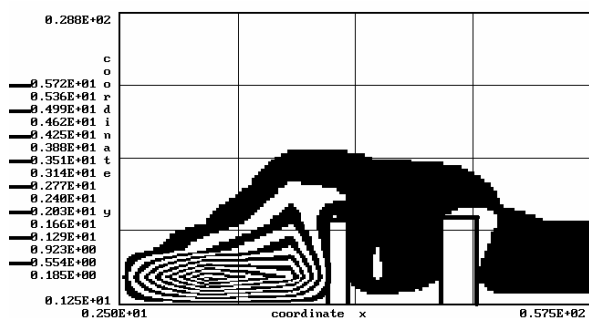


Рис. 5. Зона загрязнения для момента времени $t = 40$ с (сечение $y = 60$ м)

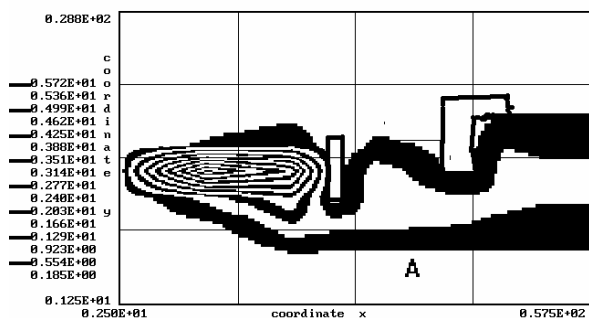


Рис. 6. Зона загрязнения для момента времени $t = 60$ с (сечение $z = 10$ м)

Отметим, для решения каждой задачи требуется около 10 с машинного времени ПК.

Выводы. В работе разработана трехмерная численная модель, на основе которой построен

метод расчета динамики загрязнения воздушной среды на промплощадках при испарении жидкости из грунта.

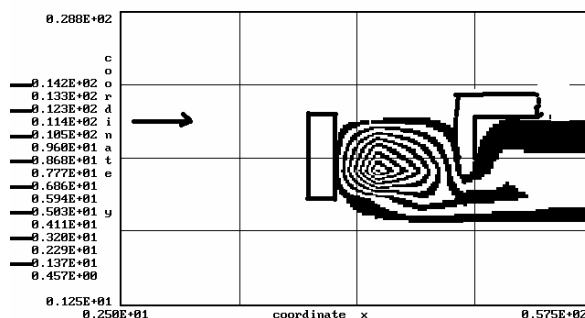


Рис. 7. Зона загрязнения для момента времени $t = 180$ с (сечение $z = 10$ м)

Данная модель обладает рядом важных возможностей, необходимых для проектировщика: возможность учета влияния зданий (их формы, различного расположения) на процесс переноса загрязняющих веществ; возможность моделирования различной формы зоны разлива. Предложенная модель позволила впервые решить важную задачу в области экологической безопасности – прогноз степени безопасности маршрутов эвакуации людей на предприятиях в случае аварий, сопровождающихся химическим загрязнением атмосферы. Проведенный вычислительный эксперимент показал эффективность модели для практики. Дальнейшее развитие данной модели должно быть направлено на создание численной модели для расчета рассеивания тяжелых газов в условиях застройки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие в 5-ти книгах / Под редакцией В. А. Котляревского и А. В. Забегаева). – М.: Из-во АСВ, 2001 – 200 с.
2. Голубев В. С., Гарибянц А. А. Гетерогенные процессы геохимической миграции. – М.: Недра, 1984 – 262 с.
3. 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. Мацак В. Г., Хоцянов Л. К. Гигиеническое значение скорости испарения и давления пара токсических веществ, применяемых в производстве. – М.: Медгиз, 1959 – 231 с.
6. Самарский А. А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1983 – 616 с.

Поступила в редколлегию 25.09.07.

Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО (ДИИТ),
Р. Г. ГАПОНОВА, Т. М. ПУСТОВАРОВА, М. В. БЕЛОНОЖКО (ДМЕТАУ)

ЭМИССИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В САНИТАРНОЙ ЗОНЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ Г. ДНЕПРОПЕТРОВСКА

Проведен анализ аккумуляции тяжелых металлов и их промышленных концентратов в почвах, воде и растениях в пределах санитарных зон крупных промышленных предприятий г. Днепропетровска. Дана оценка экологической обстановке в прилегающих жилых районах.

Проведено аналіз аккумуляції важких металлів та їх промислових концентратів у ґрунтах, воді та рослинах у границях санітарних зон великих промислових підприємств м. Дніпропетровська. Надана оцінка екологічній ситуації у прилеглих житлових районах.

The analysis of accumulation of heavy metals and their industrial concentrates in soils, water and plants is spent within the limits of sanitary zones of the large industrial plants of Dnepropetrovsk. The estimation to ecological conditions in residential areas is given.

Экологическая обстановка в Днепропетровске осложняется наличием в непосредственной близости от него таких крупных промышленных центров как Днепродзержинск 45 км, металлургическая и химическая промышленность; Верхнеднепровск 73 км, металлургическая промышленность; Кривой Рог 151 км, горнодобывающая и металлургическая промышленность.

Основными предприятиями-загрязнителями Днепропетровска являются:

1. Приднепровская ТЭС – 106075 т/год.
2. Завод им. Петровского – 10792,7 т/год.
3. АО Нижнеднепровский трубопрокатный завод 6502,4 т/год.
4. АО «Днепротяжмаш» – 814,2 т/год.
5. КХЗ им. Калинина 3086,6 т/год.
6. ПО ЮМЗ 2488,2 т/год.
7. АО «Днепрошина» – 1963 т/год.

На эти предприятия приходится более 95 % суммарного загрязнения воздушного бассейна города.

Техногенное накопление тяжелых металлов в почве, смываемые ливневыми стоками попадает в подземные воды, насыщая химическими элементами водные объекты. Вокруг промышленных предприятий формируются аномальные зоны техногенного происхождения. Особенно остро выглядит ситуация с загрязнением воздушного бассейна, влекущая за собой резкое увеличение заболеваемости среди населения.

Неблагоприятное состояние атмосферы улучшают многочисленные зеленые насаждения и парки, которые занимают около 30 % от общей площади города.

Нами определялось накопление тяжелых металлов и их промышленные концентраты в почве и листе (вода – почва – растения) в санитарной зоне завода им. Петровского. В конце

вегетационного периода тяжелые металлы в подвижных формах попадают в кроны деревьев и накапливаются в листе.

На атомно-адсорбционном спектрометре, (метод сухой минерализации) проводилось исследования листы собранной в начале вегетационного периода и в конце его (глубокая осень).

Согласно данным табл. 1 количество тяжелых металлов существенно увеличилось за вегетационный период, наибольшее накопление тяжелых металлов (Fe, Pb, Cd и других) указывает на стойкую сформировавшуюся техногенную среду с поливалентной составляющей (воздух – вода – почва – растение).

Биоиндикационные исследования также позволили сделать заключение: накопление большого количества железа вызвало потемнение листовой пластинки в конце вегетационного периода. Определение изменения длины, ширины и площади листовых пластинок (расчет вариационных рядов), а так же некротических пятен в листе ивы, акации (до 35 % её поверхности), указывает на сильно загрязненную воздушную среду в районе завода им. Петровского. Контролем служил парк имени Шевченко, где на подобных видах деревьев листья были повреждены лишь в 10 % анализируемых образцов.

Исследования содержания нитратного азота в районе завода, указало на то, что его концентрации ниже на 20 %, это указывает на ингибирование процессов нитрификации и азотофикации. Количество микроорганизмов в почве (бактериологические исследования) было снижено на 40 %. Санитарное число Хлебникова составило в загрязненной зоне 0,75 вместо 1 (единицы), что так же указывает на формирование техногенной зоны.

Нами также были проведены исследования

санитарной зоны завода ЮМЗ, где выбросы составляют 2488 т/год.

Изучалась сезонная динамика изменения морфологических характеристик вегетативных органов тополя пирамидального, каштана конского в условиях промышленных загрязнений

(длина черенка, длина оттяжки, ширина и площадь листовой пластинки в зависимости от степени накопления тяжелых металлов в зеленой массе листы). Пробы брались параллельно с одних и тех же видов растений в парке им. Шевченко и в техногенной зоне ЮМЗ.

Таблица 1

Металлы	Начало вегетационного периода, мг/кг	Конец вегетационного периода, мг/кг	Способ определения
Pb	5,1323	5,6429	Сухая минерализация + перезэкстракция пламенная АА
Cd	0,1080	0,1696	Сухая минерализация + перезэкстракция пламенная АА
Cu	5,792	13,183	Сухая минерализация пламенная АА
Zn	20,417	22,083	Сухая минерализация пламенная АА
Hg	<0,0001	<0,0001	Автоклавная минерализация беспламенная АА (генерация гидридов)
Fe	4180,17	4790,42	Автоклавная минерализация пламенная АА
As	4,794	5,030	Сухая минерализация пламенная АА

Таблица 2

Металлы	Парк им. Шевченко	Завод ЮМЗ	
		Начало вегетационного периода, мг/кг	Конец вегетационного периода, мг/кг
Pb	3,0175	3,8613	5,1688
Cd	0,0288	0,0388	0,0544
Cu	4,015	5,585	8,391
Zn	7,438	10,375	21,500
Hg	0,0361	0,0393	0,0450
Fe	94,500	229,000	700,157
As	0,166	0,2290	0,3045

Нами определялся коэффициент биологического накопления тяжелых металлов в листе по отношению к их содержанию в почве.

Как видно из табл. 2 за 3,5 месяца вегетационного периода существенно возросло удельное содержание (Pb, Zn, Cu и Fe) в листе, что связано с формированием техногенной зоны и накоплением этих элементов в почве по сравнению с условно чистыми территориями (парк). Барьерными оказались тополь и каштан, которые накапливали Pb, Zn, Cu и Fe в количествах, во много раз превышающих их фоновые концентрации. Отметим, что содержание Cu и Zn могло увеличиться вследствие важной биохимической роли этих элементов и выполнения ими определенных жизненно важных функций, что нельзя сказать о Pb и Fe. Фитопатологические повреждения (необратимые изменения и усыхание ветвей до 30...40 %, деформация), могут быть также связаны с изменениями pH почвы и недостатком влаги, но факт полива-

лентной составляющей и биогеохимические аномалии свидетельствуют о техногенном факторе на территории завода ЮМЗ.

Проведенный сравнительный анализ данных биоиндикации в санитарных зонах крупнейших промышленных объектов г. Днепропетровска свидетельствует о значительном влиянии техпроцессов на окружающую среду и может быть использован для разработки новых мероприятий по защите окружающей среды и их тестирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Экология города: Учеб. / Под ред. Ф. Я. Стольберг. – К.: Либра, 2000. 464 с.
2. Джигирей В. С. Основи екології та охорони навколишнього природного середовища (Екологія та охорона природи): Підручник, видання третє, доповнене. В. С. Джигирей, В. М. Сторожук, Р. А. Яцюк. – Львів: Афіша, 2001. 272 с.
3. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього середовища. – К.: Знання, 2001. 204 с.

Поступила в редколлегию 25.09.07.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

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

Разработана численная модель расчета защиты подземных вод от загрязнения путем использования нейтрализующего раствора. Модель основывается на решении двухмерных уравнений фильтрации и геомиграции. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

A numerical model to calculate the process of ground waters protection from pollution with the use of neutralizator has been proposed. The model is based on the 2-D equations of filtration and admixture transfer. Results of numerical experiment are presented.

Защита безнапорных, первых от поверхности земли, водоносных горизонтов – задача большой важности в области экологической безопасности, т.к. эти горизонты наиболее подвержены техногенному загрязнению, и в частности, при аварийных разливах. С другой стороны, данные горизонты часто используются для водоснабжения в сельской местности. Поэтому совершенствование методов защиты грунтовых вод актуальная задача. Одним из методов защиты является подача в загрязненный водоносный горизонт нейтрализатора (рис. 1).

Обзор научных публикаций, посвященных данному вопросу [1; 3; 5; 6] показал, что отсутствуют расчетные методики, которые можно было бы применить для расчета данного процесса и его оптимизации.

Целью настоящей работы явилось создание эффективной методики экспресс-расчета процесса нейтрализации загрязнителя в подземном водоносном горизонте. Методика расчета базируется на создании численной модели изучаемого процесса.

Разработанная методика расчета адаптирована для решения прикладных задач, поэтому при применении методики используется стандартная гидрогеологическая информация, кроме этого пользователь получает прогнозную информацию в виде, удобном для оперативного анализа и принятия инженерного решения.

Математическая модель. Процесс миграции загрязняющего вещества в подземном потоке и нейтрализатора, который подается в поток за счет его фильтрации через зону аэрации или через систему перфорированных труб описывается уравнением [2; 4]:

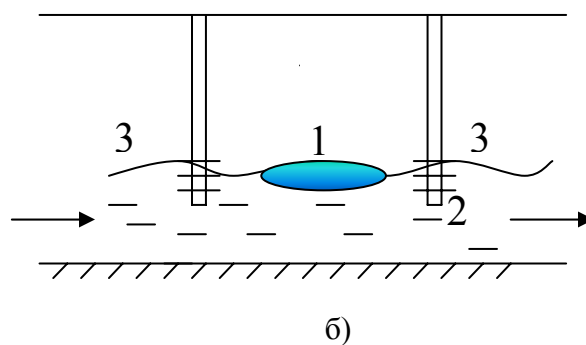
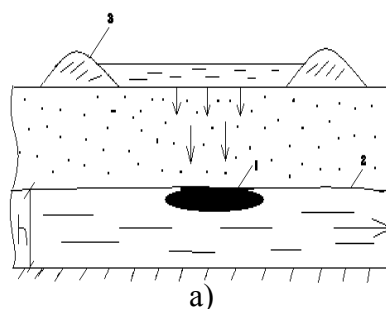


Рис. 1. Схема подачи нейтрализатора в подземный поток: а) путем подачи нейтрализатора на поверхность грунта с последующей его фильтрацией через зоны аэрации; б) путем подачи нейтрализатора через перфорированные трубы (скважины); 1 – зона загрязнения в подземном потоке; 2 – подземный водоносный горизонт; 3 – подача нейтрализатора

$$n \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \sum W C \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (1)$$

где C – концентрация загрязняющего вещества в подземном потоке (нейтрализатора); W – интен-

сивность поступления нейтрализатора в подземный поток; $\delta(x - x_i)$, $\delta(y - y_i)$ – дельта-функция Дирака; u, v – компоненты вектора скорости; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициент диффузии.

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

Метод решения. Расчет уравнения геомиграции реализуется на прямоугольной разностной сетке.

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

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

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

где

$$\begin{aligned}u^+ &= \frac{u + |u|}{2}; \quad u^- = \frac{u - |u|}{2}; \\ v^+ &= \frac{v + |v|}{2}; \quad v^- = \frac{v - |v|}{2}.\end{aligned}$$

Следуя работе [2], компоненты скорости потока u будем задавать на вертикальных гранях разностной ячейки, а компоненты скорости v – на горизонтальных гранях. Вторые производные аппроксимируем так:

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

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

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

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

В используемых выражениях L_x^+ , L_x^- , L_y^+ , L_y^- , M_{xx}^+ , M_{xx}^- , M_{yy}^+ , M_{yy}^- – обозначения разностных операторов.

С учетом этих обозначений разностный аналог уравнения (2) будет иметь вид:

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

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

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k =$$

$$= \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k).$$

В данные разностные соотношения входит «возмущенный» коэффициент диффузии $\tilde{\mu}$ [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.

Практическая реализация. Практическое применение разработанной модели рассмотрено на следующем примере.

Произошёл аварийный разлив серной кислоты, в результате которого в подземном потоке образовалась зона загрязнения. Зона загрязнения подземных вод имеет в плане сложную форму (рис. 2), с характерными размерами: максимальная длина – 12 м, максимальная ширина – 4,5 м, минимальная ширина – 3 м. Среднее значение концентрации загрязнителя составляет 50 кг/м^3 . Гидрологические параметры потока таковы: поверхностная пористость – 0,3; скорость фильтрации подземного потока – $V = 0,15 \text{ м/сут}$; направление потока $\alpha = 45^\circ$; $\sigma = 0$; средняя глубина потока – 7 м; $\mu = 0,01V$. Размеры расчетной области $50 \times 32 \text{ м}$. Для ликвидации зоны загрязнения в подземном потоке принято решение о подачи нейтрализующего раствора Na_2CO_3 . Нейтрализатор может подаваться в подземный поток путем фильтрации его с поверхности земли через зону аэрации или через систему перфорированных труб.

Рассматриваются следующие сценарии ликвидации зоны загрязнения в подземном потоке:

Вариант 1. Зона подачи нейтрализатора имеет в плане форму квадрата (рис. 4, зона А) размером $6 \times 6 \text{ м}$; интенсивность подачи нейтрализатора составляет $q = 333 \text{ кг/м}^2/\text{сут}$.

Вариант 2. Параметры данного сценария аналогичны варианту 1, но интенсивность подачи нейтрализатора увеличилась и составляет $q = 1666 \text{ кг/м}^2/\text{сут}$.

Вариант 3. Зона подачи нейтрализатора имеет форму прямоугольника (рис. 4, зона А) размером $6 \times 4,5 \text{ м}$; интенсивность подачи нейтрализатора составляет $q = 1666 \text{ кг/м}^2/\text{сут}$, однако зона подачи нейтрализатора смещена от области загрязнения в сторону, т. е. данный вариант моделирует «неудачное» расположение зоны подачи.

Вариант 4. Зона подачи нейтрализатора аналогична варианту 3; интенсивность подачи нейтрализатора составляет $q = 1666 \text{ кг/м}^2/\text{сут}$, однако подача нейтрализатора осуществляется только на временном интервале $[0,1 - 1 \text{ сут}]$, т. е. примерно 21 час.

Динамика загрязнения подземного потока показана на рис. 3, 4. Видно, что к моменту времени $t = 2 \text{ сут}$ произошло вытягивание зоны загрязнения в направлении движения фильтрационного потока и частичное ее расширение.

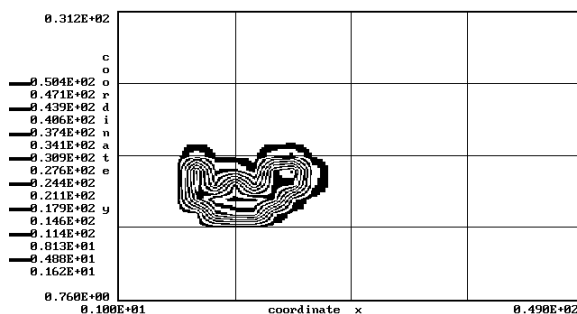


Рис. 2. Зона загрязнения подземного потока для момента времени $t = 1 \text{ сут}$

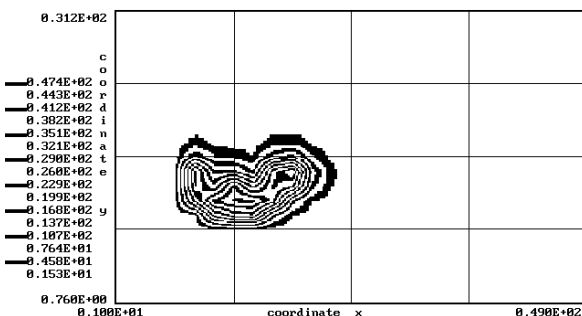


Рис. 3. Зона загрязнения подземного потока для момента времени $t = 2 \text{ сут}$

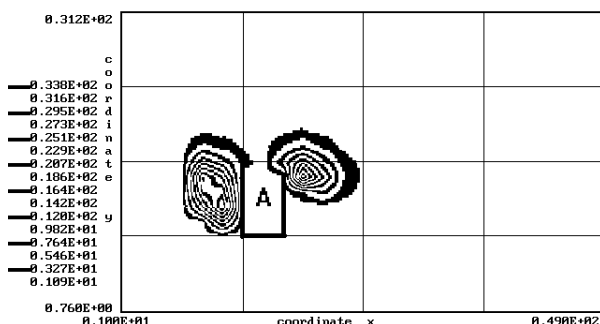


Рис. 4. Зона загрязнения подземного потока (вариант 1: время $t = 3 \text{ сут}$)

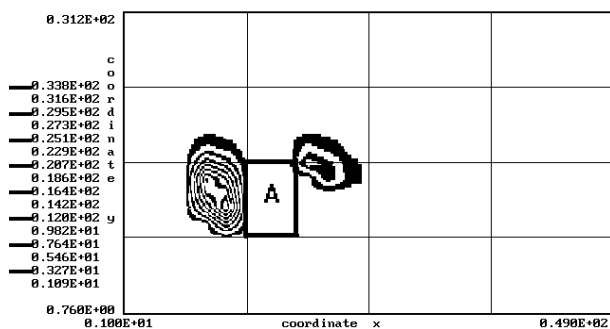


Рис. 5. Зона загрязнения подземного потока после подачи нейтрализатора (вариант 2: время $t = 3$ сут)

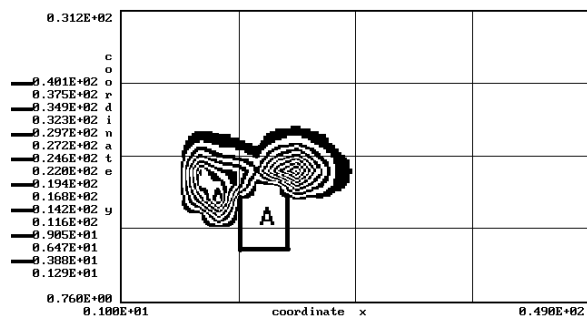


Рис. 6. Зона загрязнения подземного потока после подачи нейтрализатора (вариант 3: время $t = 3$ сут)

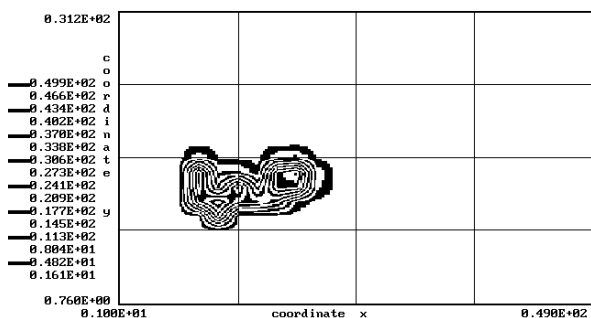


Рис. 7. Зона загрязнения подземного потока после подачи нейтрализатора (вариант 4: время $t = 1$ сут)

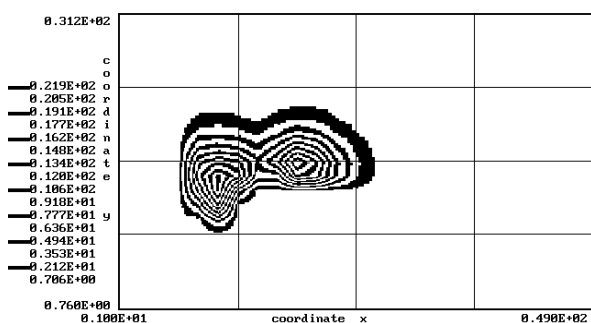
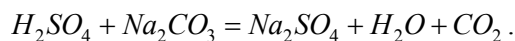


Рис. 8. Зона загрязнения подземного потока после подачи нейтрализатора (вариант 4: время $t = 6$ сут)

Теперь перейдём к рассмотрению результатов моделирования процесса ликвидации зоны загрязнения, образовавшейся в подземном по-

токе. В момент времени $t = 0$ началось поступление в подземный поток раствора соды. Процесс взаимодействия кислоты и нейтрализатора описывается следующим уравнением кинетики:



Об эффективности ликвидации зоны загрязнения будем судить о площади оставшейся зоны загрязнения после обработки (на рисунках эта область показана темным цветом).

Из рис. 4, 5 видно, что увеличение интенсивности подачи нейтрализатора на обрабатываемый участок привело к расширению зоны, где ликвидирован загрязнитель. Хорошо видно, что при выбранной схеме подачи нейтрализатора исходная зона загрязнения разбивается на две части. Для третьего варианта (рис. 6) такое разбиение зоны на две части, для сходственного момента времени $t = 3$ сут не произошло, что объясняется неудачным выбором местоположения обрабатываемого участка. Как видно из рис. 7, 8, в случае подачи нейтрализатора только в течении 20 часов и при «неудачном» расположении зоны обработки (вариант 4) практически не произойдет заметной нейтрализации исходной зоны загрязнения. Эта зона продолжает дальше развиваться и загрязнять подземный поток. Таким образом, разработанная модель позволяет для реальной аварийной ситуации осуществить прогноз возможного уровня загрязнения ВГ и выбрать оптимальную схему и интенсивность подачи нейтрализатора для ликвидации зоны загрязнения.

На втором этапе был проведен физический эксперимент по моделированию процесса нейтрализации зоны загрязнения в грунте после разлива 10 % раствора серной кислоты. Для нейтрализации использовался 10 % раствор щелочи. В процессе взаимодействия образовывался газ, то есть имело место многофазная фильтрация. В качестве грунта использовался крупнозернистый песок. Процесс нейтрализации фиксировался с помощью видеокамеры. На рис. 9, 10. представлены фотографии соответствующие различным моментом времени процесса нейтрализации. На фотографиях отдельно выделены зоны, где происходит выделение газа.



Рис. 9. Зона загрязнения грунта $t = 2$ с



Рис. 10. Зона загрязнения грунта $t = 8$ с

Проведенные эксперименты показали возможность применения модели фильтрации однофазного потока для расчета процесса нейтрализации загрязненных кислотой участков, но с применением «обобщенного» коэффициента фильтрации, который меньше по величине, чем коэффициент фильтрации грунта.

Выводы. Разработана численная модель на основе которой создан метод расчета процесса ликвидации зоны загрязнения, образовавшейся в безнапорном подземном потоке за счет применения подачи нейтрализатора. Для реализации

предложенного метода используется стандартная гидрогеологическая информация. Метод хорошо приспособлен для практических расчетов, требует около 5 с машинного времени на решение одного варианта задачи. Модель может быть использована для обоснования принятых инженерных решений по защите подземных вод. Дальнейшее совершенствование метода следует осуществлять в направлении 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 редколлегия 25.09.2007.

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ КОМУТАЦІЇ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ

У статті показано вплив зміни повітряних зазорів під додатковими полюсами на положення середньої лінії зони безіскрової роботи. Запропоновано спосіб прогнозування положення середньої лінії зони безіскрової роботи залежно від відхилень геометричних параметрів магнітного кола додаткових полюсів.

В статье показано влияние изменения воздушных зазоров под дополнительными полюсами на положение средней линии зоны безыскровой работы. Предложен способ прогнозирования положения средней линии зоны безыскровой работы в зависимости от отклонений геометрических параметров магнитной цепи добавочных полюсов.

Influence of the change air clearance under additional pole on position of the centerline of the area of without sparks work are shown in article. The way of the forecasting of the position to centerline of the zone безіскрової work depending on deflections geometric parameter magnetic chain additional pole are offered.

При проведенні кваліфікаційних і періодичних випробувань тягових електричних машин у них визначають зону найкращої комутації шляхом зміни струму в обмотці додаткових полюсів. Ця зона дозволяє оцінити комутаційні можливості машини та настроїти додаткові полюси (ДП), змінюючи або число витків їхньої обмотки, або значення повітряних зазорів [1]. Умовимось називати «першим» повітряний зазор між наконечником додаткового полюса і якорем, а «другим» – діаманітну прокладку між сердечником додаткового полюса та остовом машини. При таких змінах параметрів додаткових полюсів змінюється індукція B_k в зоні комутації, комутаційна ЕРС e_k , що дозволяє максимально наблизитися до умов безіскрової комутації, коли комутаційна ЕРС дорівнює і протилежно спрямована стосовно реактивного ЕРС e_p , тобто виконується рівність $e_k = e_p$.

Таким чином, змінюючи ЕРС додаткових полюсів, визначають зону безіскрової роботи. В обидва боки за межами цієї зони безіскрова робота машини виявляється неможливою.

Положення середньої лінії, що лежить між верхньою та нижньою границями безіскрової зони, які отримані позитивним і негативним підживленнями обмотки додаткових полюсів, характеризують якість виконання цих полюсів. Ідеальним є збіг середньої лінії з віссю абсцис.

Аналізуючи виробничі відхилення від креслярських розмірів, у припустимих або неприпустимих межах, можна помітити, що вони спричиняють зміни МРС додаткових полюсів та індукції B_k . Останнє, в свою чергу, приводить до зміни положення середньої лінії безіскрової зо-

ни, сильне відхилення якої від осі абсцис збільшує комутаційну напруженість машини.

Як відомо, на процес комутації великий вплив роблять МРС якоря, компенсаційної обмотки та головних полюсів, магнітний потік яких за певних умов може проникати в зону комутації [1]. Поряд з іншими факторами, останнє можливо в результаті технологічних і виробничих відхилень у розмірах деталей при виготовленні і ремонті тягових двигунів. Тому, становить інтерес виявити вплив таких відхилень на положення середньої лінії зони безіскрової роботи.

Вплив повітряних зазорів під ДП на середню лінію безіскрової роботи машини визначається формулою, запропонованою В.Т. Касьяновим [2], по якій новий повітряний зазор може бути визначений як:

$$\delta_{\text{нов}} = \frac{\delta}{1 + \frac{\Delta I}{I_a} \cdot \frac{\Theta}{\Theta - 1}} \quad (1)$$

де I_a – струм навантаження, для якого потрібно відрегулювати додаткові полюси; ΔI – відповідному цьому струму відхилення середньої лінії області безіскрової роботи від осі абсцис; δ – колишнє значення повітряного зазору; Θ – відношення МРС додаткових полюсів і компенсаційної обмотки до МРС реакції якоря, що дорівнює:

$$\Theta = \frac{2p(w_{\text{дп}} + w_{\text{ко}})I}{\frac{N}{4a} \cdot I \cdot a_d} = \frac{8pa(w_{\text{дп}} + w_{\text{ко}})}{N \cdot a_d} \quad (2)$$

У вираженні (2) p і a відповідно числа пар паралельних галузей і обмотки якоря; $w_{\text{дп}}$ і $w_{\text{ко}}$ – числа витків додаткових полюсів і компенсаційної обмотки; N – число провідників якоря; $a_{\text{д}}$ – число паралельних гілок обмотки ДП. У досліджуваних нами тягових двигунах завжди $a_{\text{д}} = 1$.

Варто відзначити, що формула (2) дає правильний результат тільки при відносно невеликих змінах зазору, приблизно на $\pm 20\%$. Однак, як показали випробування деяких тягових двигунів, формула (2) має деякі розбіжності з отриманими даними.

Як відомо, повітряний зазор під ДП містить у собі «перший» повітряний зазор між ДП та якорем, і «другий» повітряний зазор між ДП і станиною. Оскільки в другому повітряному зазорі має місце велике падіння МРС, а також у ньому замикаються лінії розсіювання потоку ДП, то дію «другого» повітряного зазору можна вважати вдвічі більш сильнішою, ніж дію «першого» зазору.

Звідси

$$\delta = \delta_1 + 2 \cdot \delta_2. \quad (3)$$

В результаті наявних відхилень розмірних ділянок магнітного кола ДП, коефіцієнт, що враховує значення цих відхилень на зміну фактичного повітряного зазору під ДП

$$K_{\delta} = 1 \pm \sigma_{\delta}, \quad (4)$$

де σ_{δ} – відносне відхилення повітряного зазору через виробничі допуски.

Отже, загальний вид формули, що показує залежність середньої лінії безіскрової роботи від впливу відхилень параметрів геометричних розмірів магнітного кола ДП, має вигляд:

$$\Delta I = (\delta \cdot K_{\delta} - \delta) \cdot \frac{I_{\text{я}}}{\delta \cdot K_{\delta}} \cdot \frac{\Theta - 1}{\Theta} \cdot K_I \quad (5)$$

Присутній у формулі (5) емпіричний коефіцієнт K_I , враховує вплив різних факторів на зміну значень ΔI . Аналіз результатів експериментів тягових двигунів показав, що, з достатнім ступенем точності, можна прийняти $K_I = 0,6$. На підставі викладеного простежимо, яким же чином виробничі відхилення вплинуть на положення середньої лінії зони безіскрової роботи тягового двигуна НБ-514, у якого $\delta_1 = 5,5$ мм, а $\delta_2 = 4,5$ мм.

Відповідно до технічної документації допускаються відхилення по висоті сердечника ДП

на $\pm 0,15$ мм. Допуск на розточення остова під полюсами становить $\pm 0,2$ мм, допуск на діаметр якоря $\pm 0,2$ мм. Для виконання «другого» повітряного зазору застосовуються діелектричні прокладки, які, відповідно до ГОСТ 12652-74Е [4], мають відповідні відхилення від креслярських розмірів $\pm 0,5$ мм. З огляду на ці фактори, «перший» повітряний зазор може змінитись в межах $5,5 \pm 1,05$ мм, а «другий» – в межах $4,5 \pm 0,5$ мм. Однак, як показують статистичні дані, ці значення можуть змінюватись в більш широких межах.

На підставі випробувань була отримана зона безіскрової роботи тягового двигуна НБ-514, середня лінія якої при значеннях $\delta = 14,5$ мм представлена на рис. 1.

При номінальних розмірах фактичний повітряний зазор, згідно (3), дорівнює:

$$\delta = 5,5 + 2 \cdot 4,5 = 14,5 \text{ мм.} \quad (6)$$

Згідно (3), з урахуванням відхилень, ця величина еквівалентного зазору може дорівнювати

$$\text{від } \delta' = (5,5 + 1,05) + 2 \cdot (4,5 + 0,5) = 16,55 \text{ мм}$$

$$\text{до } \delta'' = (5,5 - 1,05) + 2 \cdot (4,5 - 0,5) = 12,45 \text{ мм.}$$

Тоді, згідно (4)

$$K_{\delta'} = 1 + \sigma_{\delta} = 1,14,$$

$$K_{\delta''} = 1 - \sigma_{\delta} = 0,86.$$

Наприклад, при еквівалентному зазорі δ' та струмі якоря 900 А відхилення середньої лінії складе:

$$\Delta I = (14,5 \cdot 1,14 - 14,5) \cdot \frac{900}{14,5 \cdot 1,14} \times \frac{1,24 - 1}{1,24} \cdot 0,6 = 12,8 \text{ А}$$

Дані, отримані в результаті обчислень, при різних струмах навантаження та різних відхиленнях повітряних зазорів, представлені в табл. 1.

Таким чином, в результаті виробничих відхилень, положення середньої лінії зони безіскрової роботи зміщується в ту або іншу сторону. Це свідчить про те, що додаткові полюси стають «слабкими» або «сильними» і, як наслідок, погіршуються комутаційні властивості машини, що може привести до інтенсивного іскріння. Представлені в таблиці 1 розрахункові параметри кореспондуються з експериментальними даними, наведеними в [3]. Аналогічні результати отримані при проведенні випробувань нових тягових двигунів СТК520 та СТК800, виготов-

лених «НВП СЕМЗ» (Смілянським електро-механічним заводом). За результатами таблиці 1 побудовані графіки (рис. 1), які показують положення середніх ліній при різних значеннях зазорів.

Таблиця 1

Струм на- вантаження, А	Зміна положення середньої лінії безіскрової зони ΔI , А	
	$\delta' = 16,55$ мм	$\delta'' = 12,45$ мм
900	13	-17,3
1000	14,45	-19,2
1200	17,34	-23
1400	20,23	-26,9
	$\delta' = 17$ мм	$\delta'' = 12$ мм
900	15,44	-21,9
1000	17,16	-24,3
1200	20,6	-29,17
1400	24	-34
	$\delta' = 17,5$ мм	$\delta'' = 11,5$ мм
900	18	-27,4
1000	20	-30,4
1200	24	-36,5
1400	28	-42,6

Висновок. Запропонований у даній роботі спосіб прогнозування положення середньої лінії зони безіскрової роботи, залежно від відхилень геометричних параметрів магнітного кола додаткових полюсів, знайшов своє експериментальне підтвердження і може бути рекомендований при проектуванні та випробуванні тягових двигунів електрорухомого складу.

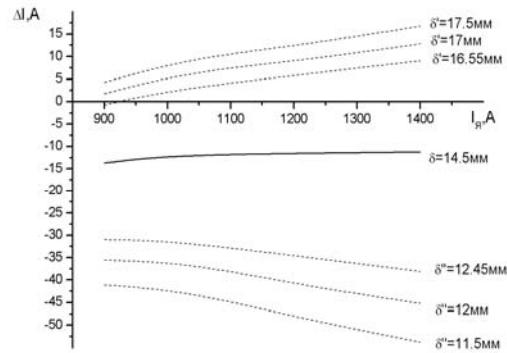


Рис. 1

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Безрученко В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу. / – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
2. Жерве Г. К. Промышленное испытание электрических машин / – М.: Энергия, 1959. – 463 с.
3. Тяговые электрические двигатели электропоездов, под ред. В. Г. Щербакова – / Новочеркаськ: «Наутилус», 1998. – 672 с.
4. ГОСТ 12652-74Е. Стеклотекстолит электротехнический листовой.

Надійшла до редакції 25.09.2007.

В. А. ДЗЕНЗЕРСКИЙ С. В. БУРЫЛОВ, В. Ю. СКОСАРЬ

(ИТСТ НАН Украины «ТРАНСМАГ»)

Ю. И. СКОСАРЬ, Е. В. АНИКЕЕВ, М. А. НЕЗНАНОВ (ЗАО «ВЕСТА-ДНЕПР»)

ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОКОТВОДОВ ДЛЯ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Нами розроблено технологію безперервного виготовлення струмовідводів свинцево-кислотних акумуляторів. Вказана технологія дозволяє збільшити корозійну стійкість, механічну міцність струмовідводів та довговічність акумуляторів.

Нами разработана технология непрерывного изготовления токоотводов свинцово-кислотных аккумуляторов. Указанная технология позволяет увеличить коррозионную стойкость, механическую прочность токоотводов и долговечность аккумуляторов.

We have developed the technology of the continuous manufacturing of leads for lead-acid batteries. The said technology allows increasing the corrosion resistance, the mechanical strenght of leads and the lifetime of batteries.

Свинцово-кислотные аккумуляторы используются на железнодорожном транспорте в качестве автономных источников тока. Долговечность свинцово-кислотных аккумуляторов определяется свойствами положительных электродов, в частности механической прочностью и коррозионной стойкостью токоотводов положительных электродов. В настоящее время в массовом производстве электродных пластин намазного типа применяют решетчатые токоотводы из низколегированных свинцовых сплавов: свинцово-сурьмянистых и свинцово-оловяно-кальциевых. Их изготавливают различными способами. К наиболее распространенным относятся, во-первых, гравитационное литье в кокили [1], во-вторых, литье непрерывной полосы (сляба) с последующей прокаткой и разнопрофильным перфорированием [2, 3], в-третьих, непрерывное литье с кристаллизацией между литейными формами, одна из которых представляет собой вращающийся барабан [4]. Все перечисленные способы имеют множество модификаций.

Самым производительным и экономичным в настоящее время является способ непрерывного литья на вращающемся профилированном барабане, относящийся к третьей группе перечисленных выше способов изготовления токоотводов [5]. При таком литье сразу формируются решетчатая лента с заданным рисунком ячеек и токоотводными ушками. Способ позволяет использовать сплавы с широким диапазоном легирующих добавок. Однако полученная решетчатая лента имеет блочную дендритно-ячеистую структуру с невысокой механической прочностью и коррозионной стойкостью. Кро-

ме того, не обеспечивается постоянство толщины решетчатой ленты, поскольку ее поверхность, не соприкасающаяся с барабаном, получается неровной с множеством дефектов. Указанные недостатки снижают коррозионную стойкость токоотводов и сокращают срок службы аккумуляторов.

В качестве модификации рассмотренной выше технологии можно рассматривать способ непрерывного изготовления токоотводов для электродов намазного типа для свинцово-кислотных аккумуляторов из сплавов свинец-кальций-олово, при котором свинцовый расплав кристаллизуют с помощью литейного барабана в виде непрерывной решетчатой ленты, полученную ленту охлаждают и проводят механическую обработку, изменяя ее толщину [6]. В этом способе кристаллизацию расплава проводят между профилированным и гладким литейными барабанами, причем гладкий барабан является охлаждающим. Механическую обработку проводят путем пропускания решетчатой ленты через гладкие прокатные валки, которые удлиняют ее и делают соответственно тоньше. Способ является одним из самых производительных. Дополнительная прокатка с небольшой величиной обжатия по толщине калибрует токоотводы, способствует созданию однородной мелкозернистой структуры металла, и тем самым упрочняет их. К недостаткам описанной технологии можно отнести следующее. Наличие ячеек (пустых клеточек) в ленте существенно изменяет характер растекания металла при прокатке. На внутренней поверхности, образующей контуры ячеек, образуются различные дефекты: микротрещины, наплывы, расслоения,

сколы металла. Особенно опасны микротрещины, прогрессирующие при дальнейших технологических деформациях и становящиеся при эксплуатации очагами ускоренной коррозии, захватывающей внутренние слои металла. Это сокращает срок службы аккумуляторов.

В связи с вышеизложенным представляется актуальным разработка такой технологии изготовления токоотводов, которая была бы свободна от указанных недостатков, сохраняя преимущества предыдущих технологий. Эту задачу решали авторы настоящей статьи.

В новой технологии непрерывного изготовления токоотводов для электродов намазного типа для свинцово-кислотных аккумуляторов свинцовый расплав кристаллизуют с помощью литейного барабана в виде решетчатой ленты. Кристаллизацию расплава проводят на профилированной формообразующей ленте, которую пропускают поверх литейного барабана. После отливки решетчатую ленту охлаждают до температуры (65...80 °С) и обжимают непосредственно на профилированной формообразующей ленте за счет ее изгиба, причем уменьшение объема формообразующих полостей профилированной формообразующей ленты, перпендикулярных ее оси, составляет 3-4 %.

Раскроем суть предложенной технологии. Свинцовый расплав равномерно подают на профилированную формообразующую ленту и заполняют им формообразующие полости (канавки). Поскольку расплавленный металл очень короткое время находится в зоне кристаллизации (в узкой полосе контакта формообразующей ленты и литейного валика), то требуется быстрое охлаждение расплава непосредственно перед зоной формообразования до температуры, близкой к точке кристаллизации, а также быстрая кристаллизация расплава в самой зоне формообразования. Для этого формообразующая лента проходит между гладким литейным барабаном, который одновременно выполняет функцию холодильника, и литейным валиком. Гладкий барабан охлаждает формообразующую ленту и расплав до необходимой температуры. Кроме того, гладкий барабан задает кривизну изгиба формообразующей ленты наружу, в сторону от профилированной поверхности, что приводит к увеличению объема формообразующих полостей (канавок) и количества залитого в них расплава. Затвердевший расплав образует решетчатую ленту, которая вместе с несущей ее формообразующей лентой подвергается принудительному охлаждению, а затем попадает в зону обжатия. Здесь формообра-

зующая лента изгибается на обжимном вале на профилированную сторону, что приводит к уменьшению объема формообразующих полостей и обжатию жилок и рамок решетчатой ленты. Объемное обжатие жилок и рамок, проведенное в диапазоне температур порога рекристаллизации (65...80 °С), при котором уменьшение объема формообразующих полостей профилированной формообразующей ленты, перпендикулярных ее оси, составляет 3-4 %, позволяет не только выровнять поверхность жилок, но также увеличить механическую прочность и коррозионную стойкость сплава. Более того, такое деформационное воздействие не только приводит к глубокому смещению слоев металла с образованием зон напряжения (что ускоряет процесс дальнейшей рекристаллизации), но и устраняет дефекты, образовавшиеся при отливке. Причем устраняются не только поверхностные дефекты в виде выхода деформационных дислокаций, прорастаний в поверхностные слои дендритов, но и микротрещины в междендритных промежутках. При указанных условиях облегчается процесс деформации монокристаллов и перемещения дислокаций, но нагрева еще недостаточно для снятия внутренних напряжений и они могут фиксироваться и накапливаться, образуя энергетическое обеспечение процессов образования мелких зерен при старении сплава. Как показали эксперименты, при температурах менее 65 °С все полезные процессы замедляются, обжатие происходит с повышением плотности дислокаций и выходом их на поверхность, а также с образованием микротрещин, что снижает коррозионную стойкость сплава. Особенно большое количество дефектов в этих условиях образуется на жилках, расположенных параллельно оси формообразующей ленты, поскольку они по геометрическим причинам не обжимаются, а подвергаются изгибу. Наоборот, при температурах более 80 °С быстро снимаются внутренние напряжения в сплаве и уменьшается эффект упрочнения решетчатой ленты в процессе дальнейшего старения, что также является неблагоприятным фактором. При слишком большой величине обжатия (когда уменьшение объема формообразующих полостей профилированной формообразующей ленты, перпендикулярных ее оси, составляет более 4 %) усиливаются процессы образования различных дефектов: дислокаций, микротрещин, снижающих коррозионную стойкость сплава. Кроме того, такое объемное обжатие превосходит объемную усадку свинца, возникающую при кри-

сталлизации расплава и дальнейшем охлаждении твердого металла, что может привести к образованию другого дефекта – облоя. При слишком малом обжатии (менее 3 %) эффект упрочнения жилок и увеличения коррозионной стойкости сплава становится незначительным.

На рис. 1 представлена общая схема процесса изготовления токоотводов согласно предложенной технологии. На рис. 2 представлена схема обжатия жилок и рамок решетчатой ленты за счет изгибов формообразующей ленты. Опишем новую технологию. Вначале отливают решетчатую ленту, подавая расплав низколегированного свинцового сплава из литникового ковша 1 на движущуюся профилированную формообразующую ленту 2, и заполняя ее формообразующие полости (канавки). Обычно используют свинцово-сурьмянистые или свинцово-кальциевые сплавы, в том числе сплавы свинец-кальций-олово, причем массовое содержание свинца в сплавах составляет 96...99,5 %. Кристаллизация расплава происходит тут же, когда профилированная формообразующая лента 2 проходит между литейным валиком 3 и гладким литейным барабаном 4, радиус которого равен R_1 . Затем формообразующую ленту 2 вместе с отлитой решетчатой лентой, температура которой составляет

180...200 °С, пропускают через узел охлаждения 5. Здесь обе ленты охлаждаются до температуры близкой к 65...80 °С. Процесс обжатия профиля жилок и рамок ленты производят за счет изгиба формообразующей ленты 2 на профилированную сторону на обжимном вале 6, радиус которого равен R_2 . Прижимные валики 7 фиксируют изгиб формообразующей ленты 2 и обеспечивают равномерное распределение давления ее на обжимной вал 6. После операции обжатия с помощью натяжного вала 8 решетчатую ленту 9 отделяют от формообразующей ленты 2 и отводят в сторону валиком 10. Скорость движения формообразующей ленты 2 задается ведущим валом 11. Величина объемного обжатия δ жилок и рамок решетчатой ленты выражается формулой:

$$\delta(\%) \cong \gamma H / L \cdot 100\%, \quad (1)$$

где L , H – ширина и толщина жилок (рамок), равные 1,0...1,5 мм;

γ – угол обжатия, показывающий изменение профиля формообразующей полости в процессе изгиба ленты 2 (недеформированный профиль 12 становится максимальным профилем 13 в момент заливки расплава и минимальным профилем 14 при обжатии на обжимном вале 6).

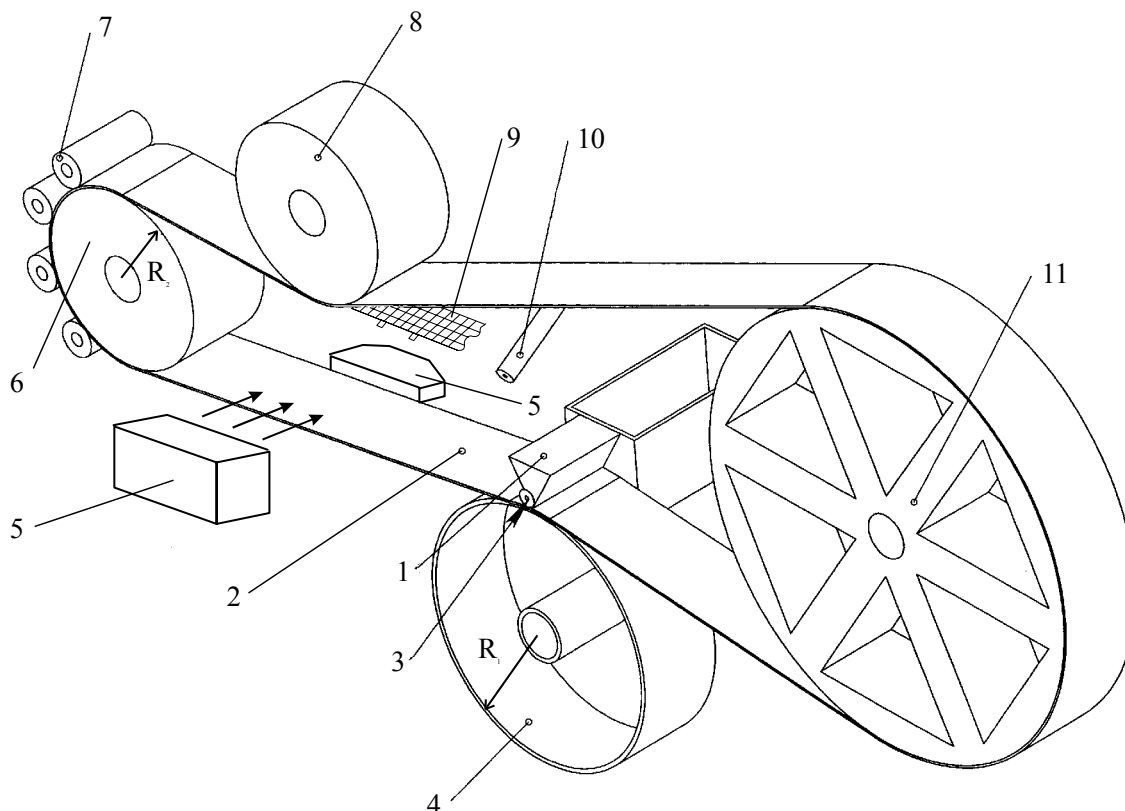


Рис. 1. Общая схема непрерывного процесса изготовления токоотводов

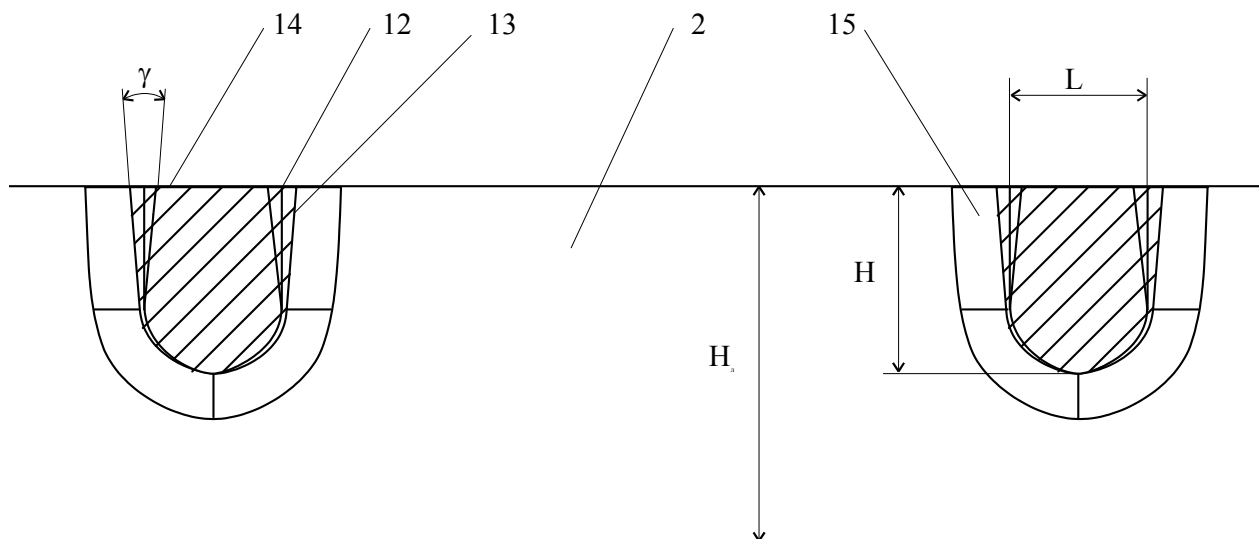


Рис. 2. Схема обжатия жилок и рамок решетчатой ленты

Для обеспечения качественного объемного обжатия формообразующая лента 2 должна быть изготовлена из низкоуглеродистой стали с большим значением модуля упругости и локальной закалкой формообразующих стенок 15. Оптимальные механические и температурные условия обжатия, а также габаритные размеры элементов инструмента и изделия получены экспериментальным путем в цеховых условиях.

По окончании отливки и обжатия изготовленную решетчатую ленту подвергают дальнейшим технологическим операциям изготовления электродных пластин намазного типа для свинцово-кислотных аккумуляторов.

Для проверки на коррозионную стойкость отобрали по 10 шт. токоотводов, изготовленных по двум технологиям: по известной технологии [6] и по новой технологии, предложенной в настоящей статье. Состав сплава токоотводов в обоих случаях был одинаковым: 1,1 % Sn, 0,04 % Ca, 0,05 % Ag, 0,05 % Al, остальное — Pb. Токоотводы помещались в раствор серной кислоты плотностью 1,28 г/см³. Степень коррозии определялась при температуре 25⁰С по потерям токоотводами массы в условиях длительной анодной гальваностатической поляризации при плотности тока 10 мА/см². Результаты приведены в таблице 1, из которой видно, что токоотводы, изготовленные по новой технологии, отличаются большей коррозионной стойкостью. Относительная потеря массы в таких токоотводах в 1,7 раз меньше. Внешний вид этих токоотводов характеризуется меньшими разрушениями.

Таблица 1 также показывает, что механическая прочность токоотводов, изготовленных по новой технологии, превышает механическую прочность таких же по конструкции токоотво-

дов, но изготовленных по технологии [6]. Для испытаний на разрывной машине Р-05 бралось по 10 шт. токоотводов от каждой технологии. У новых токоотводов усилие на разрыв, приложенное вдоль ушка, в 1,23 раза больше, а усилие на разрыв, приложенное поперек ушка, в 1,04 раза больше.

В табл. 2 приведены результаты сравнительных испытаний аккумуляторных батарей 6СТ-44А3 (номинальное напряжение $U_{\text{ном}} = 12$ В; номинальная емкость $C_{\text{ном}} = 44$ А·ч; ток стартерного разряда $I = 220$ А), изготовленных по известной технологии [6] и по новой, предложенной нами технологии. В каждом испытании участвовало по 5 шт. аккумуляторных батарей. Все батареи соответствовали требованиям ГОСТ 959-91. Результаты испытаний также показывают, что аккумуляторные батареи, изготовленные по новой технологии, отличаются большей на 9,1 % долговечностью (одна батарея выдержала 8 недельных циклов, 4 батареи выдержали 7 циклов, среднее 7,2 цикла) при одинаковых электрических характеристиках, чем батареи, изготовленные по технологии [6] (3 батареи выдержали 7 недельных циклов, 2 батареи выдержали 6 циклов, среднее 6,6 циклов).

Благодаря полученным результатам сделаны следующие выводы:

1) токоотводы, изготовленные по новой технологии, отличаются большей в 1,7 раз коррозионной стойкостью, чем токоотводы, изготовленные по известной технологии [6];

2) токоотводы, изготовленные по новой технологии, отличаются большей механической прочностью (в 1,23 раза вдоль ушка и в 1,04 раза поперек ушка), чем токоотводы, изготов-

ленные по известной технологии [6];

3) аккумуляторные батареи с новыми токоотводами отличаются большей на 9,1 % долговечностью при одинаковых электрических характеристиках в сравнении с батареями, в которых использованы токоотводы, изготовленные по известной технологии литья [6].

Таким образом, нами получены результаты, свидетельствующие в пользу новой технологии

непрерывного изготовления токоотводов, предложенной в настоящей статье.

В дальнейшем следует детально изучить условия и механизмы упрочнения токоотводов, характер возникающих в низколегированных свинцовых сплавах дефектов с целью получения лучших результатов по коррозионной стойкости и механической прочности токоотводов.

Таблица 1

Результаты сравнительных испытаний токоотводов на коррозионную стойкость

Пор. №	Технология изготовления токоотводов	Относительная коррозия (потери массы), %	Усилие на разрыв, Н
1	Технология [6]	17,8	712 (вдоль ушка) 466 (поперек ушка)
2	Новая технология	10,5	875 (вдоль ушка) 483 (поперек ушка)

Таблица 2

Результаты сравнительных испытаний батарей 6СТ-44А3 по ГОСТ 959-91

Пор. №	Технология изготовления токоотводов	Средняя емкость батарей, А·ч	Среднее напряжение на 30-й секунде разряда, В	Средняя продолжительность стартерного разряда на холоде, с	Среднее количество недельных циклов наработки на долговечность
1	Технология [6]	46,2	9,23	169	6,6
2	Новая технология	46,3	9,21	168	7,2

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Русин А. И. Основы технологии свинцовых аккумуляторов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 184 с.
2. Патент № 5-9903 Япония. Оpubл. 08.02.1993.
3. Международный патент № WO 94/15375. Оpubл. 07.07.1994.
4. Патент № 4544014 США. Оpubл. 01.10.1985.
5. Патент № 4982482 США. Оpubл. 08.01.1991.
6. Next generation of continuous platemaking / Wirtz John O.// Batteries Int. - 1996, № 26. – P. 56-57.

Поступила в редакцию 28.09.2007.

ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ

Визначено фактори, що впливають на довговічність залізобетонних опор контактної мережі. Розраховано числові характеристики товщини опор.

Определены факторы, которые воздействуют на долговечность железобетонных опор контактной сети. Рассчитаны числовые характеристики толщин стоек опор.

The authors determined the factors, which have impact on durability of contact lines racks. The numeric characteristics of thicknesses of concrete racks are counted.

На довговічність залізобетонних опор контактної мережі впливають багато факторів на різних етапах: проектування, виготовлення, транспортування, монтажу та експлуатації.

На етапі проектування можуть виникнути помилки при розрахунку внаслідок неточно розробленого технічного завдання або помилки самого проектувальника. Метою проектування опор контактної мережі є розробка таких конструкцій, виготовлення і експлуатація яких здійснювалась при найменших витратах і гарантованому терміну службі. Рішення цих задач регламентується рядом нормативних документів [1, 2, 3]. Однак, з часом умови експлуатації опори можуть змінитися і не відповідати існуючим нормам і правилам проектування опор контактної мережі для яких вони проектувались. Наприклад:

1) поряд з залізницею побудували завод по виробництву шкідливих речовин, які впливають на корозію бетону і арматури;

2) в наслідок деяких причин піднявся рівень ґрунтових вод і таким чином змінився хімічний склад ґрунту в якому знаходиться підземна частина опори, наприклад з нейтрального на агресивний;

3) при зміні схеми живлення, або зміні рівня напруги для більш доцільного живлення на ділянці опора може опинитися в анодній або в знакозмінній зоні;

4) при виходу з ладу пристроїв захисту від електрокорозії та їх несвоєчасному виявленні і усуненні;

5) на одній з ділянок Придніпровської залізниці експлуатувались опори без вентиляційних отворів в нижній частині опори і виявити, хто винен виробник чи проектувальник не вдалося. Виправляв недолік експлуатаційник.

Під час масової електрифікації було розроб-

лено та встановлено близько десятка різновидів опор контактної мережі [4], які були з проектувані на термін служби близько сорока років. Одні різновиди опор зарекомендували себе з позитивної сторони, інші - практично всі були замінені на нові. На сьогоднішній день термін експлуатації багатьох опор майже вичерпався. Інженерний розрахунок лише дає гарантію про ненастання того чи іншого граничного стану при деякій ймовірності. Але в процесі експлуатації деякі чинники можуть змінюватися так, що це не можна врахувати під час проектування.

На сьогоднішній день прийняті розрахункові схеми залізобетонних опор не відповідають фактичному характеру руйнування. Наприклад, в розрахунках на прогин (відрив, утворення тріщин) розрахунковий кут руйнування не відповідає експериментальним даним. При розрахунках за похилими до поздовжньої осі напружена розтягнута арматура не враховується, а в конструктивних вимогах вказується лише на необхідність її анкерування. Вище зазначені розрахунки не відтворюють реальну роботу опор та не дозволяють встановити їх фактичну, а не розрахункову, несучу здатність, що необхідна не лише для раціонального конструювання, але й для встановлення причин руйнування (пошкоджень) опор, що знаходяться в експлуатації.

Вказаних недоліків можна уникнути, якщо розрахунки будуть базуватись на позиціях механіки крихкого руйнування з використанням такої характеристики матеріалу, як в'язкість руйнування бетону. Інші характеристики матеріалу пов'язані з вище зазначеною; вибір тієї чи іншої характеристики не має принципового значення. В'язкість руйнування бетону залежить від багатьох факторів. Цими факторами являються: склад бетону, його вік, технологія виготовлення, температура, вологість та інше.

Аналіз випадків передчасного виходу залізобетонних опор з ладу, що зумовлені помилками на етапі проектування свідчить про наступні недоліки:

- включення в проект інженерних рішень без достатньої перевірки, що приводить до передчасного виходу з ладу опорних конструкцій та їх заміні,

- невідповідність розрахункової моделі дійсним умовам роботи опор при експлуатації, які змінились в наслідок непередбачених обставин.

Етапі виготовлення. На сьогоднішній день опори контактної мережі на території України виготовляються згідно до міждержавного стандарту [3] за робочою і технологічною документацією. За узгодженням з замовником дозволено виготовляти залізобетонні опори, які відрізняються габаритними розмірами і розмірами окремих деталей опор. Кожен виробник розробляє свої робочі креслення під свою вже існуючу технологію. Аналіз параметрів опор, що виготовляються провідними виробниками (залізобетонні центрифуговані з попередньо напруженою арматурою опори, розраховані на нормативний згинальний момент 80 кН·м), показує, що нормативні значення показників в усіх виробників схожі і відповідають нормативним вимогам. Але суттєво відрізняються передавальною міцністю бетону, міцністю бетону на стис в проектному віці, типом та кількістю застосованої арматури на виготовлення арматурного каркасу. Крім того, найбільші відмінності між стояками виявлені в геометричних параметрах та конструктивних елементах, таких як: довжина стояка, діаметр стояка в оголовку та комлі, наявність та розташування отворів для встановлення закладних деталей, товщина внутрішнього та зовнішнього захисного шару, матеріал та вид бетонної заглишки [5]. Кожен виробник вирішує проблему якості своєї продукції різними шляхами. Виходячи з цього потрібно привести виробництво опор до єдиного стандарту по всім показникам. При цьому, необхідно застосовувати нові технології виробництва, а також нові технології контролю якості на кожній технологічній операції виготовлення опор.

Згідно до положень нормативної документації [6] виробник зобов'язаний виготовляти опори терміном служби 70 років. А це в свою чергу вимагає від проектувальників і виробників обґрунтованих рішень, прийняття і застосування нових технологій та матеріалів, нового обладнання для виробництва.

Одним з найважливіших факторів на етапі

виготовлення опори є товщина стінки опори. Вона нормується ДСТУ Б.В.2.6-21-2000 (ГОСТ 19330). На кафедрі «Електропостачання залізниць» ДПТУ проведено аналіз дотримання ДСТУ. Допустимі границі товщини стінки опори знаходяться в межах $-5 \dots +30$ мм. від нормативної.

Для аналізу взята партія опор СК 13.6-02.8жд, що надійшла в експлуатацію на Донецьку залізницю і була відправлена Миронівським ЗАТ заводом-виробником «Бетон нова». Статистичні дані опор наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Вихідні дані для аналізу показників надійності опор

№ опори	Товщина стінок, мм	Відхилення від норми, мм	№ опори	Товщина стінки, мм	Відхилення від норми, мм
1	60/60	+10/0	33	56/60	+6/0
2	51/54	+1/-6	34	54/55	+4/-5
3	57/60	+7/0	35	48/53	-2/-7
4	58/68	+8/+8	36	50/55	0/-5
5	50/53	0/-7	37	50/55	0/-5
6	50/55	0/-5	38	49/53	-1/-7
7	55/60	+5/0	39	50/55	0/-5
8	58/61	+8/+1	40	54/60	+4/0
9	60/60	+10/0	41	60/62	+10/+2
10	58/60	+8/0	42	49/53	-1/-7
11	54/60	+4/0	43	50/55	0/-5
12	50/60	0/0	44	49/53	-1/-7
13	55/60	+5/0	45	60/60	+10/0
14	54/60	+4/0	46	50/60	0/0
15	49/54	-1/-6	47	50/54	0/-6
16	50/60	0/0	48	50/56	0/-4
17	49/52	-1/-8	49	50/61	0/+1
18	56/60	+6/0	50	54/58	+4/-2
19	48/54	-2/-6	51	49/53	-1/-7
20	49/54	-1/-6	52	48/52	-2/-8
21	47/50	-3/-10	53	50/55	0/-5
22	49/55	-1/-5	54	48/59	-2/-1
23	54/60	+4/0	55	50/55	0/-5
24	60/62	+10/+2	56	48/55	-2/-5
25	60/60	+10/0	57	49/53	-1/-7
26	50/66	0/+6	58	51/55	+1/-5
27	48/52	-2/-8	59	56/60	+6/0
28	49/53	-1/-7	60	54/62	+4/+2
29	50/55	0/-5	61	60/62	+10/+2
30	50/55	0/-5	62	54/60	+4/0
31	55/58	+5/-2	63	50/54	0/-6
32	60/65	+10/+5	64	50/55	0/-5

Примітка. В чисельнику приведена товщина стінки опори у вершині, в знаменнику товщина стінки опори основи.

Введемо позначення a – товщина стінки

опори, n – об'єм вибірки (загальна кількість членів варіаційного ряду). Далі зведемо у вигляді варіаційного ряду, $a_1, a_2, a_3, \dots, a_i, \dots, a_n$ і занесемо в табл. 2.

Таблиця 2

Варіаційний ряд верхніх товщин стінок опор

47	48	48	48	48	48	49	49	49	49
49	49	49	49	49	49	50	50	50	50
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
50	50	50	50	50	51	51	54	54	54
54	54	54	54	54	55	55	55	56	56
56	57	58	58	58	60	60	60	60	60
60	60	60	60						

Поділимо варіаційний ряд на k інтервалів за формулою

$$k \approx 5 \cdot \lg n. \quad (1)$$

Довжина інтервалів (Δa) вибирається постійною.

В цьому випадку:

$$\Delta a \approx \frac{a_n - a_1}{k} \quad (2)$$

В кожному інтервалі повинно бути не менше 4-5 значень, тобто повинна виконуватись умова

$$n_j^* \geq 4 \quad (3)$$

де n_j^* – кількість значень товщин стінок в j -му інтервалі.

Оцінки математичного очікування, дисперсії та середньоквадратичного відхилення знаходяться за спрощеними формулами (7):

$$m_a^* \approx \frac{\sum_{i=1}^k a_j \cdot n_j^*}{n} = \sum_{j=1}^k a_j \cdot P_j^*, \quad (4)$$

$$D_a^* \approx \sum_{j=1}^k (a_j^2 \cdot P_j^*) - m_a^{*2}, \quad (5)$$

$$\sigma_a^* = \sqrt{D_a^*}, \quad (6)$$

де a_j – i -й член варіаційного ряду,

$P_j^* = \frac{n_j^*}{n}$ – статистична імовірність знаходження випадкової величини в j -му інтервалі.

Коефіцієнт варіації товщини стінки визначається за формулою

$$K_B = \frac{\sigma_a^*}{m_a^*} \quad (7)$$

В даній статті приведено розрахунок для верхніх товщин стінок опори. Розіб'ємо варіаційний ряд на k інтервалів, визначимо границі та середини a_j кожного інтервалу. Результати розрахунків занесемо в табл. 3.

Таблиця 3

Результати обробки варіаційного ряду для верхніх товщин опор

Інтервал	Ліва границя інтервалу, мм	Права границя інтервалу, мм	Довжина інтервалу Δa_j , мм	Середина інтервалу a_j , мм	n_j^*	P_j^*
1	47	48,5	1,5	47,75	6	0,0938
2	48,5	50	1,5	49,25	10	0,4531
3	50	54,5	4,5	52,25	10	0,1563
4	54,5	56	1,5	55,25	6	0,0938
5	56	59	3	57,5	4	0,0625
6	59	60,5	1,5	59,75	9	0,1406

Результат розрахунків за формулами (4)–(7) наступний $m_a^* = 52,133$; $D_a^* = 16,439$; $\sigma_a^* = 4,055$; $K_B = 0,078$; $\delta = 0,953$.

Розрахунок статистичних диференційної та інтегральної функцій розподілення товщини стінок опор.

Функція щільності імовірності випадкової величини визначається за формулою

$$f^*(a_j) = \frac{P_j^*}{\Delta a_j}. \quad (8)$$

Функція розподілу випадкової величини являється інтегральним законом її розподілення і знаходиться за формулою

$$F^*(a_j) = \sum_{l=1}^j P_l^*. \quad (9)$$

Результати розрахунків занесемо в табл. 4.

Таблиця 4

Статистичні функціональні характеристики товщин стінок опор

Інтервал	Для верхніх товщин стінок				Для нижніх товщин стінок			
	P_j^*	Δa_j мм	$f^*(a_j)$ 1/мм	$F^*(a_j)$	P_j^*	Δa_j мм	$f^*(a_j)$ 1/мм	$F^*(a_j)$
1	0,093	1,5	0,062	0,093	0,062	4	0,031	0,062
2	0,451	1,5	0,302	0,546	0,218	2	0,109	0,281
3	0,156	4,5	0,034	0,703	0,234	2	0,117	0,515
4	0,093	1,5	0,062	0,797	0,343	4	0,086	0,859
5	0,062	3	0,020	0,859	0,140	6	0,017	1
6	0,140	1,5	0,093	1				

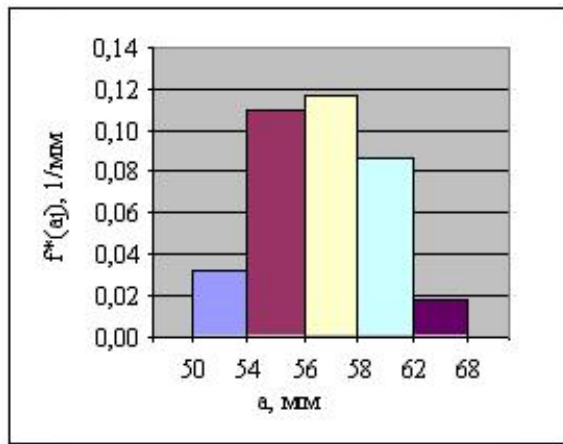


Рис. 1. Диференціальна функція розподілу нижніх товщин стінок опор

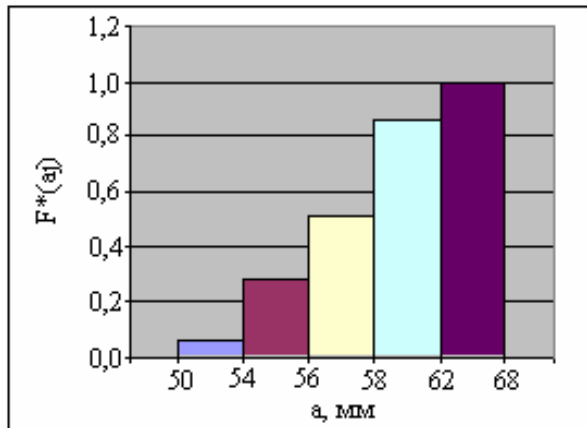


Рис. 2. Інтегральна функція статистичного розподілу нижніх товщин стінок опор

При розрахунку теоретичних функціональних характеристик товщин стінок опори. Висуваємо гіпотезу, що закон розподілу нормальний. Користуючись (7) розраховано функціональні теоретичні характеристики товщини стінок опор.

Результати розрахунків теоретичних функ-

ціональних характеристик верхніх та нижніх товщин стінок опор представлені у табл. 5.

Таблиця 5

Розрахунок теоретичних функціональних характеристик товщин стінок опор

№ інтервалу	Для верхніх товщин стінок			Для нижніх товщин стінок		
	$f(a)$ 1/мм	$F(a)$ мм	$P(a)$	$f(a)$ 1/мм	$F(a)$ мм	$P(a)$
1	0,0549	0,1195	0,8805	0,0624	0,0624	0,9376
2	0,0764	0,2132	0,7868	0,1501	0,1501	0,8499
3	0,0984	0,4027	0,5973	0,2945	0,2945	0,7055
4	0,0732	0,7704	0,2296	0,5817	0,5817	0,4183
5	0,041	0,9057	0,0943	0,9554	0,9554	0,0446
6	0,0168	0,9708	0,0292			

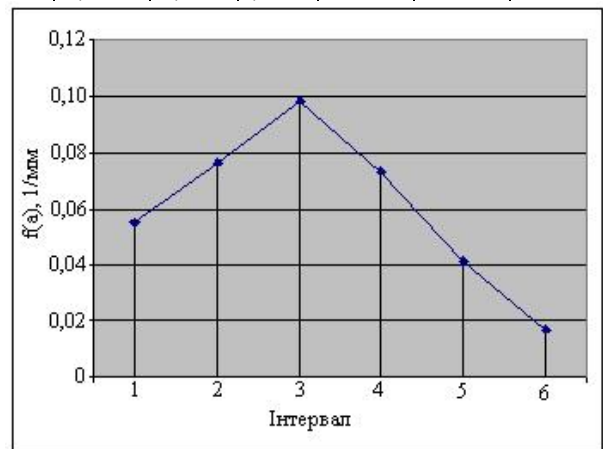


Рис. 3. Теоретична диференціальна функція розподілу верхніх товщин стінок опор

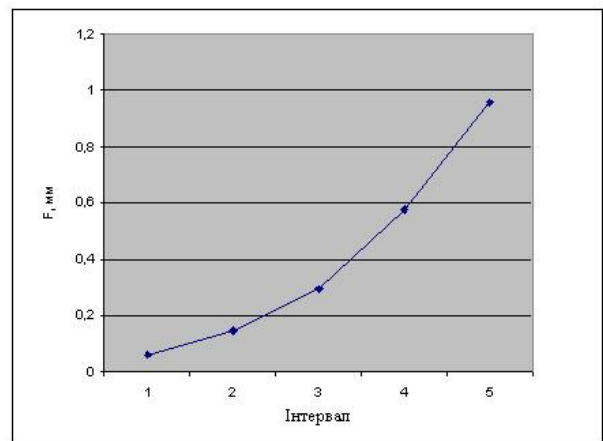


Рис. 4. Інтегральна функція теоретичного розподілу нижніх товщин стінок опор

Перевірка правдоподібності гіпотези про вид закону розподілення за допомогою критерію Пірсона

Розходження між теоретичним та статистичним розподіленням знаходиться за формулою (7)

$$X_{\text{розр}}^2 = \sum_{j=1}^k X_j^2 = n \cdot \sum_{j=1}^k \frac{(P_j^* - P_j)^2}{P_j}. \quad (10)$$

Результати розрахунків представлені в табл. 6, 7.

Таблиця 6

Значення X_j^2 для інтервалів розбиття

Інтервал	Для верхніх товщин стінок				
	P_j^*	P_j	$P_j^* - P_j$	$(P_j^* - P_j)^2$	X_j^2
1	0,093	0,119	-0,026	0,001	0,006
2	0,453	0,093	0,359	0,129	1,378
3	0,156	0,189	-0,033	0,001	0,006
4	0,093	0,367	-0,274	0,075	0,204
5	0,062	0,135	-0,073	0,005	0,039
6	0,140	0,065	0,075	0,005	0,088
$X_{\text{розр}}^2 = \sum_{j=1}^k X_j^2$					1,721
$X_{\text{крит}}^2$					6,25

Таблиця 7

Значення X_j^2 для інтервалів розбиття

Інтервал	Для нижніх товщин стінок				
	P_j^*	P_j	$P_j^* - P_j$	$(P_j^* - P_j)^2$	X_j^2
1	0,062	0,062	0	0	0
2	0,218	0,087	0,131	0,017	0,196
3	0,234	0,144	0,09	0,008	0,056
4	0,343	0,287	0,056	0,003	0,011
5	0,140	0,373	-0,233	0,054	0,145
$X_{\text{розр}}^2 = \sum_{j=1}^k X_j^2$					0,408
$X_{\text{крит}}^2$					4,61

За кількістю ступенів свободи знаходимо критичне значення $X_{\text{крит}}^2$ [7]:

$$X_{\text{крит}}^2 = 6,25$$

Оскільки $X_{\text{розр}}^2 < X_{\text{крит}}^2$, то можна зробити висновок, що статистична інформація не заперечує гіпотезі про прийнятий закон розподілення.

Розрахунок довірчих границь для параметрів нормального розподілення

Для визначення допустимого інтервалу необхідно задатися допустимою вірогідністю β , яку в технічних розрахунках приймають із ряду 0,8; 0,9; 0,95.

Число ступенів свободи визначається за

формулою (7)

$$v = n - 1, \quad (11)$$

де n – об'єм вибірки.

Допустимий інтервал для математичного очікування товщини стінок опори визначається за формулою (7):

$$m_a^* - t_\beta \cdot \frac{\sigma_a^*}{\sqrt{n}} < m_a < m_a^* + t_\beta \cdot \frac{\sigma_a^*}{\sqrt{n}}. \quad (12)$$

Приймаємо $\beta = 0,9$. Число ступенів свободи $v = 64 - 1 = 63$.

Знаючи допустиму вірогідність та число ступенів свободи можна знайти значення кванти розподілення Стюдента: $t_\beta = 1,645$.

Допустимі границі для середньоквадратичного відхилення дорівнюють:

$$\sigma_a^* \cdot \sqrt{\frac{(n-1)}{X_{\alpha/2}^2}} < \sigma_a < \sigma_a^* \cdot \sqrt{\frac{(n-1)}{X_{1-\alpha/2}^2}}. \quad (13)$$

де $X_{\alpha/2}^2, X_{1-\alpha/2}^2$ – критерії відповідності Пі-

рсона для імовірностей $P = \frac{\alpha}{2}$ та $P = 1 - \frac{\alpha}{2}$ по

числу ступенів свободи v . Тут

$$\alpha = 1 - \beta = 1 - 0,9 = 0,1. \text{ Тоді}$$

$$P = \frac{0,1}{2} = 0,05 \text{ та } P = 1 - \frac{0,1}{2} = 0,95.$$

Значення критерію відповідності Пірсона знаходиться за формулою [7]:

$$X_p^2 = \frac{1}{2} \cdot (\sqrt{2 \cdot v - 1} + u_p)^2, \quad (14)$$

де u_p – значення аргументу. Для імовірнос-

ті $P = \frac{\alpha}{2}$ та $P = 1 - \frac{\alpha}{2}$ визначаються відповід-

ні їм значення функції інтегралу Лапласа а потім знаходяться відповідні значення аргументу.

Тоді

$$u_p = u_{\alpha/2} = 1,645 \quad \text{та}$$

$u_p = u_{1-\alpha/2} = -1,645$. Визначимо значення критеріїв Пірсона:

$$X_{\alpha/2}^2 = \frac{1}{2} \cdot (\sqrt{2 \cdot 63 - 1} + 1,645)^2 = 82,245,$$

$$X_{1-\alpha/2}^2 = \frac{1}{2} \cdot (\sqrt{2 \cdot 63 - 1} - 1,645)^2 = 45,461.$$

Остаточні результати будуть наступними:

$$51,299 < m_a < 52,967,$$

$$3,549 < \sigma_a < 4,773.$$

Аналогічні розрахунки проведені також для аналізу нижніх товщин стінок опори, результати розрахунків наведені в табл. 8.

Таблиця 8

Результати розрахунків для верхніх та нижніх товщин стінок залізобетонних опор

Товщини стінок		Верхні	Нижні
m_a		52,13	56,61
D_a^*		16,44	13,77
σ_a^*		4,055	3,711
K_v		0,078	0,066
$\delta, \%$		0,953	1,092
Довірчі границі, мм	Математичне очікування	$51,3 < m_a < 52,9$	$3,55 < \sigma_T < 4,77$
	Середньоквадратичного відхилення	$55,8 < m_a < 57,3$	$3,25 < \sigma_T < 4,37$

Висновки:

1. Проаналізовано фактори, що впливають на довговічність залізобетонних опор контактної мережі.

2. Розраховано числові та функціональні характеристики товщини стінок опор для партії опор.

3. Встановлено довірчі інтервали для математичного очікування та для середньоквадратичного відхилення товщини стінок опор. $51,29 < m_a < 52,96$ мм $3,55 < \sigma_a < 4,77$ мм при $\beta = 0,9$.

4. Визначено, що товщина стінок опор розподілена за нормальним законом.

5. На експлуатацію надійшло 20 % опор, що не відповідають ДСТУ по товщині стінок опор.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Нормы проектирования конструкций контактной сети ВСН 141-84. Минтрансстрой. Москва 1985.
2. СНиП 2.03.01-84.
3. ДСТУ Б В.2.6-21-200 Опори залізобетонні для опор контактної мережі залізниць. Технічні умови. – К., 2000. – 25 с. (ГОСТ 19330 - 99).
4. Подольський В. И. Эволюция опорного хозяйства контактной сети электрифицированных железных дорог. Сборник докладов научно-практической конференции «Электрификация – основа технического перевооружения железнодорожного транспорта. Электрификация-75». – М.: Интекст, 2004. – С. 100-104.
5. Сиченко В. Г. Технічні характеристики опор для опор контактної мережі: аналіз та вимоги / В. Г. Сиченко, В. А. Савченко, Д. Ю. Колесник // Сб. докладов науч.-практ. конфер.
6. Технічна вказівка від 25.12.2001 р. № ЦЕТ-1-01 «Про застосування опор контактної мережі із змішаним армуванням» // Зб. техн. вказівок та техн. інформації по господарству електрифікації та електропостачання. - К., Укрзалізниця.- 2003. - С. 30-31.
7. Вентцель Е. С. Теория вероятностей - М.: Наука, 1964 - 576 с.
8. Аналіз роботи електрифікації та електропостачання в 2005 році. – К., 2006.
9. Правила улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць № ЦШЕОТ-0005. - К. 1998 р.
10. Вказівки Главку № ЦЕТ-6-03 від 22. 12. 02.
11. Кудрявцев А. А. Проблемы долговечности опорных конструкций контактной сети. Электрификация и развитие железнодорожного транспорта России. Традиции, современность, перспективы: Тезисы докладов на международном симпозиуме «Elirans-2001», СПб, 23-26 окт., - СПб: ПГУПС. 2001. С. 90-91. Рус. RU.

Надійшла до редакції 15.07.2007.

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПОТУЖНОСТІ ТЯГОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА БАГАТОСИСТЕМНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

У статті проведений аналіз впливу виду тягового двигуна на потужність тягового статичного перетворювача. Введено поняття модуль тягового перетворювача й отримані основні кількісні співвідношення для тягових перетворювачів з різним числом модулів.

В статье проведен анализ влияния вида тягового двигателя на мощность тягового статического преобразователя. Введено понятие модуль тягового преобразователя и получены основные количественные соотношения для тяговых преобразователей с различным числом модулей.

Analysis of the influence of the type of the traction engine is organized In article on power of the traction steady-state converter. The Incorporated notion module traction converter and are received main quantitative correlations for traction converters with different number of the modules.

Вступ. Проблема створення потужних тягових напівпровідникових перетворювачів для електрорухомого була сформульована як тільки з'явилися (60-ті, 70-ті роки 20 ст.), потужні діоди, а згодом і тиристори. Але з деяких причин, одна з яких – недостатньо високий на той час рівень робочих струмів та напруг потужних силових приладів, не дозволило створити тягові перетворювачі, які б відповідали необхідним масогабаритним, енергетичним показникам і експлуатаційній надійності [1].

При сучасному рівні розвитку потужної напівпровідникової елементної бази стає можливою побудова багатофункціональних уніфікованих тягових перетворювачів для електрорухомого складу (ЕРС).

Яскравими прикладами використання потужних перетворювачів на сучасній елементній базі є швидкісні потяги серій TGV (Франція).

Аналіз літературних джерел. Проблемі побудови тягових перетворювачів на напівпровідниковій елементній базі присвячені роботи [1, 5, 10].

Мета роботи. Дослідити питання вибору потужності тягового перетворювача для багатосистемного ЕРС при експлуатації в різних умовах. Мається на увазі ЕРС, який зможе працювати при різних рівнях напруги у контактній мережі як при постійному так і змінному струмах.

Матеріал і результати дослідження.

Відомо, що тяговий привод ЕРС, до якого входить і статичний перетворювач, повинен забезпечити максимальне можливе зчеплення коліс локомотива з рейками при любых кліматичних умовах і любому стані контактних поверхонь [1, 2].

Тяговий статичний перетворювач призначено для забезпечення живлення тягових двигунів ЕРС. З метою економії напівпровідникових приладів та іншої електротехнічної апаратури прийнято використовувати групову схему підключення тягових двигунів до перетворювача [3]. Так, для живлення 12 тягових двигунів типу НБ-514 (потужність годинного режиму 835 кВт) електровозу ВЛ85 з сумарною потужністю часового режиму 10020 кВт, використовують 6 тягових перетворювачів ВІП-4000УХЛ2, потужністю 4340 кВт [4]. Тобто, коефіцієнт запасу по потужності перетворювача дорівнює

$$k_{\text{зпп}} = \frac{4340}{2 \cdot 835} = 2,6 \text{ і обумовлений перевантаженням здатністю двигунів постійного струму при пуску.}$$

Режим роботи тягового електропривода (до якого входить тяговий двигун та перетворювач), як відомо, визначається умовами експлуатації і залежать, головним чином, від маси поїзда та швидкості його руху. Дослідимо питання вибору потужності тягового перетворювача який призначено для використання на електровозах.

На першому етапі використаємо загально відому методику вибору потужності тягових двигунів електровозів [5].

Номінальну потужність одного тягового двигуна електровозу визначається як:

$$P_N = \frac{F_{\text{кн}} \cdot v_n}{N_d},$$

де $F_{\text{кн}}$ – номінальна сила тяги, Н;

v_n – номінальна швидкість, м/с;

N_d – кількість тягових двигунів на електро-
возі.

Номінальна сила тяги визначається як:

$$F_{\text{кн}} = \frac{F_{\text{кр}} \cdot E_p}{k_p},$$

де $F_{\text{кр}}$ – розрахункова сила тяги, Н;

E_p – коефіцієнт ефективності засобів під-
вищення зчеплення (приймаємо рівним 1,15);

k_p – коефіцієнт перевантаження електро-
возу за силою тяги (приймаємо рівним 1,1).

При $k_p = 1,1$ $v_H = 1,04 \cdot v_p$.

Орієнтовно можливо прийняти [5]:

$$F_{\text{кр}} = 0,95 m_B g (w_B'' + i_p),$$

де m_B – маса вагонів поїзду, т;

w_B'' – питомий основний опір руху вагонів,
Н/кН;

i_p – розрахунковий підйом, ‰.

Тоді, на підставі вище вказаного, сумарна
потужність всіх тягових двигунів електровозу
можливо орієнтовно визначати за наступним
виразом:

$$P_{\Sigma N} = 1,03 m_B g (w_B'' + i_p) \cdot v_p,$$

де v_p – розрахункова швидкість, м/с.

Проаналізуємо вплив швидкості та маси по-
тягів на орієнтовну сумарну потужність елек-
тровозу.

У відповідності до [6] питомий основний
опір руху вантажних вагонів (при швидкості до
120 км/год [5]) при русі по ланковій колії:

– чотирьохосні вагони на роликових підшип-
никах і рефрижераторні вагони:

$$w_B'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot v + 0,0025 \cdot v^2}{q_B},$$

де v – швидкість для якої проводимо розраху-
нок, км/год;

q_B – навантаження на одну вісь вагона, т.

– восьмиосні вагони на роликових підшип-
никах

$$w_B'' = 0,7 + \frac{6 + 0,038 \cdot v + 0,0021 \cdot v^2}{q_B}.$$

При русі вантажних вагонів по безстиківій
колії:

– чотирьохосні вагони на роликових підшип-
никах і рефрижераторні вагони

$$w_B'' = 0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot v + 0,002 \cdot v^2}{q_B};$$

– восьмиосні вагони на роликових підшип-
никах

$$w_B'' = 0,7 + \frac{6 + 0,026 \cdot v + 0,0017 \cdot v^2}{q_B}.$$

У відповідності до [6] питомий основний
опір руху пасажирських вагонів (при швидкості
до 160 км/год) при русі по ланковій колії:

$$w_B'' = 0,7 + \frac{8 + 0,18 \cdot v + 0,003 \cdot v^2}{q_B}.$$

При русі по безстиківій колії:

$$w_B'' = 0,7 + \frac{8 + 0,16 \cdot v + 0,0023 \cdot v^2}{q_B}.$$

Аналізуючи технічні характеристики вагон-
ного парку [7,8] визначимо навантаження на
вісь основних типів вагонів, що експлуатують-
ся на залізницях України. Результати предста-
вимо у вигляді табл. 1.

Таблиця 1

Навантаження на вісь основних типів вагонів

Вид вагону	Кількість осей	Маса (разом з тарою), т	Навантаження на вісь, т
Піввагон	4	93,9	23,475
Вагон критий	4	94	23,5
Платформа	4	100	25
Цистерна	4	92	23
	8	176	22
Хопер	4	100	25
Самоскид	4	93,7	23,425
Вагони паса- жирські *	4	60,24	15,06
	4	55,18	13,795
	4	58,98	14,745
	4	60,98	15,245

* – приймаємо вагу одного пасажирів рівною 80 кг.

При дослідженнях впливу швидкості та маси
потягів на орієнтовну сумарну потужність елек-
тровозу задаємо розрахунковий підйом в ме-
жах від 4 до 12 ‰ [5].

Представимо графічно залежності необхід-
ної потужності електровозу від ваги вагонів
 $P_{\Sigma N} = f(m_B)$, при різних розрахункових підйо-
мах (рис. 1) $i_p = \text{const}$.

Аналогічно, можливо отримати залежності
для інших видів вагонів.

За допомогою розглянутої методики є доці-
льним визначити з якою швидкістю, та з поїз-
дом якої ваги може рухатися електровоз по за-

даному розрахунковому підйому. Потім на підставі отриманих залежностей, в залежності від профілю шляхів та необхідної швидкості, визначитись якої потужності необхідно використовувати електровоз (перетворювач). Електровози що, експлуатуються на залізницях України та інших держав СНД, мають потужність годинного режиму 6000...10000 кВт.

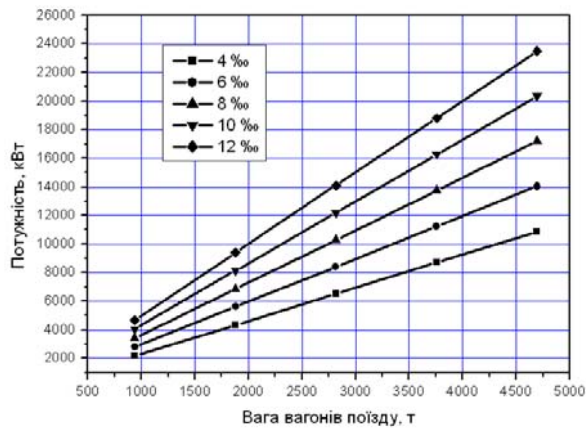


Рис. 1. Поїзд складається з піввагонів з $q_0 = 23,475$ т при русі по ланковій колії

Використовуючи отримані раніш співвідношення побудуємо графічні залежності $v = f(m_B)$ при умовах $i_p = \text{const}$, $P_{\Sigma N} = \text{const}$ для діапазону потужностей електровозів від 5000 кВт до 11000 кВт. Результати представлені на рис. 2.

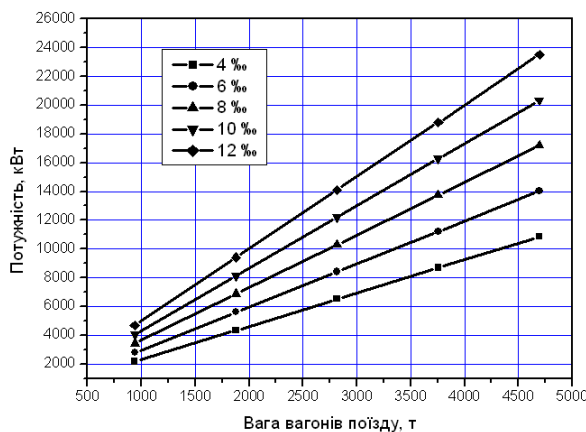


Рис. 2. Залежності $v = f(m_B)$ для потужності 5000 кВт (поїзд складається з 4-х осних хоперів з $q_0 = 25$ т при русі по ланковій колії)

Аналіз представлених на рис. 2 характеристик показує, що доцільно розглядати область сімейства характеристики з діапазоном розрахункового підйому від 4 до 12 ‰, при зміні потужності від 5000 кВт до 11000 кВт з різними типами вагонів. На рис. 3 представлені такі залежності.

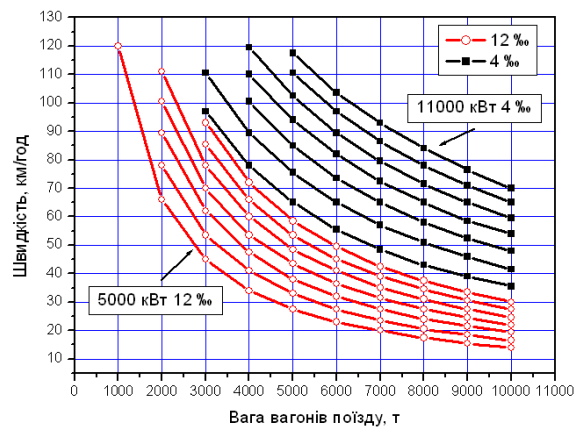


Рис. 3. Залежності $v = f(m_B)$ для потужності електровозу від 5000 кВт до 11000 кВт (поїзд складається з хоперів з $q_B = 25$ т при русі по ланковій колії)

На підставі представлених на рис. 3 сімейства характеристик побудуємо зону швидкостей поїзду, який складається з різної кількості вагонів-хоперів та цистерн, яку можуть реалізувати електровози потужністю від 5000 кВт до 11000 кВт, з діапазоном розрахункового підйому від 4 до 12 ‰. Ця зона (рис. 4) отримана з граничних характеристик сімейства залежностей $v = f(m_B)$.

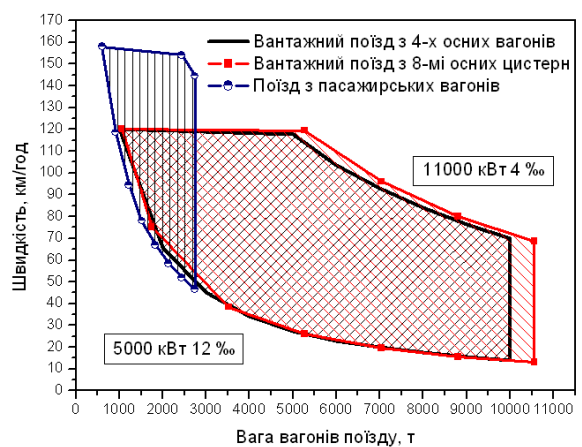


Рис. 4. Зона швидкостей пасажирського та вантажного поїзду різної ваги з електровозами різної потужності

Також на рис. 4 зображена аналогічна зона для поїзду сформованого з пасажирських вагонів, який рухається з електровозами потужністю від 5000 кВт до 11000 кВт.

Аналіз представлених на рис. 4 зон швидкостей ще раз підтверджує відомий факт – вантажно-пасажирські електровози доцільно будувати тільки при умовах перевезення легкових вантажних поїздів (до 3000 т).

Представлений аналіз лише дозволив визна-

чити взаємний зв'язок потужності силового агрегату електровозу та умов його експлуатації, використовуючи загальновідомі співвідношення.

На другому етапі досліджень по визначенню потужності тягового перетворювача введемо поняття силовий модуль.

Модуль – частина тягового статичного перетворювача, яка по потужності відповідає певній кількості тягових двигунів.

Введемо наступну класифікацію модулів, яка враховує співвідношення «кількість двигунів на один модуль статичного перетворювача» (табл. 2).

Таблиця 2

Класифікація силових модулів

Класифікація модуля	Кількість тягових двигунів на один модуль статичного перетворювача
M1	1
M2	2
M3	3
M4	4
M6	6

Як відомо, останнім часом на електровозах, як пасажирських так і вантажних, кожна з осей має свій тяговий двигун. Це забезпечує можливість будувати потужні електровози з малою кількістю осей. На практиці використовують кількість осей кратну двом (на один візок), або трьом.

Односекційні електровози традиційно виконують у 4-х вісному, або 6-ти вісному виконанні, виходячи з цього на 4-х вісному електровозі можливо використовувати модулі M1, M2, M4, а на 6-ти вісному: M1, M2, M3, M6. Тобто, тяговий статичний напівпровідниковий перетворювач 4-х вісного електровозу може складатися з 4-х модулів M1, або 2-х модулів M2, або одного M4. Аналогічно для 6-ти вісного електровозу: 6 модулів M1, 3 модуля M2, 2 модуля M3 або оди модуль M6.

Задаючись значеннями потужностей тягового двигуна в діапазоні від 900 до 1800 кВт та приймаючи односекційний електровоз 4-х або 6-ти вісним, побудуємо залежність:

$$P_{\Sigma N} = f(P_{\text{дв}}) \text{ при } N_{\text{д}} = \text{const},$$

де $N_{\text{д}}$ – кількість тягових двигунів (осей),

$P_{\text{дв}}$ – потужність тягового двигуна.

На рис. 5 представлена отримана залежність, де представлені дві зони, які відповідають 4-х вісному та 6-ти вісному односекційному електровозу.

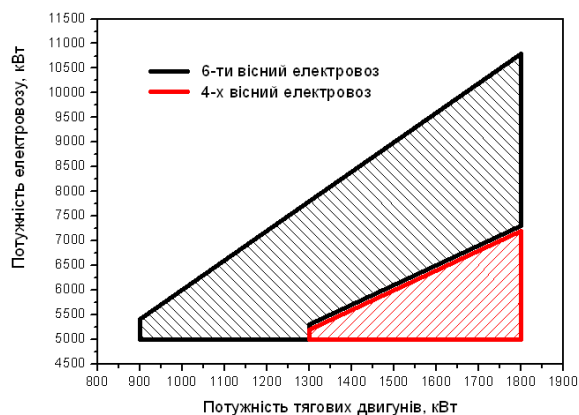


Рис. 5. Залежності $P_{\Sigma N} = f(P_{\text{дв}})$ для потужності тягового двигуна від 900 кВт до 1800 кВт

Використовуючи отримані залежності та співвідношення визначимо необхідну потужність модулів при різних видах тягових двигунів.

У теперішній час є можливість створити колекторні тягові двигуни пульсуючого струму потужністю до 1300 кВт [9], що у відповідності до рисунку 5 обмежує області використання колекторних тягових двигунів тільки на 6-ти вісних односекційних електровозах. Максимальну потужність електровозу (рис. 5) буде дорівнювати 7800 кВт. Приймаючи коефіцієнт перевантажувальної здатності колекторної електричної машини рівним $k_{\text{пзд}} = 1,5 \dots 2,0$ [10], та враховуючи ще 30 % запасу по потужності перетворювача (див. тяговий перетворювач ВІП-4000УХЛ2 на початку), отримаємо такий коефіцієнт запасу по потужності перетворювача:

$$k_{\text{зпп}} = k_{\text{пзд}} (1 + 0,3) = 1,3 \cdot k_{\text{пзд}}.$$

Потужність модуля тягового перетворювача визначаємо за виразом:

$$P_{\text{MN}} = (1,3 \cdot k_{\text{пзд}} \cdot P_{\text{дв}}) \cdot N_{\text{д}}.$$

Тоді потужність тягового перетворювача буде визначатися за наступним виразом:

$$P_{\text{тп}} = P_{\text{MN}} \cdot K_{\text{м}},$$

де $K_{\text{м}}$ – кількість силових модулів у складі тягового перетворювача.

У табл. 3 представлено розрахунок потужності силових модулів тягового перетворювача для 6-ти вісного електровозу з колекторними тяговими двигунами постійного струму потужністю 1300 кВт.

У порівнянні з електричними машинами постійного струму потужність асинхронних і вентильних (синхронних) тягових двигунів не об-

межуються щіточно-колекторним вузлом, тому 4-х вісні електровози, з потужністю кожного з двигунів понад 1300 кВт, доцільно будувати з асинхронними або вентильними тяговими двигунами (далі тягові двигуни змінного струму).

Таблиця 3

Потужність силових модулів для електровозу з тяговими колекторними двигунами постійного струму

Модуль	P_{MN} , кВт	K_M	P_{TP} , кВт
М1 ($N_D = 1$)	3380	6	20280
М2 ($N_D = 2$)	6760	3	
М3 ($N_D = 3$)	10140	2	
М6 ($N_D = 6$)	20280	1	

Коефіцієнт перевантажувальної здатності тягових асинхронної з короткозамкненим ротором та синхронної електричних машин відповідно дорівнюють 0,7...1,8 та 2,0 [10].

Для порівняння потужностей силових модулів для електровозів з двигунами постійного (пульсуючого) струму та змінного струму, доцільно ввести поняття питома потужність модуля і яка визначається як відношення потужності модуля тягового перетворювача до потужності одного тягового двигуна, тобто:

$$\Delta p_{MN} = \frac{P_{MN}}{P_{ДВ}} = \frac{(1,3 \cdot k_{ПЗД} \cdot P_{ДВ}) \cdot N_D}{P_{ДВ}} = 1,3 \cdot k_{ПЗД} \cdot N_D.$$

Як бачимо з отриманого виразу питома потужність залежить від перевантажувальної здатності тягового двигуна та кількості тягових двигунів на один модуль.

Представимо у вигляді таблиці (табл. 4) розрахунок питоми потужності силових модулів з тяговими двигунами змінного та постійного струмів.

Зменшення питоми потужності силових модулів при використанні асинхронних тягових двигунів змінного струму по відношенню до тягових двигунів синхронних та постійного струму представлено у табл. 5. Розрахунок проведено за виразом:

$$\Delta p_{MN} \% = \frac{\Delta p_{MN} ДПС - \Delta p_{MN} АД}{\Delta p_{MN} ДПС} \cdot 100 \%.$$

Таблиця 4

Питома потужність силових модулів з тяговими двигунами змінного та постійного струмів

Модуль	Вид тягового двигуна		
	Постійного струму $k_{ПЗД} = 2,0$	Асинхронний с КЗР $k_{ПЗД} = 1,8$	Синхронний $k_{ПЗД} = 2,0$
М1 ($N_D = 1$)	2,6	2,3	2,6
М2 ($N_D = 2$)	5,2	4,7	5,2
М3 ($N_D = 3$)	7,8	7,0	7,8
М4 ($N_D = 4$)	10,4	9,4	10,4
М6 ($N_D = 6$)	15,6	14,0	15,6

Варіант порівняння питоми потужності синхронних тягових двигунів з двигунами постійного струму не розглядаємо, оскільки виконується рівність (див. табл. 4):

$$\Delta p_{MN} ДПС = \Delta p_{MN} АД.$$

Таблиця 5

Співвідношення питомих потужностей силових модулів з тяговими двигунами змінного та постійного струмів

Модуль	$\Delta p_{MN} ДПС$	$\Delta p_{MN} АД$	$\Delta p_{MN} \%, \%$
М1 ($N = 1$)	2,6	2,3	11,54
М2 ($N = 2$)	5,2	4,7	9,62
М3 ($N = 3$)	7,8	7,0	10,26
М4 ($N = 4$)	10,4	9,4	9,62
М6 ($N = 6$)	15,6	14,0	10,26

Аналіз представлених у табл. 5 результатів дозволяє зробити наступні висновки.

Для 4-х вісного електровозу з асинхронними тяговими двигунами, у порівнянні з використанням двигунів постійного струму або синхронних, доцільно використовувати модулі статичного напівпровідникового перетворювача у такому порядку: М1, М2 або М4.

Аналогічно для 6-ти вісного електровозу з асинхронними тяговими двигунами доцільно використовувати модулі статичного напівпровідникового перетворювача у такому порядку: М1, М3 або М6, М2.

Найбільший ефект, відносно до зменшення потужності модулю, при використанні асинхронних тягових двигунів дає комплектування тягового перетворювача з модулів М1 (відносне зменшення питомої потужності складає 11,54 %).

Крім того використання модулів М1 є привабливим з точки зору надійності тягового приводу електровозу у цілому, оскільки вихід з ладу одного модуля М1 призведе до виключення з роботи тільки одного тягового двигуна. Використання ж модулів М4 (для 4-х вісного електровозу) або М6 (для 6-ти вісного електровозу) є недоцільним з точки зору надійності тягового приводу у цілому по зрозумілих причинах.

Слід зазначити, що використання того, або іншого типу модуля у складі статичного перетворювача визначається не тільки потужністю, але й масогабаритними показниками модуля. Може статися таке, що розташувати у доступному об'ємі 6-ти вісного односекційного електровозу шести модулів М1 неможливо, а трьох модулів М2 або двох М3 або ж одного М6 достатній простір кузова електровозу дозволяє.

Але порушені вище питання надійності та масогабаритних показників модулів різних типів є тема окремих досліджень.

Загальні висновки. Представлений порівняльний аналіз питомих потужностей силових модулів тягових перетворювачів електровозів з двигунами постійного (пульсуючого) та змінного струму (однакової потужності) вказує, що будувати електровози з тяговими двигунами змінного струму (асинхронні з короткозамкненим ротором) доцільно не тільки тому, що останні характеризуються більш високими експлуатаційними показниками, а крім того, для живлення цих двигунів потрібні перетворювачі меншої потужності по відношенню

до одного тягового двигуна.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Солодунов А. М. Преобразовательные устройства электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями. / А. М. Солодунов, Ю. М. Иньков, Г. Н. Коваливкер, В.В. Литовченко. / Под ред. А. М. Солодунова. – Рига: Зинантне, 1991. – 351 с.
2. Розенфельд В. Е. Теория электрической тяги. / В. Е. Розенфельд, И. П. Исаев, Н. Н. Сидоров. – М.: Транспорт, 1983. – 328 с.
3. Дубровский З. М. Грузовые электровозы переменного тока: Справочник. / З. М. Дубровский В. И. Попов, Б. А. Тушканов. – М.: Транспорт, 1991. – 471 с.
4. Тушканов Б. А. Электровоз ВЛ85: Руководство по эксплуатации. / Б. А. Тушканов, Н. Г. Пушкарев, Л. А. Позднякова, В. П. Ярош и др. – М.: Транспорт, 1992. – 480 с.
5. Ротанов Н. А. Проектирование систем управления электроподвижным составом. / Н. А. Ротанов, Д. Д. Захарченко, А. В. Плакс / Под ред. Н. А. Ротанова. – М.: Транспорт, 1986. – 327 с.
6. Гребенюк П. Т. Правила тяговых расчетов для поездной работы / П. Т. Гребенюк, А. Н. Долгунов, О. А. Некрасов, А. Л. Лисицын, П. П. Стромский. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
7. Цыганкова В. И. Вагоны пассажирские и грузовые колеи 1520 мм / В. И. Цыганкова, Т. Н. Зайцева. – М.: Желдориздат, 2004. – 192 с.
8. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СРСР. – М.: Транспорт, 1989. – 176 с.
9. Захарченко Д. Д. Подвижной состав электрических железных дорог. Тяговые электрические машины и трансформаторы. / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов, Е. В. Горчаков, П. Н. Шляхто. – М.: Транспорт, 1968. – 296 с.
10. Винокуров В. А. Электрические машины железнодорожного транспорта. / Д. А. Попов. – М.: Транспорт, 1986. – 511 с.

Надійшла до редколегії 23.11.07.

РОЗШИРЕНІ МОЖЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРЕБУДОВИ ПЛАНУ ПІД ВИСОКІ ШВИДКОСТІ ПОЇЗДІВ У ПРОГРАМІ RWPLAN 1.3.4

Розглядається можливість підвищення швидкості поїздів за рахунок перебудови плану в межах існуючого земляного полотна.

Рассматривается возможность повышения скорости поездов за счет переустройства плана в границах существующего земляного полотна.

The opportunity of increase of speed of trains is considered due to a reorganization of the plan in borders of an existing earthbed.

Як відомо, план залізничної лінії і його стан багато в чому визначають економічні показники, умови і швидкості руху потягів, а також комфортність їзди.

Сьогодні для вирішення задач плану часто використовуються методики з епохи «ручних» розрахунків; пошук проектних параметрів плану колії підміняється задачами утримання колії без точного визначення положення колії в плані; вирівнювання плану проводиться по короткій базі колієвимірального вагона, при цьому стан плану колії між кривими практично не оцінюється; замість інтегральної оцінки стану плану виконується оцінка в окремих точках колії. Крім того, у практиці роботи із планом залізничної колії існує ряд сталих помилкових поглядів. Найбільш поширені з них такі:

- передбачається, що три сусідні точки існуючої колії лежать на круговій кривій, і ця помилка лежить в основі практично всіх сучасних методів, приводячи до похибок, особливо на початку і в кінці перехідних кривих, що не дозволяє правильно поставити їх у проектне положення;

- будь-яка зйомка плану вважається достатньо точною, і в розрахунках використовуються результати зйомки без якого-небудь аналізу і зрівнювання, що не дозволяє з достатньою точністю оцінити параметри плану, особливо на довгих ділянках;

- при зйомці плану припускають, що між окремими кривими є ідеальні прямі ділянки, у результаті на таких начебто прямих спостерігається незадовільна динаміка руху поїздів;

- у розрахунках закладається, що перша і остання пари точок зйомки точно фіксують дирекційні кути прямих підходів на початку і в кінці знятої ділянки, у результаті місця стику-

вання цієї ділянки з прямими знаходяться в незадовільному стані;

- розрахунки в багатьох випадках виконуються на основі методу евольвент по одній з рейок, а не по осі колії, в результаті параметри плану, які виносяться на поздовжній профіль, не відповідають реальним;

- через відсутність методик розрахунку приймається, що криві сусідніх колій обов'язково повинні бути концентричними, що на практиці практично не зустрічається, у результаті не перевіряється достатність міжколійних відстаней з позиції безпеки руху поїздів.

Автором розроблена програма RWPlan, у якій відсутні названі недоліки і, окрім цього, реалізований комплексний підхід до вирішення проектних задач, а також математичні моделі, які з високою точністю описують існуюче і проектне положення залізничної колії і багато інших унікальних можливостей [1].

При оптимізації проектного рішення крім відомих критеріїв у вигляді мінімуму суми квадратів або модулів рихтувань запропонований новий критерій - мінімум суми витрат на виконання робіт. У цьому критерії враховуються як витрати на безпосередньо рихтування, так і вартість додаткового баласту або перекладання колії і робіт з розширення або спорудження нового земляного полотна. У процесі розрахунку проектувальник відразу бачить, до якого збільшення або зменшення витрат приведе те або інше рішення.

Версія програми RWPlan 1.3.4 дозволяє вирішувати практично будь-які задачі реконструкції плану: подовження прямих вставок і перехідних кривих, збільшення радіусів, зсув осі колії вздовж прямих і кривих, врізання стрілочного перевалу в криву і багато інших.

Дуже ефективним виявилось використання

програми для вирішення задачі підвищення швидкості руху на цілих напрямках. Дані про план лінії заносяться в програму безпосередньо з поздовжнього профілю, після чого створюється координатна модель цього плану і файл псевдозйомкаи всього напрямку. На основі отриманої інформації в програмі робляться розрахунки реконструкції плану з максимальним підвищенням швидкості руху. Отримані параметри плану передаються безпосередньо в програму тягових розрахунків.

Як приклад розглянемо перебудову плану ділянки Хутір Михайлівський – Конотоп з метою підвищення швидкості руху поїздів. Для аналізу скористаємось інформацією про план колії, яка нанесена на поздовжньому профілі.

Хутір-Михайлівський

Конотоп

Рис. 1. План ділянки, що розглядається

Створимо відповідно до вимог програми RWPlan текстовий файл з параметрами плану. На основі цього файла в програмі перевіримо пікетаж ділянки й тип запису довжини кривих.

У результаті отримуємо файл параметрів плану, склад якого наведений у табл. 1. На основі параметрів плану в програмі RWPlan створюємо файл координатної псевдозйомки.

Завантаживши цей файл і параметри плану, отримуємо повноцінну модель плану ділянки (рис. 1).

Для існуючого стану плану колії підбираємо підвищення зовнішньої рейки, при яких швидкість руху поїздів «Столичний експрес» буде максимальною (рис. 2).

Розрахунок підвищень та допустимих швидкостей

Середньозважена швидкість на ділянці, км/год

Допустиме непогашене прискорення, м/с² Допустима швидкість зростання прискорення, м/с³ Допустима швидкість опускання колеса, мм/с

h - підвищення зовнішньої рейки, мм, i - ухил відводу підвищення у тисячних

Позначення причин обмеження швидкостей: НП - непогашене прискорення; Va - швидкість зростання прискорень; Vк - швидкість опускання колеса; Далі для складених кривих: VaL2 - зростання прискорень на сусідніх перехідних; VaL1 - зростання прискорень на одній з перехідних; НП2 - непогашене прискорення на сусідніх кривих; VaП - зростання прискорень на прямій вставці; НП5 - непогашене прискорення на S-кривій; VaS - зростання прискорень на S-кривій; Va2 - зростання прискорень на односторонніх кривих; max - максимально-допустима на даній кривій; Vгр - мінімальна швидкість для вантажних поїздів.

Vmax=84 Vгр=55

n	L	R	K	h	i	НП	Va	Vк	VaL2	VaL1	НП2	VaП	НП5	VaS	Va2	max	Vгр
1	10				1.5		143	143									
2	10	-4545	30	15	1.5	254	143	143								143	
3	10	0	30	0	1.5		131	143									
4	10	3571	21	15	1.5	225	131	143								131	
5	10	0	1527	0	0.8		128	168									
6	20	-2941	199	15	1.5	204	122	143								122	
7	10	0	8275	0	0.8		156	158									
8	50	2000	266	40	0.5	180	178	252								156	
9	80																

Розрах. Vmax

Рис. 2. Підбір підвищень для існуючого стану плану

Таблиця 1

Існуючий план – 203 елементи

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
10			
	Ліва	4545	30,24
10			
	Пряма		30
10			
	Права	3571	20,51
10			
	Пряма		1527,15
20			
	Ліва	2941	199,27
10			
	Пряма		8274,73
50			
	Права	2000	266,19
80			
	Пряма		2684,41
80			
	Ліва	2100	535,84
50			
	Пряма		1030,66
60			
	Ліва	2083	129,64
40			
	Пряма		409,76
100			
	Права	862	209,02
120			
	Пряма		443
80			
	Ліва	1065	44,46
80			
	Пряма		557,52
40			
	Права	2000	120,13
40			
	Пряма		8900,47
50			
	Ліва	980	160,51
70			
	Пряма		563,19
20			
	Права	4167	43,64
40			
	Права	781	178,52
100			
	Пряма		1923,14
50			
	Ліва	2270	156,2
50			
	Пряма		1635,5
30			
	Ліва	1668	55,08
60			
	Пряма		503,3
40			

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
	Права	1390	15,83
40			
	Пряма		11653,1
60			
	Ліва	877	4,39
30			
	Пряма		163,71
40			
	Ліва	1087	11,02
40			
	Пряма		1095,88
10			
	Ліва	5000	38,36
10			
	Пряма		124,64
20			
	Ліва	850	117,35
20			
	Пряма		423,85
10			
	Права	10000	70,18
10			
	Пряма		410,12
70			
	Ліва	2083	223,25
60			
	Пряма		993,95
10			
	Ліва	10000	49,81
10			
	Пряма		30
10			
	Права	7148	40,3
10			
	Пряма		75
10			
	Права	10000	29,45
10			
	Пряма		40,01
10			
	Ліва	8333	40,6
10			
	Пряма		1217,13
80			
	Права	2000	73,43
120			
	Пряма		358,15
80			
	Ліва	1389	209,75
50			
	Ліва	1000	89,97
100			
	Пряма		274,73
50			
	Права	2632	60,2

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
10			
	Пряма		55,11
20			
	Ліва	2760	80,43
20			
	Пряма		371,68
10			
	Ліва	2940	15,06
10			
	Пряма		94,7
30			
	Права	5000	5,27
20			
	Пряма		302,72
20			
	Права	3333	4,9
10			
	Пряма		60,01
10			
	Ліва	5000	39,63
10			
	Пряма		444,71
50			
	Права	2504	180,76
30			
	Пряма		307
30			
	Ліва	2940	15
20			
	Пряма		65
30			
	Права	3333	24,65
20			
	Пряма		101,04
20			
	Права	2381	15,4
20			
	Пряма		70
30			
	Ліва	3335	25
10			
	Пряма		3510,7
20			
	Ліва	8332	22,4
10			
	Пряма		17,6
10			
	Права	4166	51,2
10			
	Пряма		282,28
100			
	Права	1020	402,22
90			
	Пряма		299,75
10			

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
	Ліва	3120	35,35
20			
	Право		79,63
10			
	Право	2940	39,86
10			
	Право		334,74
20			
	Право	2940	10,46
20			
	Право		60,01
40			
	Ліва	2980	15,01
10			
	Право		319,49
10			
	Право	6247	44,56
20			
	Право		15
10			
	Ліва	7143	65,58
20			
	Право		4673,02
70			
	Ліва	1220	390,55
70			
	Право		790,35
10			
	Ліва	2941	80,09
10			
	Право		71,11
10			
	Право	2941	60,09
30			
	Право		62,71
20			
	Право	4507	104,7
30			
	Право		38,79
40			
	Ліва	2000	764,63
50			
	Право		129,38
10			
	Право	2941	124,84
20			
	Право		173,95
30			
	Право	2632	94,7
20			
	Право		79,74
40			
	Ліва	2500	90,17
40			
	Право		117,29
40			
	Право	2083	289,61
40			

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
	Право		388,61
80			
	Право	769	154,58
90			
	Право		474,25
110			
	Право	862	239,56
90			
	Право		1910,4
50			
	Право	1935	90
30			
	Право		659,8
120			
	Ліва	833	434,9
60			
	Ліва	1000	264,52
120			
	Право		435,22
130			
	Право	794	84,6
130			
	Право		154,4
60			
	Ліва	758	44,93
60			
	Право		573,65
90			
	Право	1042	135,54
100			
	Право		172,08
10			
	Право	2941	30,4
10			
	Право		56,95
20			
	Ліва	3848	49,55
20			
	Право		3000,9
50			
	Право	2083	485
80			
	Право		227,95
40			
	Право	2083	335,36
50			
	Право		4447,94
50			
	Ліва	2000	225,32
40			
	Право		242,92
20			
	Ліва	5000	19,63
20			
	Право		44,99
10			
	Право	2000	5,02
10			

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
	Право		335,42
20			
	Ліва	1923	4,75
20			
	Право		85,06
20			
	Право	3623	15,34
30			
	Право		387,05
20			
	Ліва	2086	32,21
20			
	Право		419,78
40			
	Ліва	781	49,95
50			
	Ліва	2079	194,2
10			
	Право		256,6
30			
	Ліва	2174	215,05
80			
	Право		3882,94
10			
	Ліва	3853	45
10			
	Право		27
10			
	Право	9768	144,8
10			
	Право		25,2
10			
	Право	2267	22,2
10			
	Право		62,8
10			
	Ліва	4211	58,4
10			
	Право		3660,61
10			
	Ліва	6250	34,54
10			
	Право		91,56
10			
	Право	6250	20
10			
	Право		2012,89
200			
	Ліва	1064	495
200			
	Право		1369,91
100			
	Право	2156	407
100			
	Право		2088,72
80			
	Ліва	1042	400,44
80			

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
	Пряма		420,75
100			
	Права	1000	334,07
100			
	Пряма		2298,93
20			
	Ліва	5553	34,61
10			
	Пряма		35
20			
	Права	3574	14,7
10			
	Пряма		105,7
20			
	Права	6243	15,4
10			
	Пряма		69
10			
	Ліва	5556	30,1
10			
	Пряма		887,5
20			
	Ліва	6247	44,5

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
10			
	Пряма		40
10			
	Права	4541	30,2
10			
	Пряма		385,79
10			
	Ліва	6378	60,91
10			
	Пряма		30
10			
	Права	5556	80,2
10			
	Пряма		276,4
30			
	Ліва	643	15
30			
	Пряма		434,03
30			
	Ліва	926	134,7
10			
	Ліва	2174	544,66
10			

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
	Пряма		1111
10			
	Ліва	12500	81,81
10			
	Пряма		30
10			
	Права	5556	20,4
10			
	Пряма		458,99
20			
	Ліва	3123	25,4
10			
	Пряма		60
10			
	Права	7143	110,9
10			
	Пряма		264,7
50			
	Права	962	245,26
10			
	Права	1389	54,7
30			

Таблиця 2

Проектний план – 199 елементів

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
0			
	Ліва	7000	59,54
0			
	Пряма		20,04
0			
	Права	7000	57,39
0			
	Пряма		1485,98
50			
	Ліва	2861	158,45
50			
	Пряма		8249,00
70			
	Права	1989	259,36
70			
	Пряма		2697,15
65			
	Ліва	2100	535,84
65			
	Пряма		1022,24
65			
	Ліва	2043	111,19
65			
	Пряма		386,59
135			
	Права	840	175,88
135			
	Пряма		432,71

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
75			
	Ліва	1215	66,99
75			
	Пряма		540,26
75			
	Права	1839	72,24
75			
	Пряма		8868,53
105			
	Ліва	925	103,13
105			
	Пряма		553,48
165			
	Права	694	70,60
160			
	Пряма		1903,76
60			
	Ліва	2246	144,02
60			
	Пряма		1612,81
75			
	Ліва	1583	19,98
75			
	Пряма		470,89
60			
	Права	2202	28,45
60			
	Пряма		11599,5

L, м	Сторон. кривих	R, м	K, м
75			
	Ліва	1665	20,00
75			
	Пряма		77,90
70			
	Ліва	1975	21,24
70			
	Пряма		1056,59
0			
	Ліва	7000	59,95
0			
	Пряма		103,51
70			
	Ліва	842	66,99
70			
	Пряма		417,31
0			
	Права	7002	56,12
0			
	Пряма		431,62
60			
	Ліва	2088	228,94
60			
	Пряма		1005,29
0			
	Ліва	7936	48,98
0			
	Пряма		39,29

L , м	Сторон. кривих	R , м	K , м	L , м	Сторон. кривих	R , м	K , м	L , м	Сторон. кривих	R , м	K , м
0				0				35	35	35	
	Права	7902	56,53		Права	7330	112,50		Пряма		22,39
0				0				70			
	Пряма		68,25		Пряма		37,89		Ліва	1997	738,57
0				0				70			
	Права	8743	25,23		Ліва	7000	94,29		Пряма		103,24
0				0				50			
	Пряма		97,09		Пряма		3491,86		Права	2800	83,21
0				0				50			
	Ліва	7327	36,18		Ліва	10200	29,70		Пряма		153,68
0				0				55			
	Пряма		1216,93		Пряма		38,48		Права	2444	56,27
80				0				55			
	Права	2098	101,93		Права	7000	88,88		Пряма		61,41
80				0				55			
	Пряма		373,71		Пряма		256,41		Ліва	2411	70,66
70				130				55			
	Ліва	1446	143,62		Права	1007	361,30		Пряма		101,02
80				130				65			
	Ліва	1102	153,17		Пряма		251,40		Права	2064	261,65
80				40				65			
	Пряма		262,30		Ліва	4690	27,87		Пряма		364,26
70				40				115			
	Права	2790	25,21		Пряма		52,75		Права	746	117,71
70				40				115			
	Пряма		8,76		Права	4520	26,99		Пряма		477,66
45				40				80			
	Ліва	2948	61,92		Пряма		243,19		Права	871	262,92
45				40				80			
	Пряма		353,03		Права	7000	20,01		Пряма		1907,84
0				40				75			
	Ліва	7050	80,54		Пряма		87,95		Права	1727	41,03
0				40				75			
	Пряма		31,80		Ліва	4900	20,64		Пряма		636,19
0				40				140			
	Права	7350	68,73		Пряма		214,44		Ліва	830	420,41
0				0				80			
	Пряма		324,16		Права	7000	47,44		Ліва	1015	265,79
0				0				90			
	Права	7950	34,73		Пряма		144,07		Пряма		439,32
0				0				170			
	Пряма		55,83		Ліва	7000	51,18		Права	703	20,00
0				0				170			
	Ліва	7150	62,20		Пряма		4651,57		Пряма		139,29
0				110				65			
	Пряма		429,44		Ліва	1202	343,76		Ліва	829	49,76
55				110				65			
	Права	2478	163,48		Пряма		758,88		Пряма		550,24
55				55				135			
	Пряма		281,68		Ліва	2448	20,04		Права	991	84,91
0				55				135			
	Ліва	7000	90,83		Пряма		40,47		Пряма		138,99
0				50				0			
	Пряма		49,51		Права	2643	22,07		Права	7000	87,37
0				50				0			
	Права	7000	96,37		Пряма		51,88		Пряма		23,59
0				30				0			
	Пряма		45,14		Права	4465	96,03		Ліва	7004	122,47

L , м	Сторон. кривих	R , м	K , м	L , м	Сторон. кривих	R , м	K , м	L , м	Сторон. кривих	R , м	K , м
0				0				0			
	Пряма		2976,97		Права	7000	201,53		Ліва	7050	52,50
65				0				0			
	Права	2081	484,00		Пряма		36,75		Пряма		107,88
65				0				0			
	Пряма		217,67		Ліва	7000	106,99		Права	7100	59,06
80				0				0			
	Права	2060	296,63		Пряма		3649,75		Пряма		267,70
80				0				0			
	Пряма		4398,41		Ліва	7000	49,87		Ліва	7350	66,68
170				0				0			
	Ліва	1663	55,24		Пряма		95,40		Пряма		152,44
170				0				0			
	Пряма		178,16		Права	7700	36,97		Права	7000	117,85
0				0				0			
	Ліва	7122	32,22		Пряма		2014,41		Пряма		163,83
0				200				25			
	Пряма		159,12		Ліва	1064	495,00		Ліва	1859	111,97
0				200				30			
	Права	7999	52,64		Пряма		1369,92		Пряма		378,87
0				100				45			
	Пряма		175,89		Права	2156	407,00		Ліва	1020	137,51
0				100				40			
	Ліва	7078	91,48		Пряма		2070,60		Ліва	2184	482,29
0				125				65			
	Пряма		120,79		Ліва	1023	346,68		Пряма		1103,53
0				125				0			
	Права	7000	63,00		Пряма		387,40		Ліва	8000	56,96
0				140				0			
	Пряма		354,26		Права	978	284,52		Пряма		57,68
40				140				0			
	Ліва	2524	20,77		Пряма		2282,19		Права	7000	36,73
40				0				0			
	Пряма		370,49		Ліва	7000	48,93		Пряма		443,74
115				0				0			
	Ліва	862	21,99		Пряма		69,73		Ліва	7400	102,83
70				0				0			
	Ліва	2094	128,55		Права	7000	45,29		Пряма		22,68
80				0				0			
	Пряма		175,72		Пряма		98,97		Права	7030	116,43
165				0				0			
	Ліва	1847	52,58		Права	8000	50,29		Пряма		245,23
190				0				135			
	Пряма		3841,15		Пряма		31,32		Права	944	187,13
0				0				135			
	Ліва	7000	97,81		Ліва	7840	68,49				
0				0							
	Пряма		44,32		Пряма		890,62				

Для розрахунків перебудови плану ділянки розіб'ємо її на 46 фрагментів, кожний з яких розрахуємо окремо. У розрахунках кожного фрагмента скористаємося можливістю програми RWPlan шукати рішення із забезпеченням заданої максимальної швидкості. У цьому випадку при оптимізації проектного рішення шукаються такі комбінації радіусів і довжин перехідних кривих, які забезпечують задану швид-

кість. При цьому встановлюємо обмеження на максимальне рихтування на рівні 200...250 мм, щоб після рихтування колія залишилася в межах існуючого земляного полотна. Як критерій оптимізації використовуємо мінімум вартості перебудови плану (рис. 3).

За наявності більш докладної інформації про узбіччя та робочі відмітки вони можуть бути задані. Оскільки на цій стадії така інформація

ція відсутня, використовується спрощений розрахунок витрат на земляне полотно.

Після оптимізації окремих фрагментів вони

поєднуються в одну проектну модель плану ділянки (табл. 2). Рихтування для проектного варіанта показані на рис. 4.

Алгоритм оцінки витрат

Витрати (у.о.) на рихтування одного метра колії залежно від зсуву S (м)

+ $\times S$ + $\times S \times S$

Зсув (см), за якого вже використовується перекладання колії

Вартість (у.о.) перекладання одного метра колії

- витрати (у.о.) на метр куб. баласту при зсувах більше мм

середній висоті баластної призми і ширині по верху, см

☒ Спрощений розрахунок додаткових витрат на земляне полотно

- витрати (у.о.) на метр куб. земполотна при зсувах > мм

і середній робочій відмітці см

Ширина основної площадки нового земляного полотна, см

Зсув (м), за якого влаштовується нове земполотно

Мінімальне розширення, см Середня косогірність 1:

Файл відміток та узбіч

Витрати (у.о.) на метр куб. насипу - Мінімальне узбіччя, м

виймки - Нормальне узбіччя, м

Рис. 3. Алгоритм розрахунків вартості

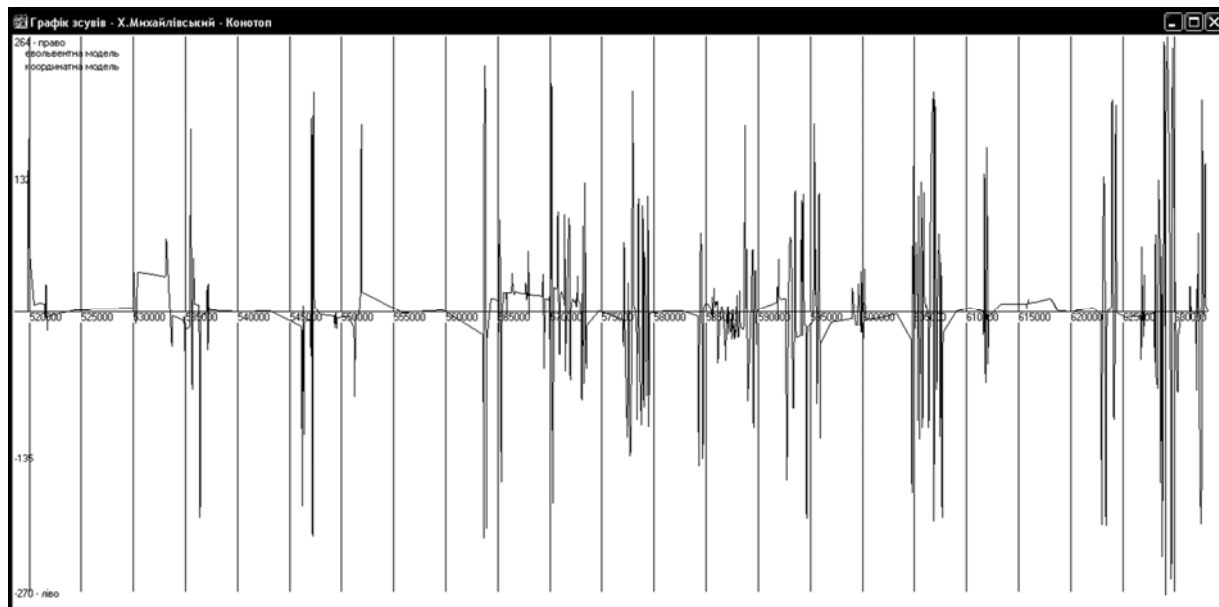
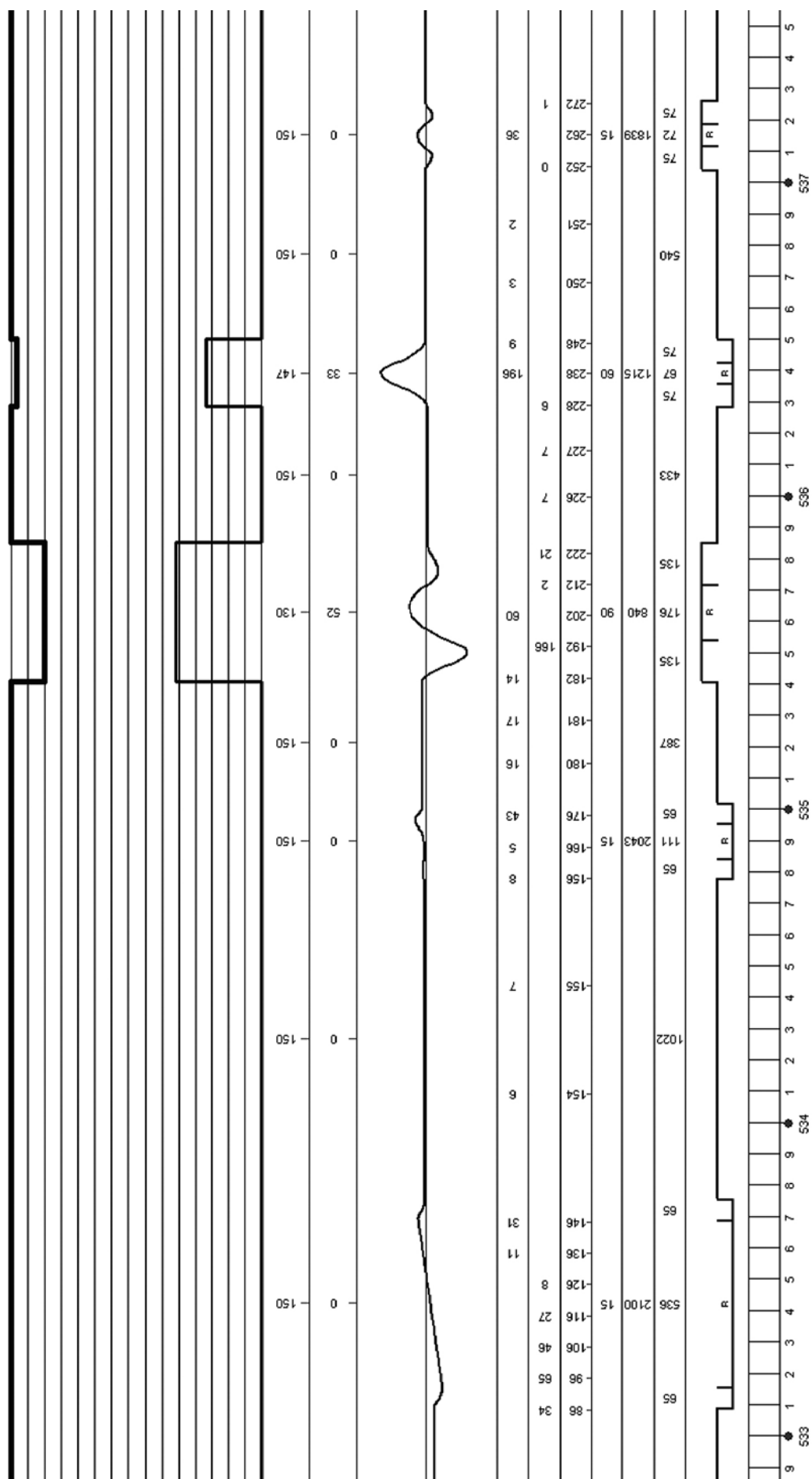


Рис. 4. Рихтування, потрібні для переведення колії в проектне положення

Для проектного стану підбираються значення підвищень і відповідні максимальні швидкості. Отримані результати можуть бути надруковані у вигляді креслення. Фрагмент такого креслення наведений на рис. 5.

Для наочності на рис. 6 показані максимальні швидкості для існуючого плану (пунктир) і для проектного. Також на цьому рисунку показані мінімальні швидкості руху для вантажних поїздів.



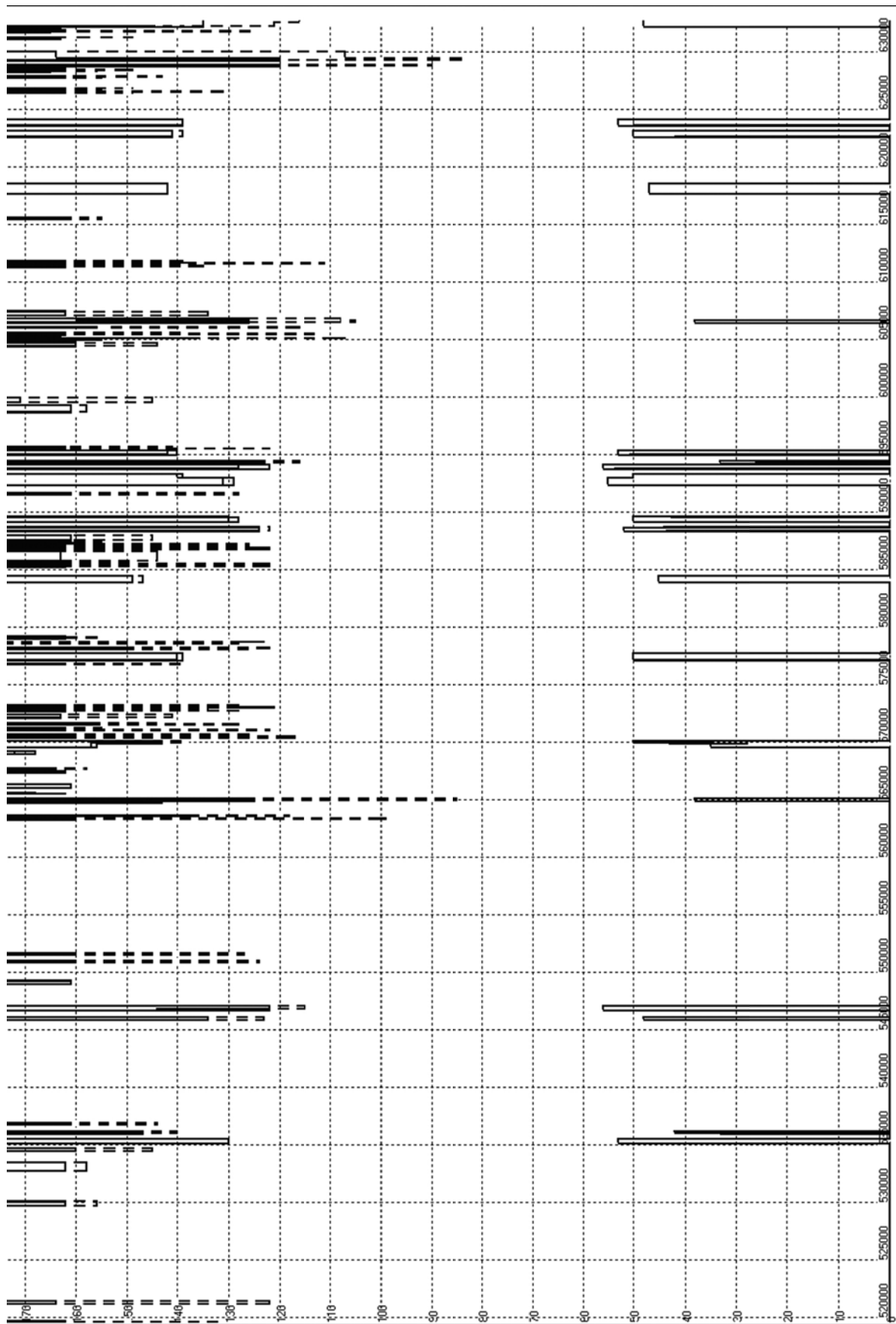


Рис. 6. Обмеження швидкості для існуючого та проектного станів

Отримані моделі плану ділянки для існуючого і проектного станів імпортується в програму тягових розрахунків, де виконуються розрахунки руху різних категорій поїздів по ділянці.

У нашому випадку час руху поїзда в одному напрямку без перебудови плану склав 49 хв 13 с. Після перебудови плану час руху скоротився до 45 хв 57 с. Економія часу склала 1,7 с на 1 км. Середня швидкість зросла зі 140 до 150 км/год. Розрахунки, які виконувалися для інших напрямків, привели до подібних результатів: Гребінка – Полтава – 1,7 с на 1 км; Київ – Львів – 2,5 с на 1 км; Лозова – Сімферополь – 1,6 с на 1 км.

Витрати, які потрібні для рихтування, склали 200 тис. грн (1,7 тис. грн на км). Для інших напрямків це значення складало від 1 до 10 тис. грн на км. Слід зауважити, що при перевлаштуванні плану під час капітального ремонту колії

ніяких додаткових витрат не потрібно, оскільки в цьому випадку нова колія буде укладатися відразу в нове положення.

У той же час слід відзначити, що для реалізації виправлення і розрахунків плану для високих швидкостей повинні застосовуватися більш точні методи зйомки плану. На сьогодні витрати на таку зйомку складають до 5 тис. грн на 1 км, але з використанням нових підходів вони можуть бути суттєво зменшені.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Корженевич І. П. Нові можливості проектування перебудови плану та виправлення кривих при використанні програми RWPlan 1.2 // Залізничний трансп. України. – 2007. – № 5. – С. 79-82.

Надійшла до редакції 22.11.2007.

ВПЛИВ СТАНУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ДІЛЯНКИ І СТРУКТУРИ ПОЇЗДОПОТОКУ НА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ КОЛІЇ

Запропоновано критерій оцінки впливу на колію рухомого складу, що приводить до вичерпання ресурсу підрейкової основи і, з часом, необхідності заміни верхньої будови, з урахуванням стану колії і структури поїздопотоків, що обертається.

Предложен критерий оценки воздействия подвижного состава на железнодорожный путь, приводящего к истощению ресурса подрельсового основания и необходимости замены верхнего строения с учетом состояния пути и структуры поездопотока на участке.

The criterion of an estimation influence a rolling stock on a track which results in the end of a resource the basis under rails and necessities of replacement the top structure in view of a condition of a way and structure of a stream of trains on a site is offered.

Основним критерієм призначення модернізації є пропущений тоннаж [1]. Дійсно, основна робота, яку виконує колія, і від якої відбувається її поступове зношування є сприйняття навантаження від рухомого складу. Звичайно на процес вичерпання ресурсу колії буде впливати не тільки загальний обсяг сприйнятого навантаження, а і його структура, а також стан колії і система ремонтів по відновленню її працездатного стану. Тому необхідно мати критерій, що враховує наведені чинники і надає змогу визначити ступень зношування колії, і як наслідок величину витрат на її ремонт та термін роботи.

Для перерізу колії пропущений тоннаж можна представити як суму ваги, яка передається на нього від кожного колеса, що проїхало. Доцільно розглядати не статичне, а динамічне навантаження з урахуванням ступеня вірогідності.

Механічна робота, яку буде виконувати діюча на переріз колії сила можна визначити як добуток цієї сили на переміщення, яке вона спричиняє. Для колії таким переміщенням буде вертикальний прогин.

Дію від колеса на переріз рейки і відповідний прогин можна визначити за практичними розрахунками колії на міцність [2].

Таким чином пропонується кількісний критерій дії на колію – механічна робота вертикальної сили на переріз колії. Такий показник можна вважати більш розкритою формою пропущеного тоннажу і використовувати для оцінки поступового зношування колії і строків призначення ремонтів, але з урахуванням характеристик рухомого складу і стану колії.

Метою даної роботи є спроба дати порівняльну оцінку впливу структури поїздопотоків і стану ділянки на величину дії на колію і відпо-

відно на швидкість її поступового зношування.

Робота вертикальної сили від одиниці рухомого складу (одного вагона або локомотива) для перерізу колії буде визначатися за формулою

$$R = n_k \cdot P_{\text{екв}}'' \cdot \alpha \cdot z_{\text{max}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{екв}}''$ – вертикальна сила, діюча від візка на рейку, від значення якої обчислюється вертикальний прогин рейко-шпальної решітки;

z_{max} – максимальний прогин рейко-шпальної решітки в точці прикладення сили;

α – коефіцієнт вигину шпали, для переходу від максимального значення прогину до середнього [3];

n_k – кількість коліс.

Значення вертикальної сили ($P_{\text{екв}}''$) і прогину (z_{max}) обчислюються за методикою інженерного розрахунку на міцність, яка затверджена інструкцією ЦП-0117 [2].

Відповідно до запропонованої методики було розраховано роботу вертикальних сил при проходженні по колії різних одиниць рухомого складу в залежності від швидкості руху. Результати розрахунку для ділянки, що має стандартну конструкцію верхньої будови колії (рейки Р65, шпали залізобетонні, баласт щебеневий, безстикова колія) і знаходиться у справному стані (відхилення від норм утримання у межах I...II ступеня, модуль пружності підрейкової основи 50 МПа) показані у вигляді графіків залежності вертикальної сили від швидкості руху, рис. 1-2.

На значення вертикальної сили, яка виконує роботу по прогину рейко-шпальної решітки,

суттєво впливає стан залізничної колії. В роботі запропоновано три стани:

1 – працездатний стан (наявність відхилень I...II ступеня, модуль пружності підрейкової основи 50 МПа);

2 – частково працездатний стан (відхилення

III ступеня, модуль пружності підрейкової основи 30 МПа);

3 – стан, що наблизився до непрацездатного (відхилення IV ступеня, модуль пружності підрейкової основи 15 МПа).

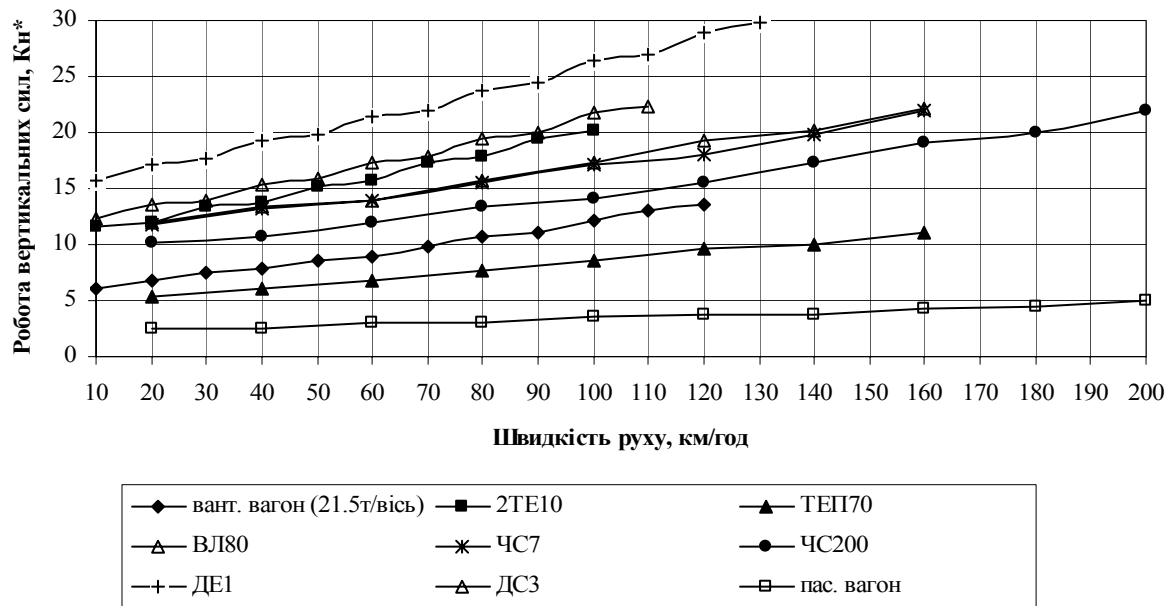


Рис. 1. Залежність роботи вертикальних сил від швидкості руху одиниці рухомого складу

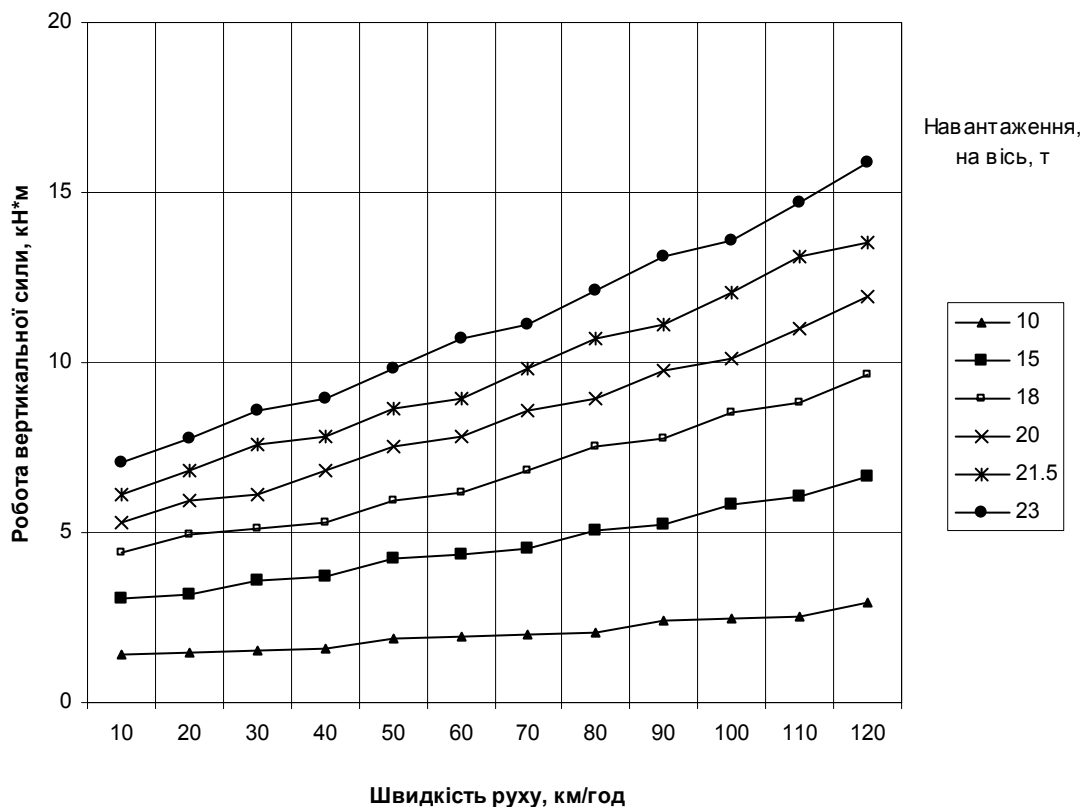


Рис. 2. Залежність роботи вертикальних сил від швидкості руху для одиночного вантажного вагона

Залежності вертикальної роботи від швидкості руху у відповідності до стану колії наведені на рис.

3 для пасажирського вагона і на рис. 4 для вантажного вагона з навантаженням 21,5 т/вісь.

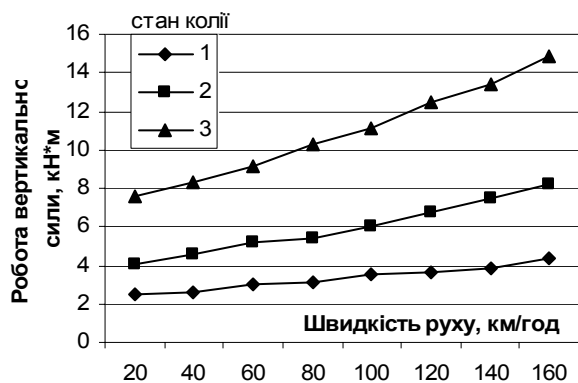


Рис. 3. Залежність вертикальної роботи від швидкості руху для пасажирського вагона з урахуванням стану колії

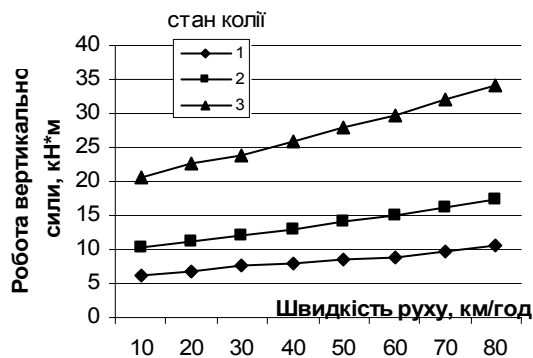


Рис. 4. Залежність вертикальної роботи від швидкості руху для вантажного вагона (21,5 т/вісь) з урахуванням стану колії

Аналіз отриманих результатів розрахунків виконаних для різних одиниць рухомого складу, показав, що зростання роботи вертикальної сили відносно працездатного стану колії (1) майже не залежить від типу рухомого складу і швидкості руху. На рис. 5-6 наведено зміни обсягу роботи вертикальної сили для 2 та 3 станів відносно працездатного стану (1) для пасажирського та вантажного вагонів.

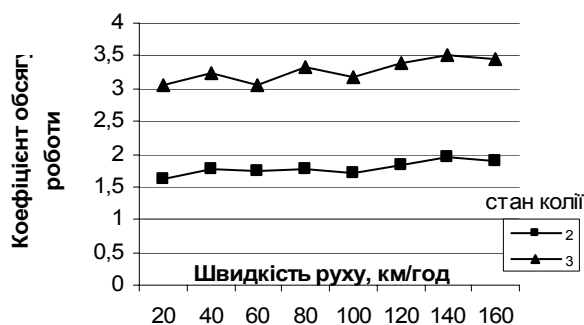


Рис. 5. Зміна обсягу роботи вертикальної сили при погіршенні стану колії для пасажирського вагона

На основі виконаних розрахунків і проведеного аналізу були встановлені коефіцієнти, за допомогою яких можна оцінити стан залізничної

колії при визначенні роботи вертикальної сили. Так для переходу колії в частково працездатний стан необхідно щоб обсяг роботи вертикальних сил збільшився в 1,7 разів; а щоб колія перейшла у непрацездатний стан – в 3,2 рази.

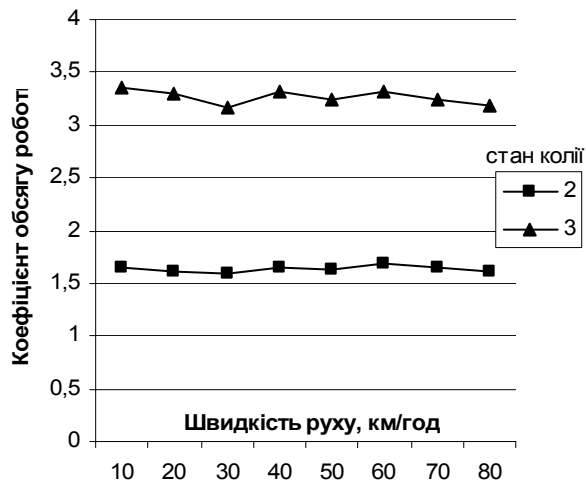


Рис. 6. Зміна обсягу роботи вертикальної сили при погіршенні стану колії для вантажного вагона (21,5 т/вісь)

Для виконання розрахунку з урахуванням поїздопотоків у якості вихідних даних була прийнята ділянка Придніпровської залізниці Дніпропетровськ–П'ятихатки. Конструкція верхньої будови колії: рейки Р65, шпали залізобетонні, баласт щебеневий. Рухомий склад: пасажирські вагони на візках КВЗ-ЦНИИ, вантажні на візках ЦНИИ-ХЗ-0, локомотиви ЧС7 і ВЛ8.

Для аналізу впливу стану колії на роботу вертикальної сили, у проведених розрахунках варіювався модуль пружності підрейкової основи від 10 до 70 МПа і наявність просадок від I до IV ступеня відхилення. Модуль пружності підрейкової основи безпосередньо входить до багатьох формул розрахунку колії на міцність. За ступенем просадок визначалися параметри вертикальної нерівності колії, значення яких впливають на розрахунок відповідного середньоквадратичного відхилення однієї зі складових сили, що діє від колеса на рейку за методикою, запропонованою в [2].

Аналіз отриманих напружень в елементах верхньої будови колії показує, що вони не перевищують допустимі значення для всіх розглянутих станів колії і швидкостей руху. Як і передбачалося відхилення у значеннях модуля пружності підрейкової основи та наявність просадок у дозволених межах [2, 4] не приводять до порушення умов міцності колії. Але тривале збільшення дії на колію (як показано раніше у числовому вигляді буде оцінюватися роботою вертикальної сили) прискорює зношування всіх елементів колії і наближати строк проведення ремонтів.

Для обраної ділянки були проведені розрахунки за формулою (1). Отримана залежність обсягу роботи від модуля пружності підрейкової основи і ступеня просядок. Далі прийняли, що експлуатація ділянки в режимі, для якого визначені строки проведення ремонтів [1], буде відповідати розрахунковому варіанту з модулем пружності 50 МПа і наявністю просядок до I ступеня відхилень (1 стан колії). Тоді можна порівняти дії на колію у вигляді вертикальної роботи від різних одиниць рухомого складу. Відповідні графіки приведені на рис. 7...14.

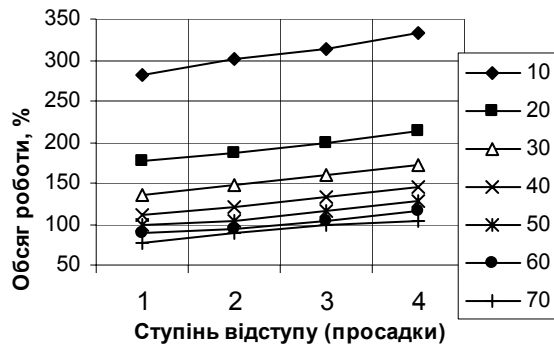


Рис. 7. Зміна обсягу роботи вертикальної сили від ступеня просядок для різних модулів пружності підрейкової основи (локомотив ВЛ8)

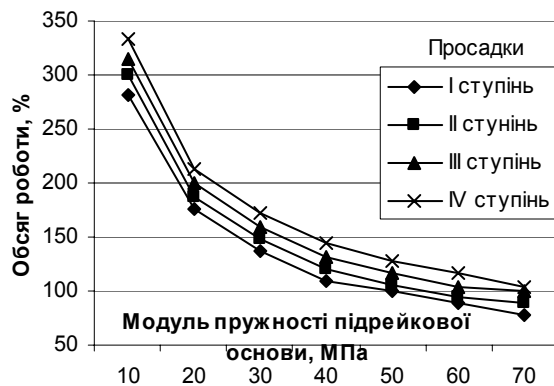


Рис. 8. Зміна обсягу роботи вертикальної сили від модуля пружності підрейкової основи для різних ступенів просядок (локомотив ВЛ8)

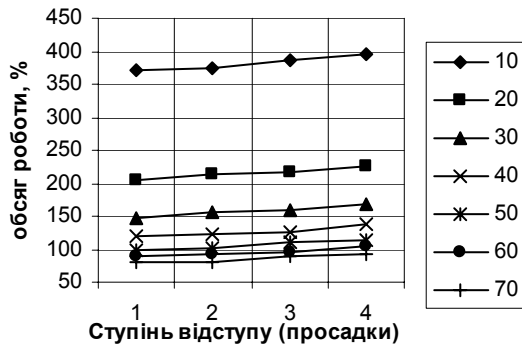


Рис. 9. Зміна обсягу роботи вертикальної сили від ступеня просядок для різних модулів пружності підрейкової основи (вантажний вагон)

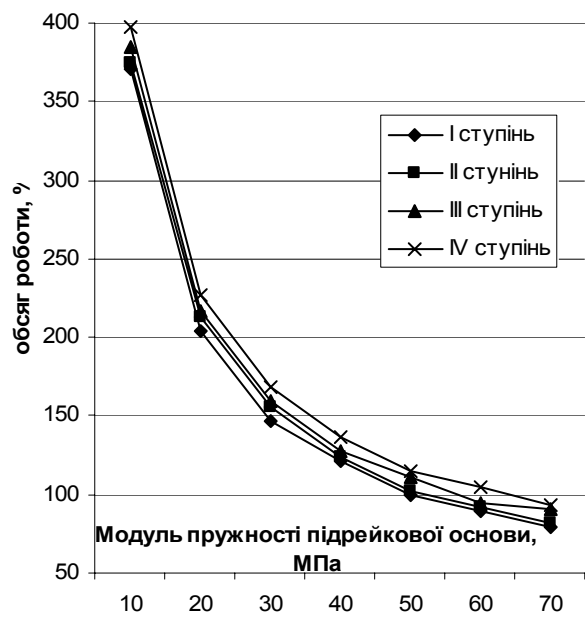


Рис. 10. Зміна обсягу роботи вертикальної сили від модуля пружності підрейкової основи для різних ступенів просядок (вантажний вагон)

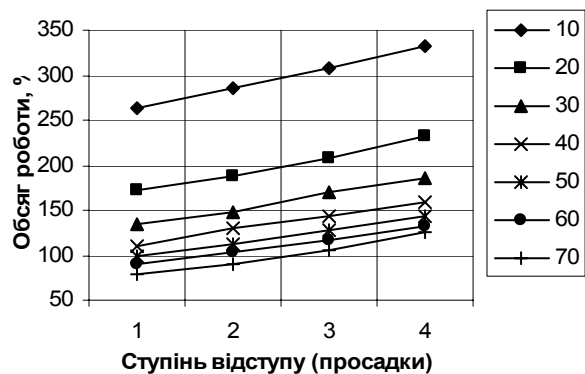


Рис. 11. Зміна обсягу роботи вертикальної сили від ступеня просядок для різних модулів пружності підрейкової основи (локомотив ЧС7)

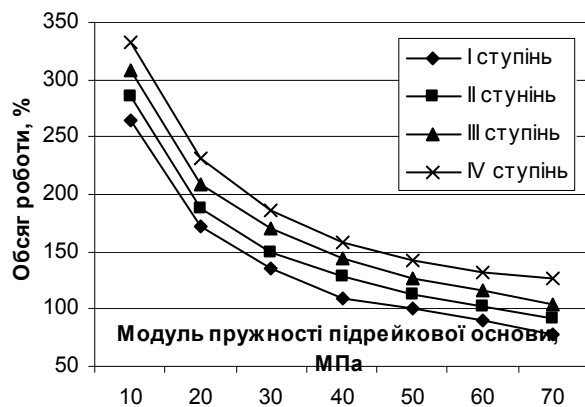


Рис. 12. Зміна обсягу роботи вертикальної сили від модуля пружності підрейкової основи для різних ступенів просядок (локомотив ЧС7)

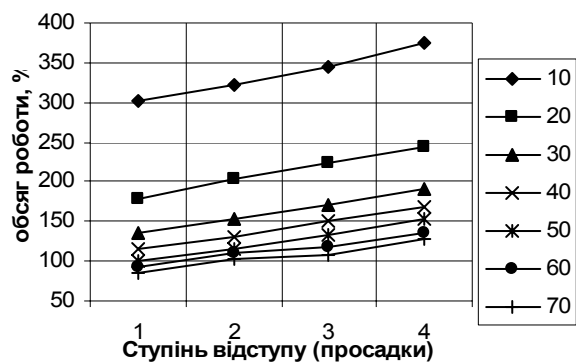


Рис. 13. Зміна обсягу роботи вертикальної сили від ступеня просадок для різних модулів пружності підрейкової основи (пасажирський вагон)

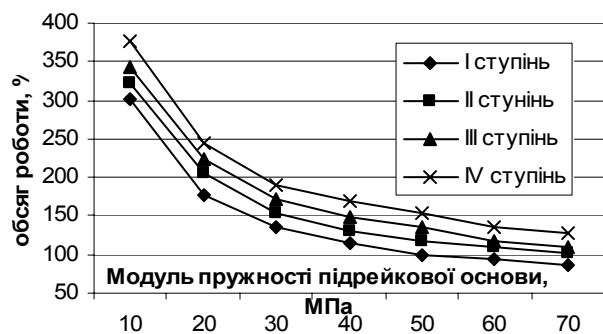


Рис. 14. Зміна обсягу роботи вертикальної сили від модуля пружності підрейкової основи для різних ступенів просадок (пасажирський вагон)

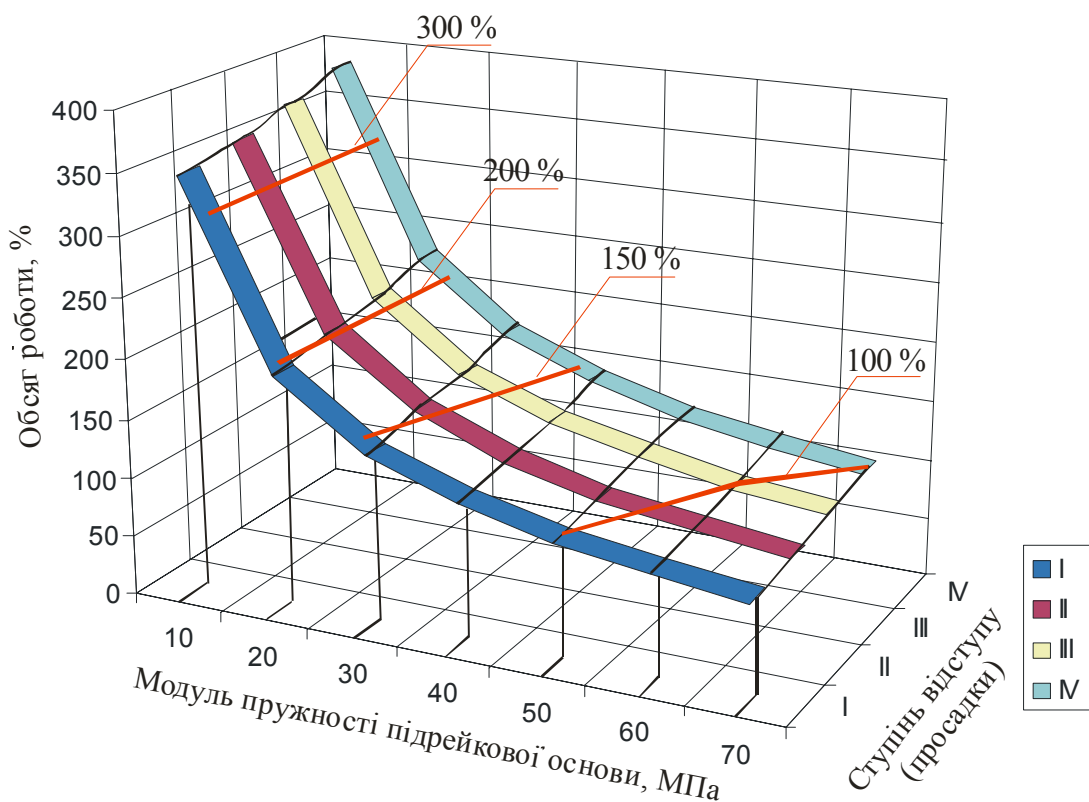


Рис. 15. Залежність обсягу роботи вертикальних сил від значень модуля пружності підрейкової основи і наявності просадок

З наведених графіків, для різних одиниць рухомого складу маємо дещо різні залежності роботи вертикальної сили від модуля пружності підрейкової основи і наявності просадок. Більш об'єктивну оцінку можна отримати, якщо розглянути потік поїздів, який проходить через розрахунковий переріз колії. Згідно даних стосовно ділянки Дніпропетровськ–П'ятихатки, в середньому вантажний поїзд складається з 2 локомотивів і 36 вагонів, а пасажирський поїзд – з 1 локомотива і 18 вагонів, кількість вантажних поїздів за добу – 45, пасажирських – 35. Були отримані результати розрахунків роботи вертикальної сили від такого потоку. Далі прийнято, що строк між ремонтами при роботі вертикальної сили над колією, яка знаходиться у 1 стані – модуль пружності 50 МПа і наявність просадок до I ступеня відхилення – становить 100%, і оцінено вплив зміни модуля пружності підрейкової основи і ступеня просадок у процентному відношенні обсягу роботи вертикальної сил. Результати такого порівняння приведено на рис. 15.

Аналіз результатів розрахунків (див. рисунок 15) приводить до наступних висновків:

- дія роботи вертикальних сил на колію лінійно залежить від ступеня просадок, збільшення величини просадок на один ступень [5] збільшує дію роботи вертикальних сил на колію приблизно на 5...10 %;

- при зменшенні модуля пружності підрейкової основи від 50 до 30 МПа, дія роботи вертикальних сил на колію збільшується в 1,4...1,7 разів, далі йде більш різке погіршення процесу – при модулі пружності 20 МПа вплив дії на колію збільшується приблизно в 2 рази, а при 10 МПа – в 3,4...3,8 разів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях Украй-

ни. ЦП0113 от 10.08.2004, №630-ЦЗ – К., 2004. – 32 с.

2. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП0117 от 13.12.2004, №960-ЦЗ – К., 2004. – с.170.
3. Чернышев М. А. Практические методы расчета пути. - М.: Транспорт, 1967. – 236 с.
4. Інструкція по устрою та утриманню колії залізниць України / Е. І. Даниленко, А. М. Орловський, А. П. Татуревич та інш.: ЦП-0138. – К.: Транспорт України, 2006. – 248 с.
5. 5 Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії. ЦП-0020. – К., 1997 – 36 с.

Надійшла до редколегії 30.11.07.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД УСУНЕННЯ ОБМЕЖЕНЬ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ, ЩО ЗУМОВЛЕНІ ПРОСТРОЧЕННЯМ РЕМОНТІВ

Наведено методику і результати досліджень ефективності усунення обмежень швидкості руху поїздів.

Изложены методика и результаты исследований эффективности устранения ограничений скорости движения поездов.

The technique and results of researches of efficiency of elimination of speed limitations of train movements are explained.

Вступ

Сьогодні, з метою укріплення позицій залізничного транспорту на ринку транспортних послуг західні спеціалісти створюють спеціалізовані високошвидкісні лінії, по яким поїзда рухаються зі швидкістю 300 км/год та вище. Західний досвід показує, що пасажирів можна зацікавити лише створюючи систему конкурентоспроможних пасажирських перевезень, що передбачає: зменшення часу перебування в дорозі при забезпеченні повної безпеки, комфортності, зменшення впливу на навколишнє середовище та конкурентоспроможність вартості проїзду [1].

В Україні питання підвищення швидкості руху поїздів виникло досить давно і поступово розвивається. Але слід пам'ятати, що не завжди досвід західних спеціалістів можна застосовувати в умовах українських залізниць. Капітальні вкладення у будівництво високошвидкісних ліній досить великі та можуть виправдовуватися лише при наявності великих потенційних пасажиропотоків. До того ж це викликає певний ряд формальностей для отримання дозволу на дане будівництво, а ускладнення в забезпеченні фінансування викликають відстрочення в реалізації проектів [2]. А тому сьогодні необхідно не лише будівництво високошвидкісних магістралей але й, у першу чергу, підвищення швидкості руху поїздів на діючих лініях, що збудовані раніше за звичайними стандартами.

Постановка задачі

Дана задача є достатньо складною і спеціалісти України пропонують такі заходи як перерозподіл поїздопотоків, оновлення парків рухомого складу, перевлаштування залізничних кривих та ін. Ці пропозиції повинні розглядати-

ся у комплексі. Але при вирішенні таких питань слід враховувати, що на залізницях України розповсюджене таке явище, як обмеження швидкості руху поїздів, що є значною перешкодою для підвищення швидкості. Так, наприклад, лише на Придніпровській залізниці ділянки з діючими обмеженнями складають понад 100 км, 37 % яких обмежують швидкість руху поїздів до 25 км/год. Причини обмеження досить різні: прострочені ремонти, деформації земляного полотна, шахтні підрізки, роботи в тунелях, складний план лінії та ін. Тому було б доцільно розглянути питання усунення обмежень швидкості руху поїздів.

Роботи з усунення обмежень швидкості руху вимагають чималих фінансових витрат. Саме тому при вирішенні поставленої задачі необхідно виділяти ділянки, на яких усунення обмеження швидкості руху призведе до найбільшого економічного ефекту.

Методика дослідження

Дана робота виконувалась за декілька етапів. Першим з яких був аналіз та систематизація даних, розподілення обмежень за рівнем допустимої швидкості, довжиною та причиною виникнення. Далі було виділено обмеження, які найбільш розповсюджені на Придніпровській залізниці (оскільки саме на її прикладі розглянуто дану проблему) та мають найбільшу протяжність. При цьому досліджувалося, до яких напрямків належать ділянки обмеження швидкості та які умови на даних ділянках. У процесі дослідження виявилось, що більш зручно опрацьовувати дані, якщо поділити ділянки обмеження за відділеннями залізниці. Оскільки на напрямках різні значення середньодобового руху поїздів (вантажних, пасажирських та приміських) та різні маси рухомого складу. Напри-

клад, по напрямках, що відносяться до НОД-1 курсує найбільша кількість вантажних поїздів (і становить 45...49 % від загального обсягу вантажних перевезень по всій залізниці).

Найбільш розповсюдженими та найбільш протяжними на Придніпровській залізниці виявилися обмеження швидкості руху поїздів через невиконання ремонтів (прострочені кілометри): модернізація, капітальний та середній. Саме для таких обмежень швидкості визначалася ефективність від їх усунення.

В ході аналізу даних було визначено, що обмеження швидкості руху поїздів через прострочені ремонти характеризуються допустимою швидкістю 40 і 60 км/год та протяжністю 3...5 км. Середні вартості виконання ремонтів колії зведено до табл. 1, на основі якої підраховані витрати на усунення обмежень на ділянках довжиною 3, 4 і 5 км. Результати розрахунків зведено до табл. 2.

Таблиця 1

**Середні вартості виконання ремонтів колії
(на листопад 2006 року)**

Найменування ремонтів колії	Одиниця виміру	Вартість, тис. грн
модернізація	1 км	1121
капітальний	1 км	680
середній	1 км	63

Таблиця 2

Орієнтовні вартості робіт з усунення обмежень швидкості на ділянках певної довжини (тис. грн)

Найменування ремонту колії	Вартість робіт при довжині ділянки обмеження, км		
	3	4	5
модернізація	3363	4484	5605
капітальний	2040	2720	3400
середній	189	252	315

При виконанні економічних розрахунків була застосована методика, що викладена у роботі [3]. Економічний ефект від зняття попередження швидкості руху поїздів досягається за рахунок зниження експлуатаційних витрат, на які впливають:

- зниження механічної роботи від гальмування і розгону та пов'язаних з цим витрат на паливно-енергетичні ресурси і ремонт рухомого складу і колії;
- скорочення часу знаходження поїздів на ділянках, та в зв'язку з цим зменшення витрат з утримання локомотивів і вагонів пасажирських поїздів.

Загальний річний економічний ефект від зняття попередження з обмеження швидкості руху поїздів на ділянці А–Б визначався за наступним виразом [3]:

$$\Delta C = e_e \cdot A_e + e_{\text{п-год}} \cdot \Delta_{\text{пт}}, \quad (1)$$

де e_e – ціна електроенергії 1 кВт·год., грн;

$e_{\text{п-год}}$ – укрупнена витратна ставка 1 поїздо-год, грн;

A_e – зменшення витрат електроенергії на струмоприймачі, тис. кВт·год;

$\Delta_{\text{пт}}$ – зменшення часу знаходження поїзда на ділянці при знятті обмеження швидкості руху.

Зменшення витрат електроенергії визначалося для пасажирського, вантажного та приміського руху з урахуванням середньодобового руху поїздів, а також значеннями швидкості до і після зняття обмеження. А на їх основі визначалися річні економічні ефекти від зняття попереджень. Окремі результати розрахунків зведено до табл. 3.

Таблиця 3

Середній річний економічний ефект від зняття попередження з обмеження швидкості руху поїздів (тис. грн)

Середньодобовий розмір руху поїздів, пар поїздів			Довжина ділянки обмеження (при $V_{\text{обм}} = 40$ км/год), км			Довжина ділянки обмеження (при $V_{\text{обм}} = 60$ км/год), м		
вантаж.	пас.	прим.	3	4	5	3	4	5
50	40	30	13335	14915	16494	8400	9102	9804
40	30	20	10320	11527	12734	6496	7032	7569
30	20	10	7305	8139	8974	4591	4962	5333
15	10	5	3652	4070	4487	2296	2481	2667

Як видно з табл. 3, лише при відносно невеликих середньодобових розмірах руху поїздів (15 – вантажних, 10 – пасажирських і 5 – приміських пар поїздів) витрати на роботи з усунення обмежень швидкості поїздів (коли мова йде про модернізацію або капітальний ремонт) перевищують економічний ефект від зняття цих обмежень.

На рис. 1 і 2 наведено графіки, які показують, у скільки разів середня економічна ефективність від зняття попереджень перевищує витрати на модернізацію чи капітальний ремонт, які необхідно виконати на ділянці певної довжини, при рівні допустимої швидкості 40 і 60 км/год відповідно.

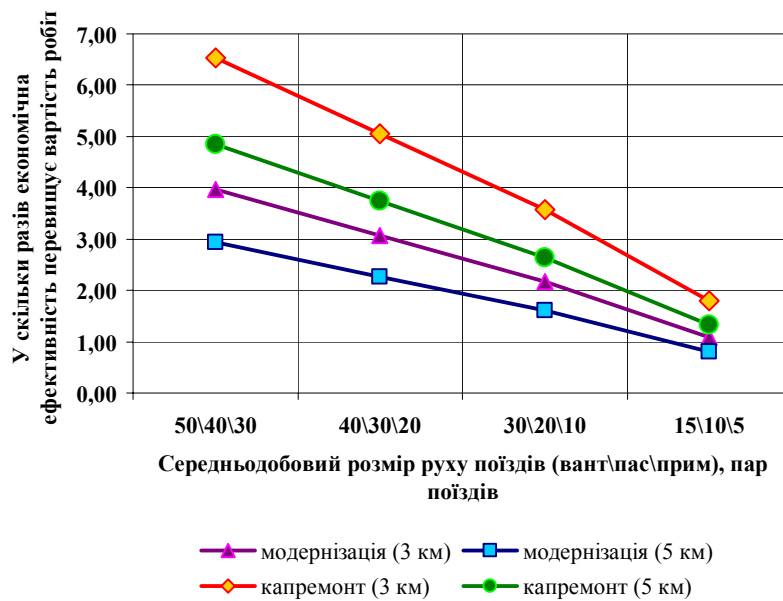


Рис. 1. Перевищення середньої річної економічної ефективності від зняття попереджень у порівнянні з вартістю ремонту ($V_{обм} = 40$ км/год)

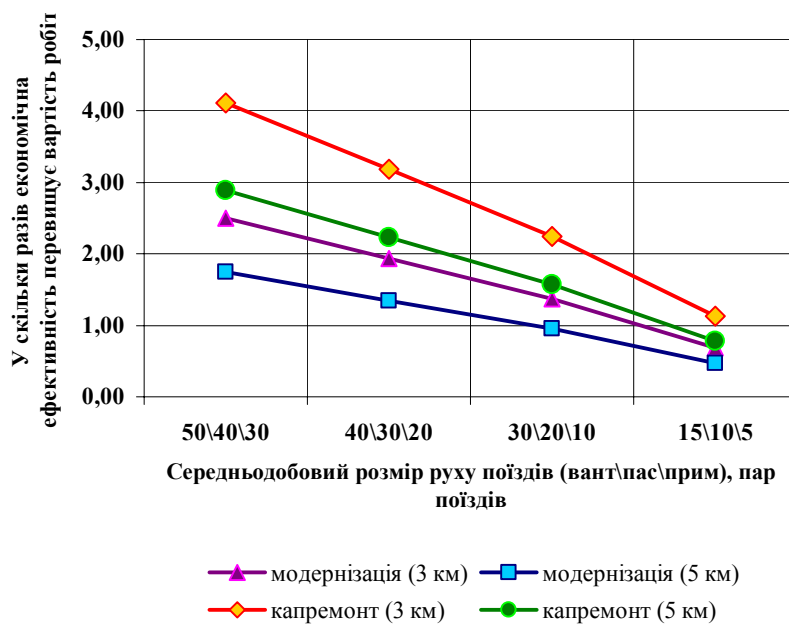


Рис. 2. Перевищення середньої річної економічної ефективності від зняття попереджень у порівнянні з вартістю ремонту ($V_{обм} = 60$ км/год)

Більш детальні результати наведено у табл. 4, з аналізу якої видно, що найбільший ефект досягається при усуненні обмеження при простроченому середньому ремонті. Майже в усіх випадках виправдовуються витрати і на капітальний ремонт: середня річна економічна ефективність перевищує витрати на ремонт у 2,5...6,5 разів при швидкості, що обмежує рух 40 км/год; та у 1,5...4 рази при допустимій швидкості 60 км/год. Що стосується попереджень через невиконання модернізації, то їх

усунення вимагає більших витрат, які досить швидко виправдовуються лише на лініях з інтенсивними розмірами руху поїздів (вантажні – понад 30 пар поїздів, пасажирські – понад 20 і приміських – понад 10 пар поїздів за добу). Також спостерігається вплив від довжини ділянки обмеження (див. табл. 4): чим менша довжина ділянки обмеження, тим більша досягається різниця між вартістю ремонту та економічним ефектом від зняття попередження.

**Перевищення середньої річної економічної ефективності від зняття попереджень
у порівнянні з вартістю ремонту**

Середньодобовий розмір руху поїздів, пар поїздів			Довжина ділянки обмеження (якщо $V_{обм} = 40$ км/год), км			Довжина ділянки обмеження (якщо $V_{обм} = 60$ км/год), м		
вантаж.	пас.	прим.	3	4	5	3	4	5
модернізація колії								
50	40	30	3,9	3,3	2,9	2,5	2,1	1,8
40	30	20	3,1	2,6	2,3	1,9	1,6	1,4
30	20	10	2,2	1,8	1,6	1,4	1,1	-
15	10	5	1,1	-	-	-	-	-
50	10	30	3,2	2,6	2,3	2,0	1,6	1,4
15	40	5	1,9	1,6	1,4	1,2	-	-
30	40	10	2,7	2,3	2,0	1,7	1,4	1,2
капітальний ремонт								
50	40	30	6,5	5,5	4,9	4,1	3,4	2,9
40	30	20	5,1	4,2	3,8	3,2	2,6	2,2
30	20	10	3,6	2,9	2,6	2,3	1,8	1,6
15	10	5	1,8	1,5	1,3	1,1	-	-
50	10	30	5,2	4,3	3,8	3,3	2,6	2,3
30	40	10	4,5	3,8	3,3	2,8	2,3	2,0
середній ремонт								
50	40	30	70,6	59,2	52,4	44,4	36,1	31,1
40	30	20	54,6	45,7	40,4	34,4	27,9	24,0
30	20	10	38,7	32,3	28,5	24,3	19,7	16,9
15	10	5	19,3	16,2	14,2	12,2	9,9	8,5
50	10	30	56,3	46,7	41,0	35,1	28,4	24,3

Висновки

1. Середній річний економічний ефект від зняття попередження залежить від наступних факторів:

– довжини ділянки обмеження (при збільшенні довжини ділянки на 1 км економічний ефект збільшується на 15...20 %);

– рівня допустимої швидкості (чим менший рівень швидкості, що обмежує рух, тим більший економічний ефект). Якщо, наприклад, обмеження швидкості становлять 40 і 60 км/год, то економічний ефект у першому випадку буде більшим на 35...40 %;

– середньодобового розміру руху поїздів (зі зростанням інтенсивності розміру руху зростає й ефект від зняття обмеження). Наприклад, ефект від зняття попередження у двічі та більше разів перевищує вартість робіт при кількості вантажних поїздів не менше 30 пар, а пасажирських – не менше 20 пар за добу.

2. Якщо на ділянці діє обмеження швидкості руху через прострочений середній ремонт, то вартість виконання необхідних ремонтних ро-

біт у 8...70 разів менше за середній річний економічний ефект від зняття цього обмеження (в залежності від рівня допустимої швидкості та середньодобового розміру руху поїздів).

3. Усунення обмежень швидкості руху поїздів, що зумовлені простроченим капітальним ремонтом або модернізацією призводить до найбільшого економічного ефекту при наступних середньодобових розмірах руху поїздів: вантажних поїздів – не менше 30 пар поїздів, пасажирських поїздів – не менше 20 та приміських – не менше 10 пар поїздів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Шевчук З. Скоростное движение к Евро-2012 / Магистраль, № 36(1214), 16-22 травня 2007 р. – С. 4.
2. Rail International, 2002, № 5, р. 30 – 39. Повышение скорости движения поездов на обычных линиях.
3. Столична магістраль в цифрах і фактах: Довідник – О. М. Кривопішин, Г. Д. Ейтутіс. – К., 2006 – С. 102.

Надійшла до редколегії 13.09.07.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ

Запропонована імітаційна модель процесу формування багатогрупних составів, яку можна рекомендувати для оперативного управління роботою станцій. Модель дозволяє знайти для конкретного составу оптимальний метод і схему формування при існуючому технічному оснащенні станції та підготувати план маневрової роботи.

Предложена имитационная модель процесса формирования многогруппных составов, которую можно рекомендовать для оперативного управления работой станций. Модель позволяет найти для конкретного состава оптимальный метод и схему формирования при существующем техническом оснащении станции и подготовить план маневровой работы.

There was suggested the simulating model of the multi-group trains make up process. This model can be recommended for operative control of the station operation. This model allows to find the optimal method and scheme of the making up the specific train, considering the existing quantity of the tracks, and create the plan of the shunting operations.

Концентрация маневровой работы по подборке групп местных вагонов по грузовым фронтам и грузам на несетевых сортировочных и участковых станциях приводит к необходимости формирования многогруппных составов в условиях недостаточного числа путей. Следует учитывать, что формирование составов, особенно многогруппных, является одним из наиболее трудоемких элементов процесса переработки вагонов на станциях и оказывает заметное влияние на сроки доставки грузов. В этой связи с целью уменьшения времени нахождения вагонов на станциях, снижения себестоимости перевозки грузов и повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта необходимо совершенствование процесса формирования многогруппных составов.

Актуальность проблемы подтверждается существованием значительного числа разных методов формирования многогруппных составов [1–5]. В опубликованных работах приводятся описания методов, как правило, без анализа и сравнительной оценки их эффективности; отсутствуют также рекомендации по выбору рационального метода формирования в конкретных условиях. В этой связи в настоящей статье поставлена задача исследования и оценки эффективности существующих методов формирования многогруппных составов с целью получения рекомендаций как для выбора технического оснащения сортировочных станций так и для оперативного управления технологическим процессом.

Для решения данной задачи была разрабо-

тана имитационная модель процесса формирования, которая позволяет определять его минимальную продолжительность при использовании различных методов формирования; в статье приведены результаты исследований, выполненных с использованием указанной модели.

Основной целью проведенных исследований являлось определение зависимостей продолжительности формирования от параметров составов для разных технических средств и методов формирования. Указанные зависимости необходимы для управления процессом формирования многогруппных составов в оперативных условиях. Кроме того, полученные в результате исследований рекомендации могут быть использованы при комплексном проектировании устройств для формирования составов с целью выбора рационального технического оснащения станций.

Для проведения исследований были выбраны пять известных методов формирования многогруппных составов: комбинаторный (КМ) [3], распределительный (РМ) [3], основной ступенчатый (ОСМ), двойной ступенчатый (ДСМ) и равномерного нарастания (МРН) [2].

Для представления разработанной модели формирования многогруппных составов введем некоторые определения. *Группой* являются вагоны состава, имеющие одно назначение; при этом каждому вагону группы присваивается номер g_i , выбор которого осуществляется по определенным правилам. *Метод* формирования M рассматривается как совокупность правил

сборки и сортировки групп вагонов состава по путям на отдельных этапах формирования. *Схемой* формирования состава σ некоторым методом называется порядок распределения его вагонов по путям на каждом этапе формирования; при этом схема формирования определяется множеством использованных номеров групп. *Множество схем* формирования для данного метода может быть получено при определенном варьировании нумерации g_i групп вагонов состава.

Принято, что перед началом формирования многогруппный состав с неупорядоченными вагонами, расположенными в порядке их поступления, находится на одном пути. После окончания формирования вагоны должны быть подобраны по группам, а группы в составе должны располагаться в заданном порядке.

Как показали исследования [3], при выборе метода и схемы формирования состава целесообразно заменить действительные номера групп вагонов g_i на логические номера (ЛНГ) γ_i , которые определяются с учетом начальной неупорядоченности отдельных вагонов этого состава. При этом число логических групп θ в составе в среднем в два раза меньше, чем число действительных групп k , что позволяет существенно уменьшить объемы маневровой работы по формированию состава.

ЛНГ γ_i , присвоенный каждому вагону, используется для определения логического номера пути (ЛНП) μ_i , на который следует направить этот вагон при сортировке на каждом этапе формирования.

Принято, что для формирования многогруппных составов используется сортировочное устройство (горка, вытяжной путь) и определенное число сортировочных путей m , которое не превышает θ ($m \leq \theta$).

Для формирования состава необходимо N этапов, число которых зависит от метода формирования, числа сортировочных путей m и числа групп θ в неупорядоченном составе. При этом на каждом этапе формирования, при использовании любого метода выполняются две операции: сборки вагонов с $m_{сб}$ путей и их сортировки на m_c путей.

Поскольку перед началом формирования вагоны состава находятся на одном из сортировочных путей, то на первом этапе $m_{сб} = 1$. На последнем N -м этапе вагоны должны быть собраны на одном пути ($m_{сб} = 1$). На промежу-

точных этапах используемое число путей m зависит от метода формирования и от их начального числа $m_{нал}$.

Имитационная модель, разработанная для выполнения сравнительных исследований различных методов формирования, ориентирована на решение следующих задач:

- расчет времени формирования i -го состава при использовании некоторой схемы для выбранного метода M ;

- выбор оптимальной схемы σ формирования состава для метода M ;

- выбор оптимальной технологии формирования состава (выбор оптимальной схемы на множестве рассматриваемых методов).

Имитационная модель состоит из двух модулей. Первый из них позволяет для отдельного состава установить совокупность рейсов сборки и сортировки, необходимую для реализации некоторой схемы формирования многогруппного состава заданным методом. Второй модуль служит для расчета продолжительности формирования данного состава t_{ϕ} при использовании заданных метода и схемы. С помощью двух указанных модулей осуществляется выбор оптимальной схемы формирования σ для каждого из рассматриваемых методов.

Процесс формирования многогруппного состава любым методом можно представить в виде последовательности K маневровых рейсов сборки и сортировки вагонов (R_1, R_2, \dots, R_K). При этом каждый рейс, в зависимости от его специализации, можно представить как:

- рейс сборки $R_j^+ = (w_j, n_j^+)$, (1)

- рейс сортировки $R_j^- = (w_j, n_j^-)$, (2)

где w_j – номер сортировочного пути, на который выполняется j -й рейс;

n_j^-, n_j^+ – число вагонов, на которое изменяется маневровый состав, а также группа вагонов на пути w_j после выполнения рейса.

При этом, по завершении рейса сборки R_j^+ число вагонов при локомотиве увеличивается на n_j^+ , а на пути w_j – уменьшается на ту же величину.

После рейсов сортировки R_j^- , напротив, увеличивается число вагонов на пути w_j на величину n_j^- , и, соответственно, уменьшается

маневровый состав.

На каждом этапе формирования последовательно выполняется группа рейсов R^+ сборки вагонов с $m_{сб}$ путей, после которых собранные вагоны сортируют, используя определенное число рейсов R^- .

Список номеров сортировочных путей $\vec{w}_S = (w_1, w_2, \dots, w_{m_{сб}})$, с которых собирают вагоны на S -м этапе, определяются методом M формирования состава:

$$\vec{w}_S = f_M(S).$$

Пути назначения рейсов сортировки собранного состава определяются ЛНГ каждого вагона:

$$w_i = \Psi_M(\gamma_i, S), \quad i = 1, \dots, n_S, \quad S = 1, \dots, N,$$

где n_S – число вагонов в маневровом составе, сортируемом на S -м этапе;

N – число этапов формирования состава.

После определения номеров путей назначения w_i для состава смежные вагоны, следующие на один путь, объединяются в отцепы с числом вагонов n_j^- (2).

Второй модуль на основе полученного множества рейсов $R_j^\pm = (w_j, n_j^\pm)$, определяет продолжительность процесса формирования состава, используя нормативы времени выполнения маневровых операций как на вытяжном пути, так и на горке; методика расчета детально рассмотрена в [3].

Как показал анализ методов формирования, число Z возможных схем формирования состава зависит от числа групп вагонов и числа используемых сортировочных путей. При этом для каждого метода существуют критические значения числа групп, при которых схема формирования состава является единственной. Эти значения определяются числом используемых путей, а для отдельных методов – числом этапов формирования.

Для методов КМ, РМ и МРН существует множество критических значений $G_{m,N}$ числа групп:

$$G_{m,N} = \{G_{m,1}, G_{m,2}, \dots\}$$

Эти значения определяются для каждого m числом этапов формирования N , которое, в свою очередь, зависит от числа групп θ в составе.

а) комбинаторный метод

$$G_{m,N} = F_{N+m+1}^{(m)}, \quad N = m, m+1, \dots,$$

где $F^{(m)}$ – обобщенное число Фибоначчи порядка m ;

б) распределительный метод

$$G_{m,N} = m^{N-1}, \quad N = 2, 3, \dots;$$

в) метод равномерного нарастания

$$G_{m,N} = (m-1)N + 1, \quad N = 2, 3, \dots.$$

При этом число этапов N определяется так, чтобы выполнялось условие:

$$G_{m,N} < \theta < G_{m,N+1}.$$

Для методов ОСМ и ДСМ для каждого m существует единственное критическое значение G_m поскольку число этапов N в этих методах фиксировано (для ОСМ $N=3$, для ДСМ $N=4$).

а) основной ступенчатый метод

$$G_m = 0.5m(m+1),$$

б) двойной ступенчатый метод

$$G_m = m(m+1) - 1,$$

В случае совпадения числа групп θ с одним из критических значений G существует единственная схема формирования состава. Однако, в большинстве случаев, когда $\theta \neq G$, число схем формирования Z может быть достаточно велико [3]:

$$Z = C_G^\theta = \frac{G!}{\theta!(G-\theta)!} \quad (3)$$

В этом случае появляется возможность оптимизировать процесс формирования состава за счет выбора схемы с минимальной его продолжительностью T_Φ . Выбор схемы можно осуществить путем полного перебора всех вариантов, когда число Z (3) невелико, и с помощью статистического подхода (случайная выборка $n_0 = 299$ схем), когда $Z > 299$ [3], то есть:

$$n_0 = \begin{cases} Z & \text{при } Z \leq 299, \\ 299 & \text{при } Z > 299. \end{cases} \quad (4)$$

Для методов КМ, РМ и МРН было установлено, что в некоторых случаях, когда число θ близко к критическому значению G , целесообразно увеличить θ , введя дополнительные фик-

тивные ЛНГ. Это позволит перейти к следующему критическому значению G и, в результате, существенно расширить множество возможных схем, среди которых может быть схема с минимальной продолжительностью формирования состава. Таким образом, в некоторых случаях искусственное увеличение числа θ , позволяет уменьшить время T_ϕ несмотря на увеличение при этом числа этапов N на единицу. Для методов ОСМ и ДСМ подобная возможность оптимизации времени формирования может быть достигнута за счет использования большего числа путей.

Для исследования процесса формирования многогруппных составов с помощью разработанной имитационной модели были подготовлены данные о потоках из 200 составов, которые различаются числом вагонов n ($n = 10 \dots 40$); при этом число групп θ в составе является случайным.

Прежде всего, были выполнены исследования и оценка эффективности выбора оптимальной схемы для каждого из рассматриваемых составов при заданных условиях формирования. Оценить указанный эффект можно относительной величиной размаха выборки n_0 значений времени формирования δT_ϕ для каждого состава:

$$\delta T_\phi = \frac{t_{\phi \max} - t_{\phi \min}}{t_{\phi \min}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где $t_{\phi \max}, t_{\phi \min}$ – продолжительность формирования состава, соответственно, по лучшей и худшей из n_0 схем выборки.

Величина δT_ϕ для некоторого состава показывает, какое максимальное сокращение времени формирования t_ϕ данного состава возможно при выборе наилучшей схемы.

Для примера на рис. 1 приведено распределение случайной величины δT_ϕ для потока 200 составов из 35 вагонов при использовании комбинаторного метода; формирование осуществляется на вытяжном пути с использованием 4-х сортировочных путей.

При выборе для каждого состава оптимальной схемы формирования затраты времени будут минимальны. При формировании состава с использованием случайно выбранной схемы продолжительность формирования можно оценить ее средним значением:

$$\bar{t}_\phi = \frac{1}{n_0} \sum_{i=1}^{n_0} t_{\phi i},$$

Тогда относительный эффект от оптимизации схемы формирования можно определить как:

$$e = \frac{\bar{t}_\phi - t_{\phi \min}}{t_{\phi \max}} \cdot 100\% \quad (6)$$

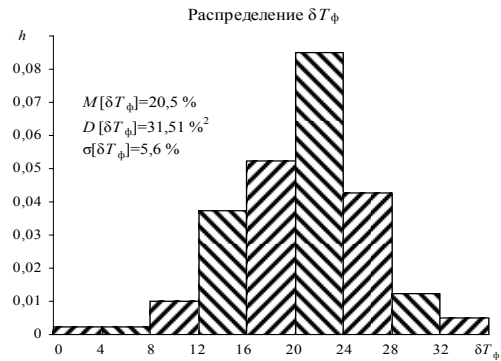


Рис. 1. Распределение δT_ϕ при формировании комбинаторным методом составов из 35 вагонов на вытяжных путях с использованием 4-х путей

Как показали исследования, случайная величина δT_ϕ имеет близкое к нормальному распределение; следовательно, среднюю величину \bar{t}_ϕ можно приближенно найти как:

$$\bar{t}_\phi = \frac{t_{\phi \min} + t_{\phi \max}}{2} \quad (7)$$

Тогда, очевидно, что эффект от оптимизации схемы формирования e (6) составляет половину от относительного размаха δT_ϕ (5).

Результаты оценки эффекта от поиска оптимальной схемы для рассматриваемых методов при формировании составов с числом вагонов $n = 15, 25, 35$ и использовании $m = 2, 3, 4$ путей и разных типов сортировочных устройств приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, оптимизация схемы формирования составов позволяет уменьшить его продолжительность на 5...20 %. В этой связи в дальнейших исследованиях для каждого состава в качестве расчетного принималось минимальное время формирования, которое может быть достигнуто при заданных условиях и выборе оптимальной схемы.

Далее была выполнена сравнительная оценка эффективности рассматриваемых методов формирования. Как показали исследования, при

каждом сочетании параметров m и n существует метод $\hat{M}(m, n)$, частота f использования которого выше чем у остальных методов $f_{\max} = f(\hat{M})$. При этом на горках это, как правило, комбинаторный метод. На вытяжных путях наиболее часто использовались методы ДСМ, МРН и ОСМ; при этом выбор лучшего метода $\hat{M}(m, n)$ определяется сочетанием параметров m и n .

Таблица 1

Эффект e от оптимизации схем формирования составов

Тип СУ	n	m	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
Вытяжной путь	15	2	4,6	10,6	-	8,1	7,7
		3	6,8	13,2	8,2	15,9	8,8
		4	8,1	11,4	10,7	15,5	9,5
	25	2	8,6	12,1	-	-	6,8
		3	9,3	14,9	5,7	17,3	9,3
		4	10,4	14,9	11,4	15,4	11,2
	35	2	9,5	10,1	-	-	5,6
		3	10,7	10,7	-	17,2	9,1
		4	10,7	14,5	10,1	14,9	12,3
Горка	15	2	3,8	11,5	-	7,0	6,2
		3	5,4	13,5	10,9	13,9	11,8
		4	7,2	12,2	12,7	13,8	12,2
	25	2	6,2	11,0	-	-	6,5
		3	7,6	15,1	7,9	15,4	14,4
		4	9,0	14,2	13,1	15,5	16,1
	35	2	6,2	8,4	-	-	5,8
		3	7,3	9,5	-	15,2	17,1
		4	7,5	11,7	12,2	15,3	18,8

Как следует из табл. 2, максимальная частота f_{\max} (выделенные клетки) изменяется в достаточно широких пределах (от 26 до 88%), однако, она во всех случаях меньше 100%. Следовательно, не существует метода, который был бы лучшим для всех составов потока при любых заданных условиях формирования и параметрах составов. Отсюда, может быть сделан вывод о том, что для минимизации времени формирования составов на станции необходимо для каждого из них выбирать наилучшие метод и схему формирования.

Для оценки эффективности такого подхода было рассмотрено два возможных варианта организации формирования на станции. В первом варианте для каждого из составов определялись метод и схема формирования, обеспечивающие его минимальную продолжительность. Во втором варианте формирование всех составов потока осуществлялось одним и тем же методом и

без выбора наилучшей схемы; при этом время формирования принималось равным среднему из предельных для данного состава значений (7). По второму варианту расчеты были выполнены для всех пяти рассматриваемых методов.

Таблица 2

Частота использования различных методов для формирования потока составов

Тип СУ	n	m	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
Вытяжной путь	15	2	14,9	9,6	-	19,3	56,3
		3	19,6	4,4	4,4	43,9	27,6
		4	23,9	13,7	14,9	26,3	21,1
	25	2	21,0	11,8	-	-	67,3
		3	7,4	9,0	5,5	61,9	16,2
		4	9,0	13,6	41,6	11,4	24,4
	35	2	15,8	4,0	-	-	80,3
		3	14,0	1,8	-	57,5	26,8
		4	3,8	5,8	46,0	8,5	35,9
Горка	15	2	27,4	4,2	-	42,6	25,7
		3	45,9	8,6	6,7	25,3	13,6
		4	71,2	7,0	7,8	8,3	5,7
	25	2	65,8	9,8	-	-	24,5
		3	38,2	8,3	5,1	32,8	15,6
		4	81,0	2,5	8,4	5,7	2,5
	35	2	77,5	8,0	-	-	14,5
		3	54,6	2,3	-	26,3	16,8
		4	87,7	0,1	7,9	1,1	3,1

Эффект от оптимизации процесса формирования составов оценивался относительной величиной τ_M сокращения его продолжительности для каждого из методов:

$$\tau_M = \frac{\bar{t}_{\phi, M} - \bar{t}_{\text{опт}}}{\bar{t}_{\phi, M}} \cdot 100\%,$$

где $\bar{t}_{\phi, M}$ – среднее время формирования состава заданного потока методом M без выбора наилучшей схемы для каждого из составов;

$\bar{t}_{\text{опт}}$ – то же, при условии выбора наилучшего метода и схемы формирования для каждого из составов.

Величины τ_M были определены для всех пяти рассматриваемых методов при разном техническом оснащении станций (тип сортировочного устройства, число путей m) и различном числе вагонов в составах n ; результаты расчетов приведены в табл. 3.

Как видно из полученных данных, оптимизация процесса формирования в зависимости от условий позволяет сократить затраты времени на его реализацию от 10 до 30 %.

Таблица 3

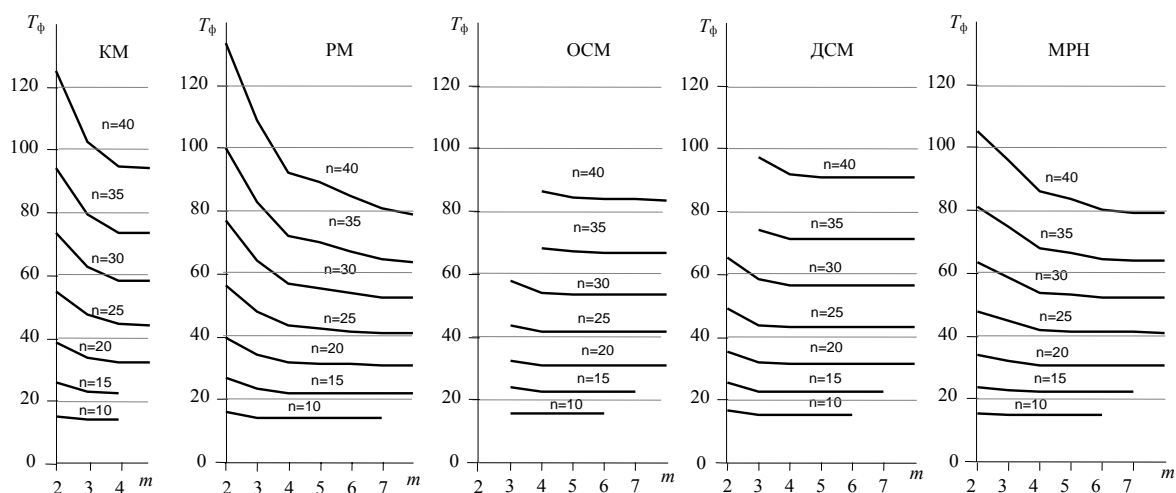
Оценка эффективности оптимизации схем и выбора оптимального для каждого состава метода

Тип СУ	n	m	КМ	РМ	ОСМ	ДСМ	МРН
Вытяжной путь	15	2	17,4	26,4	-	21,9	12,1
		3	14,2	22,4	17,4	20,4	14,5
		4	13,9	18,1	16,2	21,4	14,6
	25	2	22,3	28,1	-	-	9,2
		3	17,4	24,0	15,7	21,7	15,8
		4	19,1	22,8	15,2	23,2	15,7
	35	2	23,3	28,4	-	-	7,1
		3	20,4	23,7	-	23,3	14,0
		4	20,8	23,8	13,7	23,3	16,3
Горка	15	2	9,6	23,0	-	11,0	12,0
		3	8,4	14,5	20,7	22,0	19,8
		4	8,4	22,8	20,7	22,0	20,2
	25	2	8,7	20,5	-	-	15,1
		3	9,7	25,2	17,3	19,8	21,1
		4	10,4	27,0	21,2	26,1	26,1
	35	2	8,0	17,7	-	-	19,5
		3	9,0	21,4	-	20,9	27,6
		4	8,5	26,2	21,6	28,1	30,3

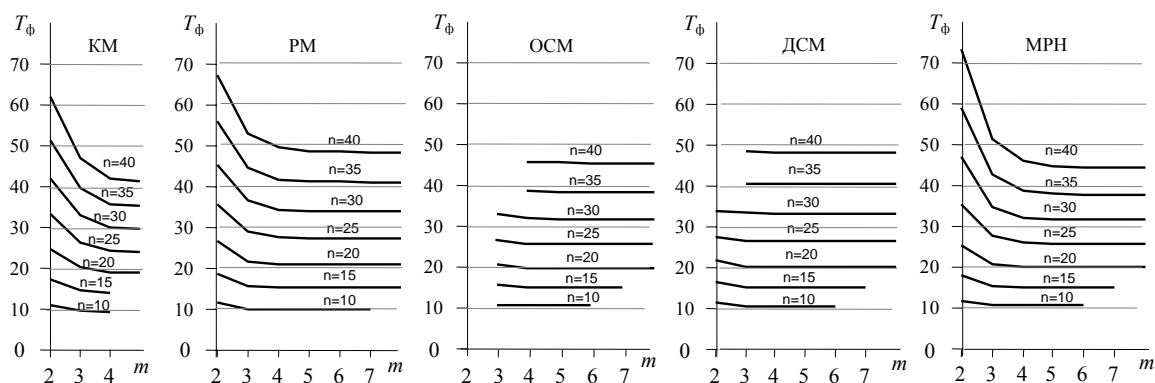
Таким образом, предложенная методика совершенствования процесса формирования многогруппных составов обеспечивает достаточно ощутимый эффект, не требуя при этом значительных капиталовложений на ее реализацию.

Вычислительные эксперименты с разработанной имитационной моделью позволили также установить зависимости продолжительности формирования T_{ϕ} от параметров состава для всех рассматриваемых методов при использовании различных типов сортировочных устройств (вытяжной путь, горка). По результатам исследований получены семейства зависимостей продолжительности формирования от числа используемых путей и числа вагонов в составе $T_{\phi} = f(m, n)$ для разных методов. Указанные зависимости приведены на рис. 2, а (формирование составов на вытяжном пути) и на рис 2, б (формирование на горке).

а) Вытяжной путь, 8 сортировочных путей



б) Горка, 8 сортировочных путей

Рис. 2. Семейство зависимостей $T_{\phi} = f(m, n)$: а) – вытяжной путь, б) – горка

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПАРЕТО РЕШЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ВЕКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ ПАССАЖИРСКОГО ПОЕЗДА

Розглянуто чисельний розв'язок задачі векторної оптимізації визначення раціональної композиції пасажирського поїзда за допомогою метода параметризації Парето рішення.

Рассмотрен численный пример решения задачи векторной оптимизации определения рациональной композиции пассажирского поезда с помощью метода параметризации Парето решения.

The numerical example of the vector-optimization problem decision for a definition rational passenger train composition with the help of a parametrization method Papeto of the decision is considered.

Возникновение проблем в деятельности и развитии пассажирского хозяйства обусловлено рядом негативных факторов, а именно

- низкими тарифами на перевозку пассажиров и отсутствия действующего механизма компенсации убытков во время предоставления общественных услуг, которое приводит к перекрестному субсидированию убыточных пассажирских перевозок за счет грузовых;

- неэффективное использование пассажирского состава при организации пассажирских перевозок.

В современных условиях основным направлением стабилизации пассажирского комплекса является создание новой системы организации управления его хозяйственной деятельностью, а главными задачами этой системы должны быть

- комплексное управление затратами;
- глубокое и постоянное изучение рынка перевозок и запросов пассажиров.

Такая система наряду с удовлетворением запросов потребителей услуг позволит обеспечивать получение от данного вида деятельности максимальной прибыли и снижение себестоимости перевозок, а также сбалансировать интересы железных дорог и потребителей ее услуг.

Постановка задачи определения рациональной композиции пассажирского поезда представляет собой [1-2]:

Пусть по маршруту следования пассажирского поезда имеется n станций, включая станцию отправления и станцию прибытия. В случае, когда каждый тип вагонов рассматривается независимо, имеем

$f_{ij}(x, t)$ – плотность вероятностей распределения спроса на поездки из A_i в A_j в момент времени t (t – день недели);

$\xi_{ij}(t)$ – математическая модель спроса на поездки из $A_i \rightarrow A_j$ в момент t (при фиксированном t ξ_{ij} – случайная величина);

$y_{ij}(t)$ – число мест, которые могут быть проданы в A_i для поездки в A_j .

Функция потерь представляет собой

$$F_1 = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} \left(y_{ij} F_{ij}(y_{ij}) - \int_{a_{ij}}^{y_{ij}} x f_{ij}(x) dx \right) + p_{ij} \left(\int_{y_{ij}}^{b_{ij}} x f_{ij}(x) dx - y_{ij} (1 - F_{ij}(y_{ij})) \right)$$

Функция прибыли имеет вид

$$F_2 = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left(p_{ij} \left(\int_{a_{ij}}^{y_{ij}} x f_{ij}(x) dx + y_{ij} (1 - F_{ij}(y_{ij})) \right) - c_{ij} y_{ij} \right)$$

Желание сделать потери F_1 как можно меньше, а прибыль F_2 как можно больше приводит к задаче векторной оптимизации

$$\begin{pmatrix} F_1(Y) \\ -F_2(Y) \end{pmatrix} \rightarrow \min, \quad (1)$$

при условиях

$$(2) \quad \begin{cases} \sum_{j=3}^n y_{2j} \leq y_{12} \\ \sum_{j=4}^n y_{3j} \leq y_{13} + y_{23} \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{j=i+1}^n y_{ij} \leq \sum_{k=1}^{i-1} y_{ki} \\ Y \geq 0, \end{cases}$$

где $Y = (y_{12}, y_{13}, \dots, y_{1n}, y_{23}, y_{24}, \dots, y_{2n}, \dots, y_{n-1n})$.

Для решения поставленной задачи, назовем ее основной, разобьем ее на две подзадачи:

1. Решить задачу (1) без учета ограничений (2), применяя необходимое и достаточное условие решения задачи векторной оптимизации [3], для определения интервалов $y_{ij}(\lambda) \in [\underline{y}_{ij}, \bar{y}_{ij}]$.
2. Решение задачи (1) с ограничениями (2), путем применения метода параметризации Парето решения в задачах векторной оптимизации [4].

Необходимое и достаточное условие для решения задачи векторной оптимизации представляет собой:

$$\partial f_1(x) + \lambda \partial f_2(x) = 0, \quad 0 < \lambda < \infty. \quad (3)$$

Предположения о виде функций $f_1(x)$ и $f_2(x)$:

1. выпуклы и непрерывны;
2. имеют непрерывные производные до второго порядка включительно.

Метод параметризации Парето решения в задачах векторной оптимизации представляет собой сведение исходной задачи векторной оптимизации к задаче типа (A) [4], математическая модель которой представляет собой

Формируется множество Y – множество ограничений:

$$Y = \{y \in R_2 : h_i(y) \leq 0, i = \overline{1, k}\} \quad (4)$$

Вводится функция $H(y)$:

$$H(y) = \min_{1 \leq i \leq k} \{h_i(y)\}. \quad (5)$$

при чем имеет место

$$H(y) = \begin{cases} > 0, & \text{если } y \notin Y; \\ < 0, & \text{если } y \in Y; \\ = 0, & \text{если } y \in \text{границе } Y. \end{cases}$$

и исходная задача сводится к задаче

$$L = t \rightarrow \min \quad (A)$$

при условии

$$H(u \cdot t) = 0,$$

где вектор u имеет координаты

$$\begin{cases} u_1 = \cos \varphi, \\ u_2 = \sin \varphi, \end{cases} \quad 0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2},$$

а точка A , лежащая на луче, порождаемым вектором u имеет координаты

$$\begin{cases} y_{1A} = u_1 \cdot t; \\ y_{2A} = u_2 \cdot t, \end{cases} \quad 0 \leq t.$$

Для применения необходимого и достаточного условия решения задачи векторной оптимизации покажем, что функции F_1 и F_2 являются выпуклыми.

Для выпуклости функций необходимо проверить следующие два условия [5]:

1. первая производная должна менять знак с «-» на «+»;
2. вторая производная должна быть положительна.

Для функции потерь

$$F_1 = c \int_a^y (y-x)f(x)dx + p \int_y^b (x-y)f(x)dx$$

первая производная с учетом $\int_a^b f(x)dx = 1$ имеет вид

$$F_1' = c - (p+c) \int_y^b f(x)dx.$$

Вторая производная определяется как

$$F_1'' = (p+c)f(y).$$

В случае использования равномерного закона для распределения спроса, т. е.

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [a, b] \\ \frac{1}{b-a}, & x \in [a, b] \end{cases},$$

имеем $F_1'' = (p+c)f(y) > 0$,

т. е. функция потерь выпуклая.

Для функции прибыли исследуем на выпуклость функцию $-F_2$:

$$-F_2 = cy - p \left(\int_a^y xf(x)dx + y \int_y^b f(x)dx \right);$$

первая производная

$$\begin{aligned} F_2' &= c - p \left(yf(y) + \int_y^b f(x)dx - yf(y) \right) = \\ &= c - p \int_y^b f(x)dx, \end{aligned}$$

т. к. $c < p$ и $F_2'' = pf(x) > 0$, то функция $-F_2$ также является выпуклой.

Из выпуклости функций F_1 и $-F_2$ следует, что для решения задачи векторной оптимизации (1) можно применить теорему необходимого и достаточного условия решения задачи векторной оптимизации.

Легко убедиться, что решение задачи (1) при заданной плотности распределения спроса по равномерному закону не выходит за пределы интервала $[a, b]$, т. е. $y \in [a, b]$.

В случае, когда на пути следования имеется n станций (включая станции отправления и прибытия), функция потерь F_1 (в случае, когда $f(x)$ представляет собой плотность распределения спроса по равномерному закону) имеет вид

$$\begin{aligned} F_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n & \left(\frac{1}{b_{ij} - a_{ij}} \left((p_{ij} + c_{ij}) \frac{y_{ij}^2}{2} - \right. \right. \\ & \left. \left. - y_{ij}(p_{ij}b_{ij} + c_{ij}a_{ij}) + \frac{c_{ij}a_{ij}^2 + p_{ij}b_{ij}^2}{2} \right) \right), \end{aligned}$$

а функция прибыли F_2 представляет собой

$$F_2 = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left(\frac{p_{ij}}{b_{ij} - a_{ij}} \left(-\frac{y_{ij}^2}{2} + y_{ij}b_{ij} - \frac{a_{ij}^2}{2} \right) - c_{ij}y_{ij} \right).$$

При $n = 3$, ограничения имеют вид

$$\begin{cases} y_{12} + y_{13} \leq N, \\ y_{23} \leq y_{12}. \end{cases}$$

Область допустимых значений y_{12} , y_{13} , y_{23} представляет собой (рис. 1)

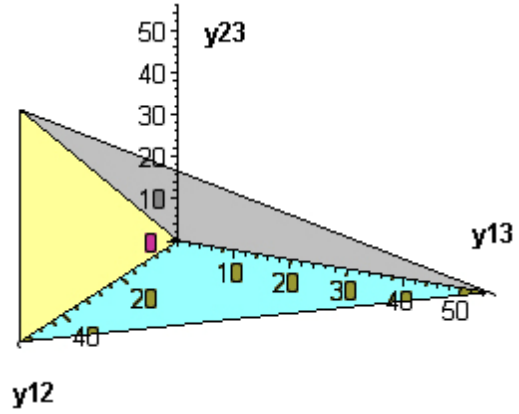


Рис. 1. Область допустимых значений y_{12} , y_{13} , y_{23}

Применяя теорему необходимого и достаточного условия решения задачи векторной оптимизации (3) для нашего случая имеем

$$\frac{-\partial F_2}{\partial y_{ij}} + \lambda \frac{\partial F_1}{\partial y_{ij}} = 0$$

или

$$\begin{aligned} & - \left[\frac{p_{ij}}{b_{ij} - a_{ij}} (-y_{ij} + b_{ij}) - c_{ij} \right] + \\ & + \lambda \left[\frac{1}{b_{ij} - a_{ij}} ((p_{ij} + c_{ij})y_{ij} - (p_{ij}b_{ij} + c_{ij}a_{ij})) \right] = 0. \end{aligned}$$

откуда

$$y_{ij} = \frac{p_{ij}b_{ij} - c_{ij}(b_{ij} - a_{ij}) + \lambda(p_{ij}b_{ij} + c_{ij}a_{ij})}{p_{ij} + \lambda(p_{ij} + c_{ij})}.$$

При $\lambda = 0$, точка, где функция прибыли принимает максимальное значение

$$\underline{y}_{ij} = b_{ij} - \frac{c_{ij}}{p_{ij}}(b_{ij} - a_{ij}).$$

При $\lambda \rightarrow \infty$, точка, в которой функция потерь принимает минимальное значение

$$\bar{y}_{ij} = \frac{p_{ij}b_{ij} + c_{ij}a_{ij}}{p_{ij} + c_{ij}} = b_{ij} - \frac{c_{ij}}{p_{ij} + c_{ij}}(b_{ij} - a_{ij}).$$

Так как $\frac{c_{ij}}{p_{ij}} < 1$, то $\underline{y}_{ij} < \bar{y}_{ij}$.

Покажем, что решение $y_{ij}(\lambda) \in [\underline{y}_{ij}, \bar{y}_{ij}]$.

Для этого покажем, что $y_{ij}(\lambda) \geq \underline{y}_{ij}$ и $y_{ij}(\lambda) \leq \bar{y}_{ij}$.

В первом случае имеем

$$\frac{p_{ij}b_{ij} - c_{ij}(b_{ij} - a_{ij}) + \lambda(p_{ij}b_{ij} + c_{ij}a_{ij})}{p_{ij} + \lambda(p_{ij} + c_{ij})} \geq$$

$$\geq b_{ij} - \frac{c_{ij}}{p_{ij}}(b_{ij} - a_{ij}) \quad ;$$

$$p_{ij}b_{ij} - c_{ij}(b_{ij} - a_{ij}) + \lambda(p_{ij}b_{ij} + c_{ij}a_{ij}) \geq$$

$$\geq \left(b_{ij} - \frac{c_{ij}}{p_{ij}}(b_{ij} - a_{ij}) \right) \cdot (p_{ij} + \lambda(p_{ij} + c_{ij})),$$

при $p_{ij} + \lambda(p_{ij} + c_{ij}) \neq 0$, т. е. $\lambda \neq \frac{p_{ij}}{p_{ij} + c_{ij}}$.

$$\lambda \cdot (p_{ij}b_{ij} + c_{ij}a_{ij}) -$$

$$\lambda(p_{ij} + c_{ij}) \cdot \left(b_{ij} - \frac{c_{ij}}{p_{ij}}(b_{ij} - a_{ij}) \right) \geq 0 \quad ;$$

неравенство выполняется если

$$\text{а) } (p_{ij}b_{ij} + c_{ij}a_{ij}) -$$

$$-(p_{ij} + c_{ij}) \cdot \left(b_{ij} - \frac{c_{ij}}{p_{ij}}(b_{ij} - a_{ij}) \right) \geq 0 \text{ и } \lambda > 0$$

или

$$\text{б) } (p_{ij}b_{ij} + c_{ij}a_{ij}) -$$

$$-(p_{ij} + c_{ij}) \cdot \left(b_{ij} - \frac{c_{ij}}{p_{ij}}(b_{ij} - a_{ij}) \right) \leq 0 \text{ и } \lambda < 0.$$

Для случая (а) рассмотрим первое неравенство, проделав в нем преобразование, получим $\frac{c_{ij}^2}{p_{ij}}(b_{ij} - a_{ij}) \geq 0$, что является истиной, т. к.

$b_{ij} \geq a_{ij}$ и $\frac{c_{ij}^2}{p_{ij}} \geq 0$, и приводит к противоречию в случае (б). Отсюда следует, что $y_{ij}(\lambda) \geq \underline{y}_{ij}$ выполняется при $\lambda > 0$ и $\lambda \neq \frac{p_{ij}}{p_{ij} + c_{ij}}$.

Аналогичным образом показывается, что $y_{ij}(\lambda) \leq \bar{y}_{ij}$.

Таким образом, $y_{ij}(\lambda) \in [\underline{y}_{ij}, \bar{y}_{ij}]$ при $0 \leq \lambda < \infty$, при чем $\lambda \neq \frac{p_{ij}}{p_{ij} + c_{ij}}$.

Рассмотрим численный пример.
Пусть $n = 3$.

Минимальный спрос на поездки по станциям отобразим в матрице A , каждый элемент которой представляет собой минимальный спрос из i -ой станции (где i – номер строки) до j -ой станции (где j – номер столбца).

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 5 & 10 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Максимальный спрос на поездки по станциям отобразим в матрице B , каждый элемент которой представляет собой максимальный спрос из i -ой станции (где i – номер строки) до j -ой станции (где j – номер столбца).

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 20 & 35 \\ 0 & 0 & 10 \end{bmatrix}.$$

Количество мест в поезде $N = 55$.

Рентабельность принимаем равной 30 %, т. е. $\rho = 1,3$.

Цена за проезд из i -ой станции до j -ой станции отобразим в матрице P

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Для нашего примера целевые функции имеют вид:

Функция потерь:

$$F_1(y_{12}, y_{13}, y_{23}) = 0,059y_{12}^2 - 1,5897y_{12} +$$

$$+ 0,0708y_{13}^2 - 3,4154y_{13} + 0,0983y_{23}^2 -$$

$$- 1,1966y_{23} + 71,6496$$

Функция прибыли:

$$F_2(y_{12}, y_{13}, y_{23}) = -0,0333y_{12}^2 + 0,5641y_{12} -$$

$$- 0,04y_{13}^2 + 1,2615y_{13} - 0,0556y_{23}^2 +$$

$$+ 0,3419y_{23} - 4,8889.$$

Ограничения представляют собой

$$\begin{cases} y_{12} \geq y_{23}, \\ y_{12} + y_{13} \leq N \end{cases}.$$

Для решения первой подзадачи, т. е. определения интервалов $y_{ij}(\lambda) \in [\underline{y}_{ij}, \bar{y}_{ij}]$, составим систему уравнений, используя условие (3).

$$\begin{cases} \lambda(0.1179y_{12} - 1.5897) + \frac{1}{15}y_{12} - 0.5641 = 0, \\ \lambda(0.1415y_{13} - 3.4154) + \frac{2}{25}y_{13} - 1.2615 = 0, \\ \lambda(0.1966y_{23} - 1.1966) + \frac{1}{9}y_{23} - 0.3419 = 0; \end{cases}$$

Решив систему, получим

$$y_{12}(\lambda) = \frac{0.3 \cdot (7948717945 + 2820512819\lambda)}{176923077 + 1000000000\lambda};$$

$$y_{13}(\lambda) = \frac{2 \cdot (3415384615 + 1261538462\lambda)}{283076923 + 1600000000\lambda};$$

$$y_{23}(\lambda) = \frac{3.6 \cdot (5982905980 + 1709401709\lambda)}{3538461537 + 2000000000\lambda}.$$

Определим интервалы $y_{ij}(\lambda) \in [y_{ij}, \bar{y}_{ij}]$.

$$y_{12}(\lambda) \in [8.4615, 13.4783];$$

$$y_{13}(\lambda) \in [15.7692, 24.1304];$$

$$y_{23}(\lambda) \in [3.0769, 6.087].$$

Переходим к решению задачи векторной оптимизации с ограничениями, путем сведения ее к задаче типа (А).

Сформируем функции h_i , $i = \overline{1, 2}$.

$$h_1 = -y_{12}(\lambda) + y_{23}(\lambda);$$

$$h_2 = y_{12}(\lambda) + y_{13}(\lambda) - 55.$$

Функция H задачи (А) представляет собой:

$$H = \min(h_1, h_2).$$

Решение данной задачи отобразим графически, где множество Парето – решение данной задачи, представлено на графике отрезком внутри области допустимых значений (рис. 2).

Полученное решение $y_{ij}(\lambda)$ удовлетворяет построенным интервалам, полученным при решении первой подзадачи.

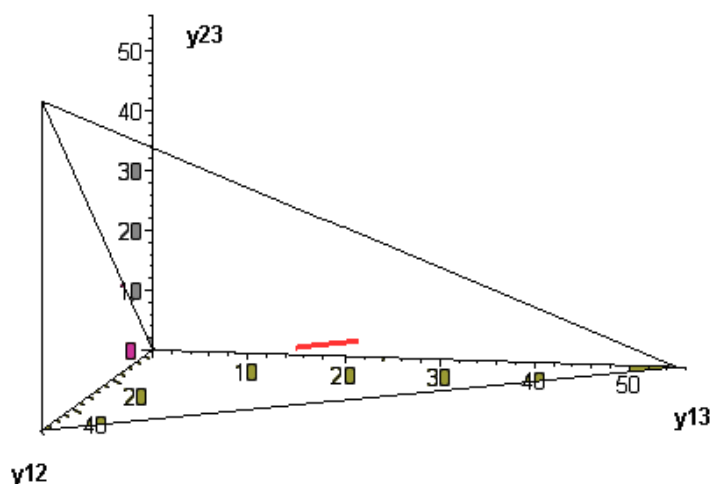


Рис. 2. Решение задачи

Процедура решения задачи векторной оптимизации определения рациональной композиции пассажирского поезда при количестве станций равное трем (т. е. при наличии одной промежуточной станции) с использованием метода параметризации Парето решения для задачи векторной оптимизации эффективна и дает предпосылки применения ее к решению задачи с более, чем одной промежуточной станцией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аксенов И. М. Математическая модель композиции пассажирских составов / И. М. Аксенов, Г. Н. Кодола, Е. А. Момот. // Жалзн. трансп. України. – 2005. – № 1. – С 47-50.

2. Босов А. А. Определение эффективной структуры пассажирского поезда / А. А. Босов, Е. А. Момот // Вісник ДНУЗТ. – Д.: ДПТ. – 2003. – Вип. 1. – С. 91-95.
3. Босов А. А. Задача векторной оптимизации одномерных выпуклых функций / А. А. Босов, Г. Н. Кодола, Л. Н. Савченко. // Зб. наук. пр. Київського ін-ту залїзн. трансп.
4. Босов А. А. Векторная оптимизация по двум показателям / А. А. Босов, Г. Н. Кодола, Л. Н. Савченко. // Вісник ДНУЗТ. – Д.: ДИИТ, 2007. – № 18.
5. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1980. – 518 с.

Поступила в редакцию 25.09.2007.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПЕРИОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ПОЕЗДООБРАЗОВАНИЯ

Поставлено завдання визначення розрахункових періодів планування для різних умов поєздообразовання. Встановлені чинники, що роблять вплив на тривалості періоду планування. Рассмотрена методика розрахунку полігону поєздообразовання і періоду укрупненого планування поєздообразовання для встановленого полігону. Приведені методичні положення, що дозволяють встановити періоди поточного планування поєздообразовання і періоди корективувати розроблених планів. Рассмотрена проблема достовірності інформації в системі формування потягів. Виділені групи подій в системі планування. Для кожної групи встановлені причини, які ведуть до зниження достовірності інформації. Приведена методика розрахунку достовірності інформації в системі поєздообразовання. Визначений вплив достовірності інформації на періоди планування. Приведена методика визначення граничного значення періоду планування залежно від достовірності інформації, що поступає. Дани рекомендації по підвищенню достовірності по кожній з виділених груп подій.

Поставлена задача определения расчетных периодов планирования для различных условий поездаобразования. Установлены факторы, оказывающие влияние на продолжительности периода планирования. Рассмотрена методика расчета полигона поездаобразования и периода укрупненного планирования поездаобразования для установленного полигона. Приведены методические положения, позволяющие установить периоды текущего планирования поездаобразования и периоды корректировки разработанных планов. Рассмотрена проблема достоверности информации в системе формирования поездов. Выделены группы событий в системе планирования. Для каждой группы установлены причины, которые ведут к снижению достоверности информации. Приведена методика расчета достоверности информации в системе поездаобразования. Определено влияние достоверности информации на периоды планирования. Приведена методика определения предельного значения периода планирования в зависимости от достоверности поступающей информации. Даны рекомендации по повышению достоверности по каждой из выделенных групп событий.

The problem of definition of the settlement periods of planning for various conditions trains makeup is put. The factors influencing durations of the period of planning are established. The design procedure of range trains makeup and the period of the integrated planning trains makeup for the established range is considered. The methodical positions are given, allowing to establish the periods of routine planning trains makeup and the periods trains makeup the developed plans. The problem of reliability of the information in system of formation of trains is considered. Groups of events in system of planning are allocated. For each group the reasons which conduct to decrease of reliability of the information are established. The design procedure of reliability of the information in system trains makeup is given. It is determined influence reliability of the information for the periods of planning. The technique of definition of limiting value of the period of planning is given on reliability of the acting information. Recommendations for increase of reliability for each of the allocated groups of events are given.

1. Введение

Оперативные планы разрабатываются на различные периоды времени. В настоящее время на железнодорожном транспорте существуют следующие периоды: трех-четырех суточный (о подходе вагонов под выгрузку); суточный, сменный (12-и часовой период), 6-и часовой, 4-х часовой, 3-х часовой. В зависимости от полигона планирования, мощности и условий зарождения корреспонденций, цели планирования могут быть установлены любые из перечисленных периодов, либо установлены отличные от них. [1].

Для планирования поездаобразования в соответствии с конкретными технологическими

особенностями и поставленными целями необходимо установить оптимальные значения периодов планирования.

2. Период укрупненного планирования поездаобразования

Задача поездаобразования с позиции планирования может быть сформулирована следующим образом: какие назначения и какой дальности $\{N_{ij}\}$ необходимо сформировать на станциях полигона $\{S_1 \dots S_X\}$ в предстоящий период времени $T_{\text{план}}$ для того, чтобы минимизировать затраты на продвижение корреспонден-

денций от станции зарождения до станций назначения.

Формирования нового состава начинается после завершения накопления предыдущего состава на рассматриваемое направление $t_{\text{нак}}^{i-1}$. Начиная с этого момента необходимо определить моменты поступления вагонов в систему поездообразования. В процессе планирования устанавливается в какие моменты времени прибывают корреспонденции на станцию формирования $\{t_{\text{приб}}^i\}$, какова мощность и технико-экономические характеристики корреспонденций $\{k_{pq}^i\}$, какие затраты на формирование и накопление возникают при реализации вариантов поездообразования $\{W\}$. Моментом начала периода планирования $t_0^{\text{план}}$ можно считать время прибытия первой корреспонденции в систему поездообразования рассматриваемого назначения $t_{\text{приб}}^{i[1]}$. Для установления затрат на поездообразование $\{W\}$ важно установить время прибытия корреспонденции, завершающей процесс накопления (закрывающей группы) и момент завершения накопления $t_{\text{нак}}^i$.

Для каждой станции поездообразования можно установить полигон допустимого влияния – станцию S_n , до которой можно оперативно корректировать план формирования поездов. Границы полигона влияния определяются при разработке плана формирования поездов, нормативного графика движения поездов и при необходимости согласовываются между железнодорожными администрациями. Станция может быть включена в полигон влияния, если выделение любого сквозного назначения назначением на эту станцию с полигона планирования не ухудшает показателей установленного плана формирования для выбранного полигона.

Наиболее дальним назначением в этом случае будет $N_{\text{ин}}$. Струя может претендовать на выделение в самостоятельное назначение, если суммарное время на его накопление и продвижение до станции назначения (расформирования) не превышает юридический срок доставки. Для установленного полигона влияния $G_{\text{вл}}$ возможность формирования сквозного назначения определяется временем нахождения корреспонденций под накоплением $T_{\text{нак}}$ и технико-экономическими характеристиками корреспонден-

денций $\{k_{pq}^i\}$. Для заданного полигона можно установить предельно-допустимое время нахождения вагонов под накоплением $T_{\text{нак}}^{\text{max}}$ (превышение установленного времени переводит формирование сквозного назначения в разряд неконкурентоспособных и исключает данный вариант поездообразования из рассмотрения). Время $T_{\text{нак}}^{\text{max}}$ устанавливается для «благоприятных» характеристик корреспонденций, дающих возможность наиболее продолжительного нахождения в системе поездообразования (отсутствие вагонов принадлежности других администраций и собственников, отсутствие ускоренных отправок, отсутствие просрочки в доставке груза и т.п.).

Следовательно, предельно-допустимым моментом прибытия закрывающей группы можно считать $t_{\text{нак}}^i = t_0^{\text{план}} + T_{\text{нак}}^{\text{max}}$. В этом случае период планирования $T_{\text{план}}^{\text{max}} = T_{\text{нак}}^{\text{max}}$.

В случае если процесс накопления протекает равномерно, продолжительность накопления вагонов на состав поезда может быть рассчитана по формуле

$$T_{\text{нак}}^{\text{max}} = \frac{m_{\text{ин}}}{N_{\text{ин}}}, \text{ суток}, \quad (1)$$

где $m_{\text{ин}}$ – количество вагонов в составе поезда, назначением на станцию S_n , вагонов; $N_{\text{ин}}$ – среднесуточная мощность вагонопотока, назначением на станцию S_n , вагонов/сутки;

При гипотезе, что мощность корреспонденций, поступающих на станции полигона планирования является стационарной и подчиняется нормальному закону распределения, продолжительность периода планирования можно определить следующим образом:

1. Определяется перечень струй вагонопотоков, претендующих на выделение в самостоятельные назначения $\{N_{iq}\}$.

2. Определяется перечень корреспонденций $\{k_{pq}^i\}$, входящих в каждое из назначений.

3. Определяется мощность назначения n_{iq} .

4. Для назначения n_{iq} на основании статистических данных определяется минимальное значение вагонопотока (отклонение значения мощности корреспонденций вагонопотока от среднего значения $\bar{n}_{iq} - 3\sigma$).

5. Для минимального значения суммарной мощности корреспонденций определяется период накопления вагонов на состав:

$$t_{\text{нак}}^{pq} = \frac{\bar{m}}{\bar{n}_{pq} - 3\sigma}. \quad (2)$$

6. В соответствии с определенной продолжительностью накопления рассчитывается период планирования, в который помимо времени накопления входит время на сбор $t_{\text{сб}}$, подготовку и обработку информации $t_{\text{подг}}$

$$T_{\text{план}}^{\text{max}} = t_{\text{нак}}^{pq} + t_{\text{сб}} + t_{\text{подг}}. \quad (3)$$

Значения $t_{\text{сб}}$ и $t_{\text{подг}}$ зависят от комплекса технических средств, обеспечивающих сбор и обработку информации. В случае формирования поездов повышенной транзитности для условий полигона Белорусской железной дороги значение максимального периода планирования $T_{\text{план}}^{\text{max}}$ может достигать 3-4 суток. Увеличение продолжительности периода планирования нецелесообразно, так как приводит к повышению неопределенности (энтропии) информации и снижению ее достоверности.

3. Период текущего планирования поездообразования

С течением времени разработанный план поездообразования требует корректировок: в пути следования вагоны могут быть отцеплены от состава поезда, количество зарождающихся на полигоне корреспонденций больше либо меньше плановых значений, поезд прибыл с отставанием или с опережением относительно графика. Следовательно, производить детальное планирование выполнения операций на станции на весь период $T_{\text{план}}^{\text{max}}$ не представляется возможным. В связи с этим необходимо установить периоды разработки текущих планов выполнения станционных операций.

Для станционного уровня максимально возможная продолжительность периода текущего планирования $T_{\text{план}}^{\text{тек}}$ устанавливается исходя из обеспеченности полной и достоверной информацией. Увеличение периода планирования позволяет предвидеть ожидаемое поездное положение на больший срок. Это расширяет возможности предупреждения затруднений в работе и своевременного проведения необходимых регулировочных мер.

Недостаточная продолжительность периода планирования приводит к тому, что мероприятия проводятся с опозданием. Точная информация может быть получена только на те поезда, которые уже находятся в движении на момент

составления плана, либо на которые сформированы телеграмм-натурные листы. В зависимости от конкретных условий продолжительность периода текущего планирования $T_{\text{план}}^{\text{тек}}$ может быть рассчитана по следующей формуле

$$T_{\text{план}}^{\text{тек}} = \frac{L_{\text{тех}}}{V_{\text{уч}}} + \Delta T_{\text{ТГНЛ-отпр}} - (T_{\text{пр}} + T_{\text{об}} + T_{\text{рп}}) + t_{\text{зб}}, \quad (4)$$

где $L_{\text{тех}}$ – расстояние от станции планирования до технической станции, с которой следуют корреспонденции; $V_{\text{уч}}$ – участковая скорость, реализуемая на участке между техническими станциями; $\Delta T_{\text{ТГНЛ-отпр}}$ – затраты времени на технологические операции, выполняемые на технической станции с момента формирования ТГНЛ на отправляемый состав до момента отправления поезда со станции; $T_{\text{пр}}$ – затраты времени на передачу информации; $T_{\text{об}}$ – затраты времени на обработку информации с учетом выполнения логического контроля в ИРЦ; $T_{\text{рп}}$ – продолжительность расчета плана работы; $t_{\text{зб}}$ – время опережения передачи информации момента формирования ТГНЛ (заблаговременность передачи).

Продолжительность периода текущего планирования $T_{\text{план}}^{\text{тек}}$ может быть рассчитана по каждому поступающему на станцию назначению в условиях передачи информации о составах как до, так и после их отправления со станций. Информация с промежуточных станций участка о прибытии корреспонденций в составе сборных поездов должна передаваться заблаговременно. В условиях создания опорных станций и линейных районов поступление корреспонденций в сборных поездах является одной из задач планирования поездообразования и рассматривается при разработке текущего плана.

4. Корректировка продолжительности периодов планирования

Для различных моментов времени значения периодов $T_{\text{план}}^{\text{max}}$ и $T_{\text{план}}^{\text{тек}}$ могут принимать различные значения: изменяется дальность и продолжительность накопления наиболее транзитного назначения; неравномерное поступление поездов на станцию в течение суток; различные интервалы времени между моментами завершения накопления составов и т.п. Продолжительность периодов может существенно отли-

чаться для различных станций полигона. Следовательно, значения периодов, полученные расчетным путем, не могут быть напрямую использованы в системе планирования и требуют корректировки и взаимного согласования.

Помимо прогнозирования и корректировки в процессе управления поездообразованием необходимо реализовать функции учета, анализа и контроля. Данные функции привязаны к режиму работы управляющего аппарата. В системе планирования необходимо обеспечить взаимную согласованность, преемственность и увязку планов различных объектов, участвующих в поездообразовании. Для этого при разработке системы планирования необходимо предусмотреть:

- взаимное перекрытие предыдущего и последующего планов не менее чем на 1 час для обеспечения преемственности планов;
- кратность период планирования продолжительности смен;
- одинаковые периоды планирования для всех станций полигона совместного поездообразования;
- количество корректировок за смену должно быть целым числом.

Следовательно, на основании значений оптимальных периодов планирования для всех станций полигона выбирается такое значение, которое позволяет обеспечить планирование поездообразования на любой станции полигона и кратно уже установленным на железнодорожном транспорте технологическим периодам (суткам, 12-и часам). Периоды корректировки планов должны быть кратны 6-и, 4-х, 3-х часовым периодам.

5. Достоверность информации в системе поездообразования

В информационно-планирующей системе используется оперативная информация о событиях, которые можно отнести к двум группам:

- причинно-обусловленные (детерминированные) события, происхождение которых обусловлено всем ходом предшествующего развития системы поездообразования – наличие сформированных поездов на станции, наличие вагонов на путях станции, наличие груза и порожних вагонов под погрузку и их местоположение, дислокация локомотивного парка.
- события, которые устанавливают условное окончание некоторых процессов

на момент сбора информации и не вызывают возникновения новых событий в плановый период – общее количество сформированных поездов за сутки, количество принятых и отправленных станцией поездов, общее количество расформированных станцией за сутки поездов, суточный объем погрузки и т. п.

Информация о событиях первой группы содержит данные о состоянии объекта планирования и его потенциальных возможностях освоения предполагаемого вагонопотока в течение планового периода. Она является основной для планирования поездообразования и характеризуется полнотой, достоверностью и глубиной.

События второй групп описываются отчетно-статистической информацией, которая характеризует объем выполненной работы за установленный период. Если нет искажения при передаче, ошибок при сборе и первичной обработке, статистическая информация обладает минимальной степенью неопределенности.

В систему планирования поездообразования необходимо обеспечить своевременное поступление достоверной информации.

Под достоверной информацией в системе поездообразования следует понимать степень соответствия оперативной информации, поступающей непосредственно в систему управления, реальному состоянию объекта планирования и его подсистем.

Достоверность поступающей в систему поездообразования информации оценивается через энтропию и может снижаться за счет неадекватного описания количественных $H_n(\{k_{pq}\})$

(количество вагонов в i -ой корреспонденции) и временных $H_t(\{k_{pq}\})$ (время поступления i -ой корреспонденции в систему поездообразования) характеристик корреспонденций. Наибольшей энтропией обладают временные характеристики корреспонденций [2].

Корреспонденции поступают на станции полигона планирования в составе поездов, и время их следования от станций зарождения до станций полигона планирования состоит из времени нахождения поезда в движении, времени нахождения на станциях в переработке (системы поездообразования полигона сбора информации) и времени проследования технических станций без переработки.

Времена нахождения корреспонденций на станциях имеют вероятностный характер. От-

клонения от нормативного времени обусловлены следующими причинами:

- а) при проследовании с переработкой:
 - варьирование времени накопления вагонов на состав поезда;
 - варьируемый порядок обработки составов в технологических подсистемах станции;
 - случайное число групп вагонов ЗСГ, влияющее на продолжительность роспуска;
 - отклонения во времени обслуживания бригадами ПТО и ПКО по прибытию и отправлению, обусловленные варьированием числа и вида неисправностей вагонов в различных поездах;
 - обеспеченность ниток графика поездными локомотивами и локомотивными бригадами;
- б) при проследовании без переработки:
 - отклонения во времени обслуживания бригадами ПТО и ПКО по прибытию и отправлению, обусловленные варьированием числа и вида неисправностей вагонов в различных поездах;
 - обеспеченность ниток графика поездными локомотивами и локомотивными бригадами;

Вероятностным остается и время нахождения корреспонденций в движении, что сказывается, в свою очередь, на надежности выполнения графика движения поездов. Отклонения от нормативного графика обусловлены техническими характеристиками поездных локомотивов и вагонов, следующих в составе поезда, надежностью комплексов устройств АТС и пути и т. д.

Энтропия временных характеристик информации определяется по формуле

$$H_t(\{k_{pq}\}) = -\sum_{i=1}^n p_i^{pq} \log p_i^{pq}, \quad (8)$$

где p_i^{pq} – вероятность поступления корреспонденции k_{pq} в i -й интервал времени; n – количество временных интервалов [2].

Таким образом, задача определения временной энтропии сводится к задаче определения вероятности поступления корреспонденции в планируемый период от t_i до t_{i+1} . Время прибытия корреспонденции в систему поездобразования должно удовлетворять уровню надежности выполнения технологических времен следования по всем элементам логистической

цепи, т. е.

$$p(T_0 < T_{\text{след}} \leq T_{\text{план}}) = \int_{T_0}^{T_{\text{план}}} f(T) dT. \quad (9)$$

Плотность распределения времени следования от станции зарождения до станции поездобразования можно аппроксимировать распределением Гаусса-Лапласа, плотность которого

$$f(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T - \bar{T})^2}{2\sigma^2}}. \quad (10)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение времени (срока) доставки, определяемое по всем элементам маршрута следования,

Вероятность того, что корреспонденция прибывает в течение периода планирования (в течение максимально допустимого времени опоздания) составит [3]

$$P(T_{\text{след}} \leq \max T_{\text{след}}) = \Phi\left(\frac{\max T_{\text{след}} - \bar{T}}{\sigma}\right), \quad (11)$$

Технологическое время следования корреспонденций определяется на основе технологий перевозочного процесса для каждой пары станций полигона сбора информации и полигона планирования.

При определении периода планирования поездобразования необходимо предусмотреть, чтобы информация о корреспонденциях своевременно поступала в систему планирования поездобразования, то есть

$p(T_0 < T_{\text{след}} \leq T_{\text{план}}) \rightarrow 1$. То есть при определении периода планирования необходимо учитывать не среднее время следования корреспонденции $\bar{t}_{p;A}$, а максимальную величину $\max t_{p;A} = \bar{t}_{p;A} + 3\sigma$.

В противном случае, при расчетах основанных на средних значениях, возможно ситуация, когда часть корреспонденций прибывает позже периода планирования (в период от $t_0 + T_{\text{план}}$ до

$t_0 + T_{\text{план}} + \sum_{i=p}^A \Delta t_{\text{тех}}^i$). В этом случае увеличится

период накопления и, как следствие, назначение $N_{A;q}$ перейдет в разряд неэффективных.

С учетом времени, необходимого на обработку данных, поступающих с полигона сбора информации, а также выполнение расчетов и доведения планов до исполнителей, период планирования будет равен

$$T_{\text{план}} = \bar{t}_{\text{след}}^{p;A} + \sum_{i=p}^A \Delta t_{\text{техн}}^i - t_{\text{сбор}} - t_{\text{подг}} \cdot \quad (12)$$

Отдельной задачей является исследование верности количественных показателей информации, т. е. верности содержательной части. В системе поездообразования достоверность информации снижается за счет следующих факторов:

- отцепка в пути следования от поездов вагонов, непригодных для дальнейшего следования по техническим причинам;
- неприем по стыкам вагонов с отдельными категориями грузов из-за неправильного таможенного оформления;
- ошибки, возникающие в процессе списывания составов с натуры;
- ошибки при заполнении документов и передаче информации в управляющую систему;
- передача в управляющую систему информации о событиях, которые в реальном процессе не происходили;
- отсутствие информации в системе управления о реальных процессах и т. д.

Спрогнозировать изменение количественных характеристик корреспонденций в пути следования достаточно сложно. Но в силу того факта, что эти изменения, как правило, не значительны и в большинстве случаев не оказывают существенного влияния на процессы поездообразования, при планировании ими можно пренебречь.

В общем случае, верность информации о количественных характеристиках корреспонденций в пути следования может быть повышена за счет улучшения качества проведения технического обслуживания и коммерческих осмотров на технических станциях направления, а также за счет более качественного кон-

троля за правильностью заполнения и полнотой поездных документов и передаваемых сообщений.

Заключение

Продолжительность периода планирования оказывает непосредственное воздействие на систему сбора информации с полигона. При правильном выборе периодов сокращаются затраты на сбор и хранение информации, снижается размерность решаемых задач, повышается точность разрабатываемых планов.

Разработанная методика определения периодов планирования является, с одной стороны, технологическим ограничением при выборе полигона сбора информации, а с другой - базой для разработки информационно-управляющей системы поездообразования. Приведенная методика может быть использована при создании системы управления поездообразованием на полигоне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тулупов Л. П. Текущее планирование поездной работы технических станций / Л. П. Тулупов, Ян Юйлиан // Железнодорожный транспорт, 1997. - № 6. - С. 28-31.
2. Грунтов П. С. Эксплуатационная надежность станций. - М.: Транспорт, 1986. - 247 с.
3. Ринг В. И. Основы транспортной логистики (железнодорожный транспорт): Пособ. / В. И. Ринг, Л. А. Редько, О. Р. Грунтова. // Под ред. П. С. Грунтова. - Гомель: БелГУТ, 2002. - 100 с.
4. Ерофеев А. А. Информационные технологии на железнодорожном транспорте: пособие / А. А. Ерофеев, В. Г. Кузнецов. - Гомель: БелГУТ, 2003. - 83 с.

Поступила 20.09.2007.

ПОГРЕШНОСТЬ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ПЕРВОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ С АППРОКСИМАЦИЕЙ ВТОРОЙ ПРОИЗВОДНОЙ ЛИНЕЙНЫМ СПЛАЙНОМ

Визначається похибка вирішення першої граничної задачі для звичайного диференціального рівняння другого порядку з нелінійною правою частиною. Друга похідна функції, що визначається, наближається лінійним сплайном.

Определяется погрешность решения первой краевой для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с нелинейной правой частью. Вторая производная определяемой функции аппроксимируется линейным сплайном.

The error of the decision of the first boundary problem for the ordinary differential equation of the second order with a nonlinear right part is defined. The second derivative of defined function is approximated by a linear spline.

Краевую задачу можно рассматривать как некоторое операторное уравнение. Исследование свойств приближенных методов решения состоит в установлении выполнения условия $u^k(t) = u(t)$, где $u(t)$ - точное решение операторного уравнения, $u^k(t)$ - приближенное решение уравнения на k -й итерации. Операторные методы могут быть линейными и нелинейными. Исследования операторных уравнений выполняется методами функционального анализа [1-5]. По принципу построения различают две основные группы методов решения операторных

уравнений – прямые и итерационные. Прямые методы состоят в сведении решаемых уравнений к более простым. Это может быть достигнуто путем аппроксимации операторов или искомых решений, или и тем и другим способом. Среди аппроксимационных методов можно выделить [6-7]. Итерационные методы основываются на принципе сжатых отображений [8-10].

Рассматривается первая краевая задача

$$u'' = f(s, u, u'), \quad u(0) = \alpha, \quad u(1) = \beta \quad (1)$$

и ее приближенное решение в узлах регулярной сетки $t_i = i \cdot h$, $i = \overline{0, n}$

$$u_i^p = \alpha + (\beta - \alpha)ih + (i - n) \frac{h^3}{6} \sum_{j=1}^i [(3j - 2)f_{j-1}^{p-1} + (3j - 1)f_j^{p-1}] - \\ - i \frac{h^3}{6} \sum_{j=i+1}^n [(3n - 3j + 2)f_{j-1}^{p-1} + (3n - 3j + 1)f_j^{p-1}], \quad i = \overline{1, n-1}, \quad (2)$$

которое получается с помощью аппроксимации правой части линейным сплайном [11]. В вы-

ражении (2) p номер итерации, $f_j^{p-1} = f(t, u_{p-1}(t_j), u'_{p-1}(t_j))$,

$$\tilde{u}''(t) = F^p(t) = F_{i-1}^p(t) = f_{i-1}^{p-1} + \frac{f_i^{p-1} - f_{i-1}^{p-1}}{t_i - t_{i-1}}(t - t_{i-1}), \quad t_{i-1} \leq t \leq t_i, \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

– линейный сплайн, аппроксимирующий вторую производную u'' . Для любой точки отрезка

интегрирования $[0, 1]$ приближенное решение $\tilde{u}(t)$ определяется по формуле [11]

$$\tilde{u}(t) = \alpha + (\beta - \alpha)t + (t - 1) \frac{h^3}{6} \sum_{\substack{j=1 \\ (i \geq 1)}}^i [(3j - 2)f_{j-1} + (3j - 1)f_j] + \\ + (t - 1) \int_{t_i}^t \xi F_i(\xi) d\xi + t \int_t^{t_{i-n}} (\xi - 1) F_i(\xi) d\xi - \\ - t \frac{h^3}{6} \sum_{\substack{j=i+2 \\ (i < n-1)}}^n [(3n - 3j + 2)f_{j-1} + (3n - 3j + 1)f_j], \quad t_i \leq t \leq t_{i+1}, \quad i = \overline{0, n-1}. \quad (4)$$

Определим погрешность приближенного решения рассмотренной краевой задачи. Рассмотрим разность в точке t_i

$$\begin{aligned}
 \Delta u(t_i) &= |u(t_i) - \tilde{u}(t_i)| = \left| A + (B - A)t + \int_0^1 G(\xi, t_i) f(\xi) d\xi - A - (B - A)t - \int_0^1 G(\xi, t_i) \tilde{f}(\xi) d\xi \right| = \\
 &= \left| - \int_0^{t_i} \xi(1-t) f(\xi) d\xi - \int_{t_i}^1 t(1-\xi) f(\xi) d\xi + \int_0^{t_i} \xi(1-t) \tilde{f}(\xi) d\xi + \int_{t_i}^1 t(1-\xi) \tilde{f}(\xi) d\xi \right| = \\
 &= \left| \int_0^{t_i} \xi(1-t) (\tilde{f}(\xi) - f(\xi)) d\xi + \int_{t_i}^1 t(1-\xi) (\tilde{f}(\xi) - f(\xi)) d\xi \right| = \\
 &= \left| (1-t_i) \int_0^{t_i} \xi (\tilde{f}(\xi) - f(\xi)) d\xi + t_i \int_{t_i}^1 (1-\xi) (\tilde{f}(\xi) - f(\xi)) d\xi \right| = \\
 &= \left| (1-t_i) \sum_{j=1}^i \int_{t_{j-1}}^{t_j} \xi (\tilde{f}(\xi) - f(\xi)) d\xi + t_i \sum_{j=i+1}^n \int_{t_{j-1}}^{t_j} (1-\xi) (\tilde{f}(\xi) - f(\xi)) d\xi \right|. \quad (5)
 \end{aligned}$$

В (5) $f(\xi) = f(\xi, u(\xi), u'(\xi))$, $\tilde{u}_i = \tilde{u}(t_i)$ - решение в узлах сетки, $\tilde{f}(\xi)$ - значение функции f от приближенного решения $\tilde{u}(t)$, $G(\xi, t)$ - функция Грина

$$\begin{cases} \xi(t-1), & 0 \leq \xi \leq t, \\ t(\xi-1), & t < \xi \leq 1. \end{cases}$$

Подставляя (6) в (5), получим

$$\begin{aligned}
 \Delta u(t_i) &\leq \max_{0 \leq t \leq 1} \left| (1-t_i) \sum_{j=1}^i \int_{x_{j-1}}^{x_j} \xi(\xi-t_j)^2 (1-\theta) f''(\xi^*) d\xi + t_i \sum_{j=i+1}^n \int_{x_{j-1}}^{x_j} (1-\xi)(\xi-t_j)^2 (1-\theta) f''(\xi^*) d\xi \right| \leq \\
 &= \left| (1-t_i) \sum_{j=1}^i \int_{(j-1)h}^{jh} \xi(\xi-t_j)^2 d\xi + t_i \sum_{j=i+1}^n \int_{(j-1)h}^{jh} (1-\xi)(\xi-t_j)^2 d\xi \right| \cdot \max_{0 \leq t \leq 1} |f''(\xi^*)|. \quad (7)
 \end{aligned}$$

В выражении (7) $t_{j-1} \leq \xi^* \leq t_j$, а h шаг линейной интерполяции для второй производной $u''(t)$. Найдем значения интегралов входящих в выражение (7), учитывая, что $x_j = jh$. Первый интеграл будет равен

$$\int_{t_{j-1}}^{t_j} \xi(\xi-t_{j-1})^2 d\xi = \int_{(j-1)h}^{jh} \xi(\xi-jh-h)^2 d\xi =$$

Запишем разность $\tilde{f}(\xi) - f(\xi)$ как погрешность ряда Тейлора, учитывая линейное представление функции $\tilde{f}(\xi)$ в окрестности точки t_i в форме Коши [12]

$$\tilde{f}(\xi) - f(\xi) = \frac{(\xi - t_i)^2}{2!} (1-\theta) f''(t_i + \theta(\xi - t_i)), \quad (6)$$

где $0 < \theta < 1$.

$$= \frac{7}{3} h^4 j - \frac{17}{12} h^4 = \frac{h^4}{12} (28j - 17).$$

Определим значение второго интеграла

$$\int_{t_{j-1}}^{t_j} (1-\xi)(\xi-t_{j-1})^2 d\xi = -\frac{7}{3} h^4 j - \frac{17}{12} h^4 + \frac{7}{3} h^3.$$

Теперь в точке t_i разность $\Delta u(t_i)$ составит

$$\Delta u(t_i) \leq \max_{0 \leq t \leq 1} |f''(t)| \left[(1-ih) \frac{h^4}{12} \sum_{j=1}^i (28j - 17) + ih \sum_{j=i+1}^n \left(-\frac{7}{3} h^4 j + \frac{17}{12} h^4 + \frac{7}{3} h^3 \right) \right]. \quad (8)$$

Подсчитаем значения первого и второго слагаемого, стоящих в квадратных скобках соотношения (8)

$$(1-ih)\frac{h^4}{12}\sum_{j=1}^i(28j-17)=(1-ih)\frac{h^3}{12}(14i-3)$$

$$ih\sum_{j=i+1}^n\left(-\frac{7}{3}h^4j+\frac{17}{12}h^4+\frac{7}{3}h^3\right)=$$

$$ih(1-ih)\frac{h^2}{12}[-14h(i+1+n)+17h+28].$$

Окончательно запишем выражение для разности

$$\begin{aligned}\Delta u(t_i) &= t_i(1-t_i)\frac{h^2}{12}\left[h(14i-3)-14h\left(i+1+n+17h+\frac{7}{3}\right)\right]\cdot\max_{0\leq t\leq 1}|f''(t)|= \\ &= t_i(1-t_i)\frac{h^2}{12}\left[14ih-3h-14ih-14h-14nh+17h+\frac{28}{3}\right]\cdot\max_{0\leq t\leq 1}|f''(t)|= \\ &= t_i(1-t_i)\frac{h^2}{12}\left[14ih-3h-14ih-14h-14nh+17h+\frac{28}{3}\right]\cdot\max_{0\leq t\leq 1}|f''(t)|= \\ &= t_i(1-t_i)\frac{h^2}{6}\cdot 7\max_{0\leq t\leq 1}|f''(t)|.\end{aligned}$$

Учитывая, что точка t_i выбрана произвольно, можно записать погрешность для любой точки t

$$\Delta u(t)=t(1-t)\frac{h^2}{6}\cdot 7\max_{0\leq t\leq 1}|f''(t)|.$$

Рассмотрим погрешность решения для примера приведенного в [11]. Необходимые данные и вычисления приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оценка погрешности решения

х (h= 0,090909)	Прибл. решение	Точное решение	Модуль погрешно- сти	Первая произв.	Вторая произв.
0,00000000	0,00000	0,00000	0,00000	0,52141	1,108911
0,09090909	0,04283	0,04279	0,00004	0,4206	1,068101
0,18181818	0,07665	0,07659	0,00006	0,3235	1,037741
0,27272727	0,10178	0,10170	0,00008	0,22916	1,016731
0,36363636	0,11842	0,11833	0,00009	0,13673	1,004411
0,45454545	0,12670	0,12661	0,00009	0,04542	1,000341
0,54545455	0,12670	0,12661	0,00009	-0,04552	1,004411
0,63636364	0,11842	0,11833	0,00009	-0,13683	1,016731
0,72727273	0,10178	0,10170	0,00008	-0,22926	1,037741
0,81818182	0,07665	0,07659	0,00006	-0,3236	1,068211
0,90909090	0,04283	0,04279	0,00004	-0,42071	1,109021
1,00000000	0,00000	0,00000	0,00000	-0,52153	
Максимальное отклонение		0,00009;	$\max f'' =1,109021;$		
Оценка погрешности $\Delta u =$		0,002796			

Выводы

Наибольшая погрешность достигается в точке $t = 0.5$ и составляет

$$|u(0,5)-\tilde{u}(0,5)|\leq\max_{0\leq t\leq 1}|f''(t)|\cdot\frac{7}{24}h^2.$$

В граничных точках погрешность равна нулю вследствие выполнения граничных условий для точного и приближенного решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коллатц Л. Функциональный анализ и вычислительная математика. – М.: Мир. - 1969. – 447 с.
2. Кантарович Л. В. Приближенные методы высшего анализа. / Л. В. Кантарович, Крылов В. И. – М., Л.: Физматгиз. – 1962. – 708 с.
3. Колмогоров А. Н. Элементы теории функций и функционального анализа. / Колмогоров А. Н., Фомин С. В. – М.: Наука. – 1981. - 544 с.
4. Люстерник Л. А. Элементы функционального анализа. / Л. А. Люстерник, В. И. Соболев – М.: Наука. – 1965. – 520 с.
5. Треногин В. А. Функциональный анализ. – М.: Наука. - 1980. – 495 с.
6. Краснов М. Л. Интегральные уравнения. – М.: Наука. – 1975. – 304 с.
7. Красносельский М. А. Положительные решения операторных уравнений. – М.: Физматгиз. – 1962. - 182 с.
8. Биленко В. И. Приближение полиномами решений одного класса интегральных уравнений Гаммерштейна. – К.: - 1980. – 23 с. / АН УССР, Ин-т математики. - № 80-17.
9. Дзязык В. К. О применении линейных методов к приближению полиномами решений обыкновенных дифференциальных уравнений и интегральных уравнений Гаммерштейна. – Изв. АН СССР. Сер. мат., - 1970. - № 34. – С. 827 - 848.
10. Педас А. Кусочно-линейная аппроксимация решения интегрального уравнения с логарифмической особенностью в ядре. Вычислительные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений. – Учен. зап. Тарт. ун-та. – 1979. – С. 33- 42.
11. Лагута В. В. Метод итерации решения первой краевой задачи с нелинейной правой частью / Вісник ДНУЗТ. Вип. 18. - Д. 2007.
12. Никольский С.М. Курс математического анализа. – М.: Наука. - 1975. – С. 149.

Надійшла до редколегії 17.09.2007.

О. Н. ЛИСОГУРСКИЙ, Белорусский государственный университет транспорта
(Республика Беларусь)

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ТЕХНИЧЕСКОМУ НОРМИРОВАНИЮ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

У статті розглянуті сучасні проблеми в області розробки технічних планів роботи дороги і її структурних підрозділів. Приводиться аналіз існуючих методів планування і їх недоліки при організації перевезень в сучасних умовах. Дана характеристика ієрархічних рівнів управління, виходячи з реструктуризації залізничного транспорту. Приведена система класифікації показників, що дозволяє деталізувати інформацію про роботу залізниці і застосовувати її в математичних моделях. Представлені сучасні вимоги до методології технічного нормування і описані основні елементи Системи підтримки ухвалення рішень технічного нормування експлуатаційної роботи дороги (СПР ТНЕРД).

В статье рассмотрены современные проблемы в области разработки технических планов работы дороги и ее структурных подразделений. Приводится анализ существующих методов планирования и их недостатки при организации перевозок в современных условиях. Дана характеристика иерархических уровней управления, исходя из реструктуризации железнодорожного транспорта. Приведена система классификации показателей, позволяющая детализировать информацию о работе железной дороги и применять ее в математических моделях. Представлены современные требования к методологии технического нормирования и описаны основные элементы разрабатываемой *Системы поддержки принятия решений технического нормирования эксплуатационной работы дороги* (СПР ТНЭРД).

In article modern problems in the field of development of technical plans of work of road and its structural divisions are considered. The analysis of existing methods of planning and their lacks is resulted at the organization of transportations in modern conditions. The characteristic of hierarchical levels of management, proceeding from restructuring a railway transportation is given. The system of classification of the parameters is resulted, allowing to detail the information on work of the railway and to apply it in mathematical models. Modern requirements to methodology of technical normalization are presented and basic elements of developed *System of support of decision-making of technical normalization of work of road* (СПР ТНЭРД) are described.

На железнодорожном транспорте всегда уделялось значительное внимание планированию работы на среднесрочный период (квартал, месяц). Благодаря исследованиям Кудрявцева В. А., Сметанина А. И., Тулупова Л. П. и других ученых [1,2,3] была создана четкая модель разработки месячных технических норм и сменно-суточных планов работы железной дороги и ее структурных подразделений. На основе предложенных методик на ряде дорог были созданы программы расчета технического нормирования, которые в настоящее время имеют ряд недостатков:

1) упрощенная декомпозиция объектов технического нормирования – планирование работы ведется по дороге в целом и ее отделениям без разбивки по техническим станциям, направлениям, железнодорожным участкам;

2) расчеты вагонного парка ведутся фактически только по одному объекту принадлежности – отсутствует декомпозиция рабочего парка по принадлежности государству-собственнику, владельцу;

3) технические нормы разрабатываются только для вагонного парка – не производится

нормирование потребности в локомотивах, затрат энергетических ресурсов и др.;

4) неадекватное отражение эксплуатационной нагрузки на объекты системы – укрупненная оценка корреспонденций вагонопотоков на полигоне дороги (отделение – отделение), отсутствие моделей пропуска вагонопотока по направлениям следования на полигоне сети, отсутствие моделей прогнозирования вагонопотока с учетом многофакторного анализа;

5) практически не производится нормирование грузопотоков, вагонопотоков и поездопотоков (только по железнодорожным участкам, примыкающим к стыковым пунктам);

6) расчет технических норм производится без учета влияния изменения плана формирования, работы служб пути и других подразделений, влияющих на пропускную способность участков;

7) неадекватность информационной модели состоянию и мерам оперативного управления – укрупненная декомпозиция полигона дороги для принятия управленческих решений при техническом нормировании по регулированию транспортными средствами; высокий уровень

неопределенности данных об объектах управления из-за отсутствия единой базы исходных данных о состоянии перевозочного процесса и объективного ее анализа и контроля;

8) не производится экономического анализа рассчитанных плановых норм.

Таким образом, существующие системы технического нормирования не соответствуют новым потребностям планирования работы железных дорог и новым возможностям технических средств и их эффективного использования.

Современные исследования направлены на разработку информационно-управляющих автоматизированных систем, оказывающих поддержку принятия решений руководящими органами дороги. Анализ литературных источников показывает важность и актуальность разработки таких систем (в том числе и в техническом нормировании), однако исследования направлены на решение отдельных задач (например, регулирование вагонных парков, которые в совокупности не позволяют планировать работу железнодорожных подразделений. Поэтому разработка новой методологии технического нормирования по-прежнему остается одной из самых актуальных задач управления перевозками.

Реструктуризация железных дорог привела к перераспределению функций планирования технических показателей, поэтому в первую очередь, необходимо разграничить права и возможности влияния каждого уровня управления. На данном этапе можно выделить три уровня управления процессами перевозок.

Сетевой уровень должен решать вопросы стратегического развития железнодорожного транспорта. Задачи планирования и организации перевозки массовых грузов; планирования и управления погрузочными ресурсами; управления поездом и вагонопотоками и тяговыми ресурсами.

Региональный уровень должен осуществлять оперативное и текущее планирование поездной и грузовой работы; планирование и управление погрузочными ресурсами в пределах региона; обеспечение регулировочных заданий и управление тяговыми ресурсами.

Линейный уровень отвечает за отправление поездов в соответствии с ПФ и ГДП; выполнение оперативных заданий; обработку поездов; передачу грузов между государствами и другими видами транспорта.

Таким образом, разработка технических норм должна производиться на сетевом уровне, а их выполнение - на более низких уровнях управления. Но так как вся работа происходит практически на линейном уровне управления, то расчет технических норм необходимо произ-

водить снизу вверх: планирование работы станций – линейных районов – отделений – дорог. Плановые задания более высокого уровня управления определяются путем агрегирования плановых норм низших уровней.

Следующим вопросом является разработка более детальной классификации показателей технического нормирования. Сложившаяся структура показателей достаточно полно описывает перевозочный процесс, однако деление всех показателей на три группы (количественные, качественные и нормы использования транспортных средств и других ресурсов) не всегда дают возможность адекватного их использования. Например, при переходе от отделенческой диспетчерской структуры к дорожному центру управления на скорость продвижения вагонов по участкам отделение влиять не может, так как она напрямую зависит от качества работы диспетчерского аппарата (и лишь косвенно от других факторов). Таким образом, необходимо выделить еще ряд признаков в классической классификации показателей.

Первая группа признаков характеризует способы получения и обработки показателей.

По стадиям образования все показатели можно разделить на простые и сложные, это позволяет четко определить зависимости между показателями, а так же применять для одной группы общие правила преобразования в расчетах.

По способу получения необходимо выделить отчетные и расчетные.

По характеру выражаемых свойств явления - абсолютные, относительные и средние.

По технологической соподчиненности - один показатель стоит во главе группы, которую образуют все зависимые от него показатели.

По возможности измерения все показатели делятся на вещественные, стоимостные и относительные.

По объекту учета показатели можно разделить на скалярные и векторные. Следует заметить, что один и тот же показатель может учитываться и как скалярный (погрузка по станции) и как векторный (погрузка со станции по дорогам назначения).

Ко второй группе отнесены признаки систематизации показателей в структуре управления железнодорожным транспортом.

По иерархической структуре – макро-показатели (стратегические показатели развития для всего транспорта), показатели деятельности железной дороги, отделений дороги, линейных предприятий.

По функциональным признакам – отнесение

показателей к службам дороги в соответствии с выполняемыми функциями.

По категориям решаемых задач - технологические (эксплуатационные), финансово-экономические, бухгалтерского учета, показатели по труду и др.

По времени – в зависимости от времени сбора, передачи, анализа информации и выработки управленческих решений необходимо различать показатели оперативные и тактические.

Представленная классификация позволяет более четко разделять показатели и использовать их признаки для решения различных задач технического нормирования.

На основе вышесказанного, современная система планирования работы дороги должна учитывать:

- изменение инфраструктуры железной дороги (уровней управления);
- интересы грузоотправителей и грузополучателей (нормирование погрузки и выгрузки, исходя из схем следования грузопотоков);
- разделение парка вагонов на собственные, арендованные, частные и свои - «чужие»;
- учет времени нахождения «чужих» вагонов на территории дороги и возможность их использования;
- увязку технических нормативов с эксплуатационными расходами;
- влияние различных не эксплуатационных факторов на технические нормы с возможностью самообучения;
- влияние эксплуатационного состояния системы на технические нормы (через ситуационные и вероятностные коэффициенты);
- применение оптимизационных методов для расчета технических норм.

На Белорусской железной дороге разрабатывается *Система поддержки принятия решений технического нормирования работы дороги* (СПР ТНЭРД), которая отвечает практически всем современным требованиям в области технического нормирования.

Создание комплекса АРМ для подсистемы технического нормирования на данном этапе охватывает два уровня управления: дорожный и отделенческий. СПР ТНЭРД состоит из модулей, реализующих подсистему технического нормирования и представляет собой комплекс клиентских мест (КМ), устанавливаемых у работников причастных служб. КМ персонала функционируют в единой информационной сети на основе взаимосвязи с сервером и реализации человеко-машинных процедур диалогового режима работы с данными.

В подсистеме СПР ТНЭРД на данном этапе выделяются четыре типа клиентских мест, в зависимости от функций, которые они выполняют и места расположения пользователя:

КМ «Погрузка-НОД» - предназначено для разработки плановых норм грузовой работы отделения дороги и станций, входящих в его состав;

КМ «Погрузка-Д» - обеспечивает расчет плановых норм грузовой работы на уровне Управления БЧ и взаимодействие с другими подсистемами, отражающими качество грузовой работы («Месплан», «САПОД» и др.), а также формирование выходных форм для передачи в ИВЦ ЖА;

КМ «Техплан-НОД» - обеспечивает расчет прогнозных значений технических норм на уровне отделения дороги, взаимодействие с дорожными КМ и расчет плановых норм для станций и других подразделений НОД;

КМ «Техплан-Д» - основное клиентское место подсистемы СПР ТНЭРД. Обеспечивает расчет всех плановых показателей для дороги и НОД с необходимой степенью детализации, а так же взаимодействие остальных КМ между собой (одно КМ в Службе перевозок).

Взаимодействие подсистемы СПР ТНЭРД с ЛПР осуществляется с помощью информационных форм (витрин), которые подготавливаются в автоматическом режиме и подразделяются на:

- реквизиты (РЕ) – содержат информацию о дате планирования, номера телеграмм рассылки и другую общую информацию;
- исходные (И) – содержат статистическую информацию о значениях показателей за текущий и ретроспективный период с необходимой степенью детализации;
- аналитические (А) – представляют собой текущий анализ работы дороги по сравнению с предыдущими месяцами и анализ проектных норм отделений дороги;
- рабочие (Р) – представляют результаты расчетов плановых значений норм с возможностью их ручной корректировки, согласования и увязки показателей между собой;
- выходные (В) – содержат сформированные в автоматическом режиме итоговые значения технических норм и предназначены для передачи плановых данных в ИАС ПУР ГП (АСОУП);
- итоговые (ДТ, ОТ) – содержат сводные результаты расчетов плановых показателей для дороги и отделений. Необходимы для утверждения плановых норм и передачи их структурным подразделениям в виде телеграмм.

Общий алгоритм расчета технического плана работы дороги на предстоящий месяц состо-

ит из пятнадцати шагов (этапов).

На **первоначальном этапе** на КМ «Техплан-Д» поступают данные о выполнении показателей работы дороги и ее отделений за текущий период. Данные после обработки, поступают в исходные информационные формы, где на их основании происходит расчет весовых коэффициентов для определения показателей технического плана.

Второй этап «Согласование показателей» начинается с получения из отделений дороги прогнозных значений показателей технических норм. Передача показателей из отделения дороги осуществляется автоматически посредством связи с КМ «Техплан-НОД». Прогнозные показатели уточняются, согласовываются на уровне начальника службы перевозок и служат основой для разработки технического плана работы дороги.

Третий этап – «Нормирование погрузки» - осуществляется на КМ «Погрузка-Д» и КМ «Погрузка-НОД». На уровне управления дороги определяются общие нормы погрузки на плановый месяц по роду груза, роду подвижного состава и дорогам назначения для каждого отделения. Согласованные и принятые плановые нормы (задания на погрузку) передаются в отделения дороги, где производится расчет плановых показателей для каждой станции отделения. Рассчитанные задания передаются в виде выходных форм на КМ «Техплан-Д» и служат основой для расчета показателей местной работы.

Расчет плановых норм начинается с определения показателей местной работы. Это происходит на **четвертом этапе** разработки. На основе согласованных значений, переданных из НОД (второй этап), и данных погрузки вагонов по НОД определяется выгрузка вагонов, оборот местного вагона и наличие местных вагонов для каждого отделения и дороги в целом по р.п.с. Исходя из данных погрузки и выгрузки определяется регулировочный разрыв по каждому участку НОД и выделенным техническим станциям, на основании которого определяется регулировка порожних вагонов (восьмой и девятый этап).

Расчет транзитной работы происходит на **пятом этапе разработки**. По данным передачи вагонов по стыковым пунктам определяется плановые нормы передачи груженых вагонов, нормы транзита по р.п.с. для каждого отделения и оборот транзитного вагона.

Шестой этап. На основании рассчитанных норм погрузки, выгрузки и транзита формируется таблица груженых вагонопотоков («шахматка»). В ней происходит увязка вышеперечисленных показателей между собой и определение работы дороги, приема и сдачи груженых вагонов по стыковым пунктам.

На **седьмом этапе** формируется «**Динамическая модель работы дороги**», представляющая собой направления следования груженых вагонопотоков между выделенными станциями с учетом проследования по конкретным участкам.

Восьмой и девятый этап определяют работу порожних вагонов. На основании избытков и недостатков вагонов по станциям и участкам определяется направление следования порожнего вагонопотока по регулировке с учетом их принадлежности другим администрациям.

Выбор маршрутов движения вагонопотоков может отличаться от Плана формирования поездов, в том числе и из-за производства путевых работ. Поэтому на данных этапах предусмотрено получение информации от Службы пути (посредством связи с КМ «Техплан-Путь») о плановых мероприятиях, изменяющих топологию сети.

Определение и увязка качественных показателей на уровне дороги, отделений дороги, участков и станций производится на **десятом – двенадцатом этапе** разработки техплана.

На **тринадцатом** этапе происходит расчет норм рабочих парков с учетом принадлежности администрациям-собственникам.

Четырнадцатый этап позволяет рассчитать необходимые ресурсы тягового подвижного состава с детализацией по депо приписки, а также затраты топливно-энергетических ресурсов на организацию перевозок при данном варианте техплана.

На последнем этапе производится оценка разработанного технического плана и расчет эксплуатационных затрат от его реализации.

Таким образом, данный алгоритм расчета удовлетворяет всем вышеперечисленным условиям, а основным достоинством разрабатываемой системы является использование единой базы данных и возможности подключения дополнительных модулей (подзадач или КМ) в процессе дальнейшей работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Регулирование грузовых перевозок на железных дорогах. / Под ред. Кудрявцева В. А. - М.: Транспорт, 1984. - 39 с.
2. Сметанин А. И. Техническое нормирование эксплуатационной работой железных дорог. - М.: Транспорт, 1984. - 295 с.
3. Козин Б. С. Автоматизированная система плановых расчетов на транспорте / Б. С. Козин, Д. К. Зотов, И. Т. Козлов. - М.: Транспорт, 1981. - 400 с.

Поступила в редколлегию 20.08.2007.

Т. Ф. МИХАЙЛОВА (ДІПТ), О. В. ПІСКУНОВА (ДФА)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБСЯГІВ ПОДАТКОВИХ НАДХОДЖЕНЬ З УРАХУВАННЯМ РИЗИКУ

Запропоновано економетричну модель для прогнозування обсягів податкових надходжень та оцінки ризику недовиконання планових показників.

Предложена эконометрическая модель для прогнозирования объемов налоговых поступлений и оценки риска невыполнения плановых показателей.

An econometric model for forecasting volumes of tax returns and estimating risk of not being completed plan indices have been proposed.

Побудова математичних моделей для часових рядів та їх застосування для прогнозу з урахуванням ризику розглядалась у роботах [1, 3]. Для дослідження нестационарних рядів доцільно застосувати ARIMA моделі, що детально розглянуті в [2].

Для того, щоб побудувати математичну модель для прогнозування обсягів податкових надходжень з урахуванням ризику докладно були проаналізовані часові ряди місячних даних щодо обсягів податкових надходжень по Дніпропетровській області у період з січня 2000 року по грудень 2005 року, а саме податку на прибуток підприємств, акцизного збору, плати за землю, податку з доходів фізичних осіб і податку на додану вартість. Дані наведено у фактичних цінах.

Розглянемо прогнозування надходжень Y від

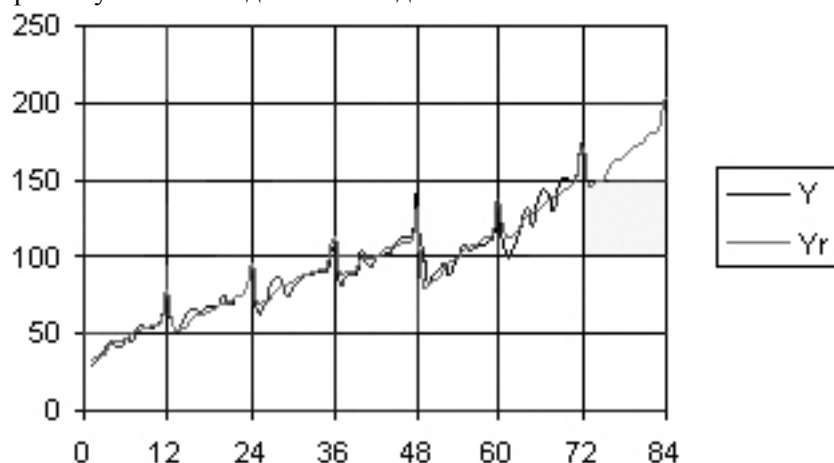


Рис. 1. Динаміка щомісячних надходжень податку з доходів фізичних осіб у порівняльних цінах у період з січня 2000 року по грудень 2005 року

Виходячи з даних спостережень побудуємо модель такого виду

$$y_t = a_0 + a_1 t + a_2 x_{1t} + a_3 t \cdot x_{1t} + a_4 x_{2t} + a_5 x_{3t} +$$

податку з доходів фізичних осіб (одиниці виміру – млн грн). Для того, щоб уникнути інфляційного викривлення інформації, необхідно перейти до реальних одиниць виміру. Для переходу до цін грудня 2005 року необхідно всі спостереження ряду Y помножити на індекс CPI.

Побудуємо модель для прогнозу податку з доходів фізичних осіб Y у цінах грудня 2005 року. Спочатку проаналізуємо динаміку показника Y у період, що розглядався, яку представлено на рис. 1. Аналіз структури часового ряду показує, по-перше, наявність лінійного тренду, по-друге, підвищення надходжень від податку з доходів фізичних осіб у грудні кожного року, по-третє, зміну тенденції показника Y з січня 2004 року, що відповідає зміні законодавчої бази щодо нарахування даного податку.

$$+ \alpha_6 x_{4t} + \alpha_7 x_{5t} + I_t \quad (1)$$

де t – змінна часу (номер періоду), x_1 – фіктивна змінна, яка приймає значення 0 для періодів часу до 2004 року і значення 1 – з 1 січня 2004

року; x_2, x_3, x_4 – фіктивні змінні, що відображають сезонні коливання в надходженні даного податку та приймають значення 1 відповідно для I, II і III кварталів, і значення 0 для усіх інших періодів часу; x_5 – фіктивна змінна, яка

приймає значення 1 для грудня місяця кожного року, та значення 0 для інших періодів.

Отримані за методом найменших квадратів за допомогою функції «ЛИНЕЙН» оцінки параметрів моделі (1) наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Оцінки параметрів прогновної моделі для податку з доходів фізичних осіб у порівняльних цінах

Залежна змінна Y				
незалежні змінні	коефіцієнт	стандартна похибка	t - статистика	P - рівень значимості
константа	52,2	2,17	24,0	0,000
t	1,68	0,068	24,6	0,000
x_1	-33,6	12,0	-2,8	0,006
$t \cdot x_1$	0,010	0,204	0,049	0,961
x_2	6,77	2,14	3,16	0,002
x_3	11,6	2,18	5,31	0,000
x_4	12,8	2,48	5,15	0,000
x_5	21,2	3,19	6,63	0,000

Як бачимо з табл. 1, оцінки майже усіх параметрів моделі (крім параметру при перехресному членові $t \cdot x_1$) можна вважати значимими. Значення коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,95$ наближається до 1. Відносна похибка регресії), що відображає прогнозні властивості моделі, складає: $\frac{s}{\bar{y}} 100\% = 5,7\%$.

Розглянемо залишки моделі L , що побудовано. На основі аналізу графіку і гістограми

залишків L (рис. 2), а також результатів перевірки наявності автокореляції в системі за тестом Дарбіна-Уотсона, який дозволив прийняти гіпотезу про відсутність автокореляції ($DW_p = 1,8 > DW_2 = 1,682$ для 1 %-го рівня значимості), можемо зробити припущення про нормальний закон розподілу залишків даної моделі.

За допомогою моделі, що побудовано, отримано прогнозні значення надходжень від податку з доходів фізичних осіб на 2006 рік.

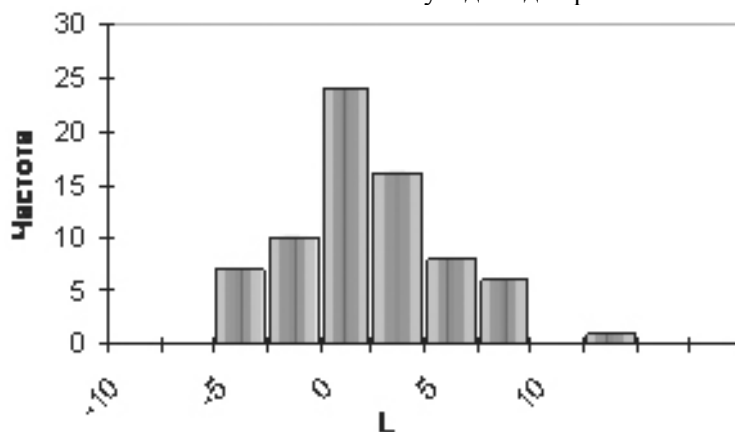


Рис. 2. Гістограма частот залишків L прогновної моделі податку з доходів фізичних осіб у порівняльних цінах

Визначимо як одну з компонент вектора податкового ризику ймовірність можливого недовиконання планових податкових надходжень [1]. Ризик 10 %-го недовиконання планового показника за прогнозування на один крок дорівнюватиме:

$$P(Y \leq 0,9\widehat{Y}_p) = 1 - \Phi\left(\frac{0,1}{V}\right) \quad (2)$$

де V – аналог коефіцієнта варіації:

$$V = \frac{s}{\widehat{Y}_p}; \quad (3)$$

s – похибка прогнозу, отримана на базовому інтервалі; \widehat{Y}_p – прогнозоване значення податкових надходжень; $\Phi(Y)$ – функція Лапласа.

В електронних таблицях Excel функція Лапласа розраховується за допомогою статистичної функції НОРМРАСП($Y, 0, 1, 1$).

Так, згідно отриманого прогнозу у січні 2006 року очікуються надходження від податку з доходів фізичних осіб в обсязі 141,6 млн грн, похибка прогнозу $s = 6,38$ млн грн, $V = 0,045$. Величина ступеня ризику як ймовірність недоотримання податкових надходжень від податку з доходів фізичних осіб по Дніпропетровській області становить:

$$P(Y \leq 0,9\widehat{Y}_p) = 1 - \Phi\left(\frac{0,1}{0,045}\right) = 1 - \Phi(2,219) = 0,013.$$

Тобто ймовірність 10 %-го недовиконання планового показника податку з фізичних осіб складає 0,013, або 1,3 %.

За збільшенням прогнозованого інтервалу похибка прогнозу також збільшується. На річному інтервалі похибка розраховується за її максимально можливим значенням $s^2(1 + 2 + 3 + \dots + 12)$.

Таким чином, ми отримали прогноз надходжень до бюджету податку з доходів фізичних осіб у цінах грудня 2005 року. В той же час у бюджетному процесі важливим є прогнозування податкових надходжень у номінальних цінах. Тому розглянемо тепер прогнозування обсягів податку з доходів фізичних осіб у фактичних цінах. Спочатку побудуємо модель регресії показника Y виду (1). Отримані у цьому випадку за методом найменших квадратів з використанням функції «ЛИНЕЙН» оцін-

ки параметрів моделі (1) наведені у табл. 2. Таким чином, побудована така модель:

$$\begin{aligned} \hat{y}_t = & 31,9 + 1,51t - 88,9x_{1t} + \\ & + 1,28t \cdot x_{1t} + 5,30x_{2t} + 7,23x_{3t} + \\ & + 8,68x_{4t} + 18,7x_{5t}. \end{aligned} \quad (4)$$

Як бачимо з табл. 2, усі оцінки параметрів моделі можна вважати значимими на 1 % рівні. Значення коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,97$ наближається до 1. Відносна похибка регресії складає: $\frac{s}{\bar{y}} 100 \% = 6,5 \%$.

Аналіз залишків моделі L на основі побудованої гістограми (рис. 3) та дослідження наявності автокореляції за допомогою статистики Дарбіна-Уотсона ($DW_2 = 1,284 < DW_p = 1,6 < < DW_2 = 1,682$ для 1-го % рівня значимості, конкретних висновків зробити не можемо) вже не дозволяє зробити висновок про їх нормальний розподіл. Крім того, слід взяти до уваги, що зазвичай рівень цін є нестационарним рядом, а оскільки ціна входить складовою в показники у номінальному виразі, це збільшує порядок інтеграції часового ряду. Отже ймовірно ми маємо справу з нестационарним часовим рядом.

Для дослідження часового ряду на стаціонарність необхідно побудувати та проаналізувати автокореляційну та часткову автокореляційну функції, а також застосувати тест Дікі-Фуллера на наявність одиничного кореня.[2, 3]. Виконати такі процедури дозволяють сучасні статистичні пакети програм, зокрема, STATA, E.VIEWS, SPSS, STATISTICA.

Таблиця 2

Оцінки параметрів прогновної моделі для податку з доходів фізичних осіб у фактичних цінах

Залежна змінна: Y				
незалежні змінні	коефіцієнт	стандартна похибка	t - статистика	P - рівень значимості
константа	31,9	1,98	16,1	0,000
t	1,51	0,062	24,4	0,000
x_1	-88,9	10,9	-8,13	0,000
$t \cdot x_1$	1,28	0,186	6,89	0,000
x_2	5,30	1,95	2,72	0,008
x_3	7,23	1,99	3,64	0,000
x_4	8,68	2,26	3,85	0,000
x_5	18,7	2,91	6,41	0,008

Використовуючи можливості електронних таблиць Excel, змодельємо залишки за допомо-

гою ARIMA моделі. Ряд залишків позначимо YL .

Будемо вважати, що порядок інтеграції ряду

YL дорівнює 1, оскільки для економічних даних більш високі порядки інтеграції майже не зустрічаються.[2] Створимо ряд перших різниць $D1YL$:

$$d1yl_t = yl_t - yl_{t-1} \quad (5)$$

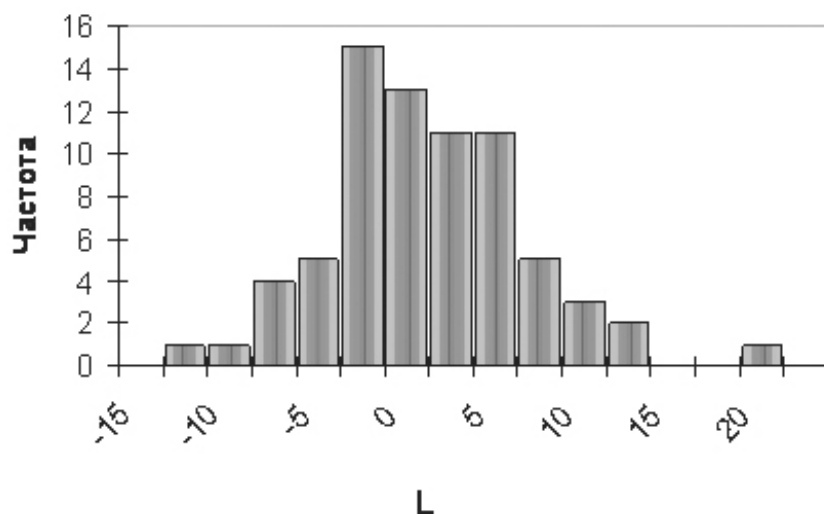


Рис. 3. Гістограма частот залишків L прогновної моделі податку з доходів фізичних осіб у фактичних цінах

Для цього необхідно обрати специфікацію моделі, тобто визначити порядок p AR-складової моделі та порядок q MA-складової. Зауважимо, що не існує правила для знаходження ідеального порядку p і q . Один з найпростіших та найпоширеніших методів – аналіз корелограм. Його зручно застосовувати, використовуючи сучасні статистичні пакети програм. В електронних таблицях Excel будемо здійснювати вибір моделі на підставі зниження показника ризику, що визначається на основі значення абсолютної похибки регресії s та відносної похибки [1]. Крім того, під час побудови моделі будемо враховувати похибки оцінок коефіцієнтів моделі (6) α_j, β_j , тобто модель вважається адекватною, якщо всі її параметри будуть значимими на 5% рівні значимості. В результаті було обрано модель виду:

$$d1yl_t = \alpha_0 + \alpha_1 d1yl_{t-1} + \alpha_2 d1yl_{t-2} + \varepsilon_t \quad (7)$$

тобто $p = 2$, $q = 0$. Відмітимо, що аналіз корелограм за допомогою статистичного пакету програм STATA підтвердив обрану нами специфікацію моделі $ARIMA(2,1,0)$ для ряду YL (моделі $ARMA(2,0)$ для ряду $D1YL$).

Для побудови моделі (7) в електронних таблицях Excel було створено часові ряди $D1YL_1$ і $D1YL_2$, які отримані з ряду $D1YL$ шляхом зсуву у часі відповідно на 1 і 2 періоди, та за допомогою функції «ЛИНЕЙН» знайдено оцін-

та побудуємо модель для $D1YL$ виду (6).

$$d1yl_t = d_0 + \alpha_1 d1yl_{t-1} + \alpha_2 d1yl_{t-2} + \dots + \alpha_p d1yl_{t-p} + u_t - \beta_1 u_{t-1} - \beta_2 u_{t-2} - \dots - \beta_q u_{t-q} + \varepsilon_t \quad (6)$$

ки параметрів моделі (7):

$$d1\hat{y}_t = 0,141 - 0,588 \cdot d1yl_{t-1} - 0,441 \cdot d1yl_{t-2} \quad (8)$$

Оцінки параметрів даної моделі можна вважати значимими на 1 % рівні. Аналіз залишків LL моделі (5.14) на основі побудованої гістограми (рис. 4) та статистики Дарбіна-Уотсона ($DW_p = 2,00$) дозволяє зробити припущення про їх нормальний розподіл.

Для отримання прогнозу для ряду $\hat{Y}L$ за допомогою побудованої моделі спочатку необхідно розрахувати за формулою (8) прогнозні значення для ряду перших різниць $\widehat{D1YL}$, а потім від прогнозних значень ряду перших різниць $\widehat{D1YL}$ перейти до прогнозних значень ряду $\hat{Y}L$:

$$\widehat{yl}_t = yl_{t-1} + \widehat{d1yl}_t$$

– для базового періоду;

$$\widehat{yl}_t = \widehat{yl}_{t-1} + \widehat{d1yl}_t$$

– для прогнозного періоду, (9).

Прогнозні значення надходжень від податку з доходів фізичних осіб \hat{Y}_p розраховуються як сума прогнозних значень показника \hat{Y} , отриманих за формулою (4), та прогнозних значень ряду $\hat{Y}L$, отриманих з рівняння (9): $\hat{Y}_p = \hat{Y} + \hat{Y}L$

Використання ARIMA моделей та фіктивних змінних для аналізу нестационарних часо-

вих рядів дозволило побудувати економетричні моделі для прогнозу обсягів податкових надхо-

джен з фізичних осіб з урахуванням ризику та проаналізувати залишки моделей.

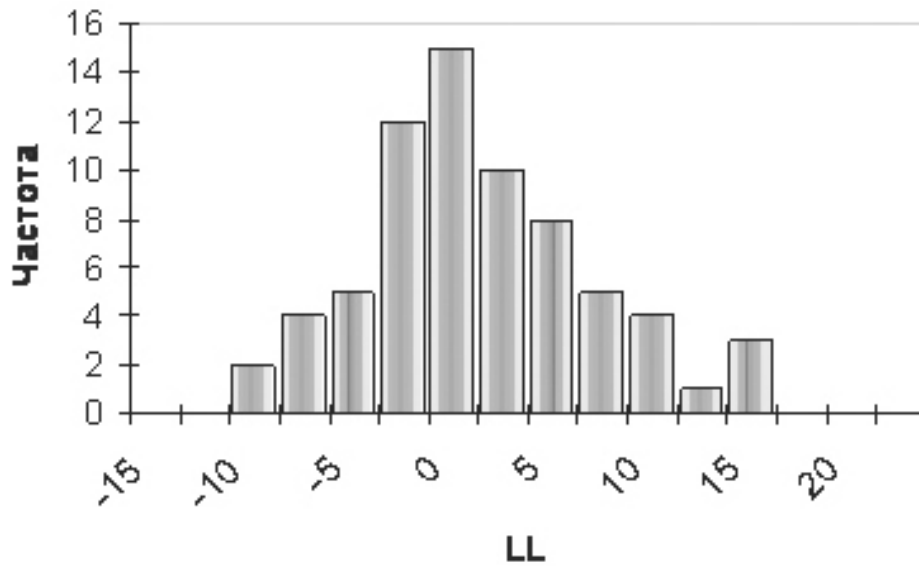


Рис. 4. Гістограма частот залишків LL для моделі часового ряду YL

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Вітлінський В. В. Моделювання економіки – К.:КНЕУ, 2003. – 408 с.
2. Лукияненко І. Г. Сучасні економетричні методи у фінансах / І. Г. Лукияненко. Ю. О. Городніченко, - К.: Літера ЛТД, 2002. – 352 с.

3. Dickey D. A., Fuller W. A. Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root // *Econometrica*, 1981, № 49. - P. 1057-1072.

Надійшла до редакції 18.09.2007.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНІЄЇ СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ З НЕНАДІЙНИМИ ОБСЛУГОВУЮЧИМИ ПРИЛАДАМИ В ПЕРЕХІДНОМУ РЕЖИМІ

Розглядається система масового обслуговування з необмеженою чергою і ненадійними обслуговуючими приладами. Запропонована методика розрахунку ймовірностей станів такої системи.

Рассматривается система массового обслуживания с неограниченной очередью и ненадежными обслуживающими приборами. Предложена методика расчета вероятностей состояний такой системы.

A queuing system with unlimited line and unreliable service devices is considered. A computational technique of probabilities of stats of the system has been proposed.

Математичні моделі масового обслуговування широко використовуються при дослідженні багатьох технічних систем, зокрема, транспортних систем, для підвищення їх ефективності.

Є величезна кількість публікацій на цю тему. Найбільш вивченими є математичні моделі систем масового обслуговування, які описуються в рамках одновимірних марковських процесів. Це так звані класичні системи масового обслуговування (з відмовами, з обмеженою та необмеженою чергою, замкнені, з пріоритетами та інші).

Так, добре вивчена в перехідному та стаціонарному режимах система масового обслуговування з необмеженою чергою, в яку надходить найпростіший потік заявок, а час обслуговування однієї заявки розподілений за показниковим законом. Інтенсивність вхідного потоку та інтенсивність обслуговування в такій системі не залежать від часу, заявки в систему надходять по одній (найпростіший потік заявок є ординарним) [1].

Математична модель цієї системи потім узагальнювалась в різних напрямках. Була запропонована і досліджена модель з неординарним пуассонівським потоком, модель, що неоднорідна за часом, тобто інтенсивність вхідного потоку та обслуговування є функціями часу та інші узагальнення. Причому, як правило, в математичних моделях цієї системи можливий вихід з ладу обслуговуючих приладів протягом роботи системи не враховувався. Врахування надійності обслуговуючих приладів та їх відновлення у разі виходу з ладу суттєво ускладнює математичні моделі. Для системи масового обслуговування з необмеженою чергою і дисципліною черги «першим прийшов – перший об-

служений» врахування перелічених факторів вперше було здійснено в роботі [2]. Процес обслуговування був представлений як двохвимірний марковський процес, одна компонента якого в кожен момент часу співпадає з числом вимог в системі (в черзі та на обслуговування), а друга – з числом приладів, що вийшли з ладу. На основі результатів цієї роботи в даній статті пропонується методика чисельного розрахунку ймовірностей станів системи масового обслуговування в перехідному режимі. Розроблена методика дозволяє наближено розраховувати час, через який в системі устанавлюється стаціонарний режим роботи, якщо такий режим для досліджуваної системи з заданими певними значеннями параметрів існує.

Розглянемо процес $\{\eta_t, \xi_t\}, t \geq 0$, де η_t – число несправних приладів в момент часу t , ξ_t – число заявок, які знаходяться в системі в момент часу t ,

$$\eta_t \in \{0, 1, \dots, n\}, \quad \xi_t \in \{0, 1, 2, \dots\},$$

де n – загальна кількість обслуговуючих приладів в системі обслуговування.

Припускається, що в систему масового обслуговування надходить неординарний пуассонівський потік заявок з інтенсивністю λ ,

$$\lambda = \sum_{k=1}^{\infty} \lambda_k < \infty,$$

де λ_k – інтенсивність надходження групи з k заявок.

Ймовірності переходу процесу $\{\eta_t, \xi_t\}$ за час $\Delta (\Delta \rightarrow 0)$ задаються наступним чином:

$$(m, r) \xrightarrow{\Delta} \begin{cases} (m, r) : 1 - (\lambda + \min(r, n-m) \times \\ \times (\mu + \nu) + m\varepsilon)\Delta + o(\Delta), \\ (m, r+k) : \lambda_k \Delta + o(\Delta), \\ k \geq 1, \\ (m, r-1) : \min(r, n-m) \times \\ \times \mu \Delta + o(\Delta), \\ (m+1, r) : \min(r, n-m) \times \\ \times \nu \Delta + o(\Delta), \\ (m-1, r) : m\varepsilon \Delta + o(\Delta), \end{cases}$$

де $m = 0, 1, \dots, n; r = 0, 1, 2, \dots$, – ймовірності інших переходів порядку $o(\Delta)$

$$\left(\lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{o(\Delta)}{\Delta} = o \right).$$

Тут ν – інтенсивність виходу з ладу одного приладу, μ – інтенсивність обслуговування однієї заявки одним приладом, ε – інтенсивність відновлення одного приладу у разі його виходу з ладу.

Процес $\{\eta_t, \xi_t\}$ – двовимірний марковський процес.

Якщо ймовірності станів такого процесу позначити

$$P_{m,r}(t) = P\{\eta_t = m, \xi_t = r\},$$

то можна показати, що система диференціальних рівнянь Колмогорова для такої системи має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dP_{m,r}(t)}{dt} = & -[\lambda + m\varepsilon + \min(r, n-m)\mu + \\ & + \min(r, n-m)\nu]P_{m,r}(t) + \min(r, n-m) \times \\ & \times \nu P_{m-1,r}(t) + (m+1)\varepsilon P_{m+1,r}(t) + \\ & + \min(r+1, n-m)P_{m,r+1}(t) + \sum_{i=1}^r P_{m,r-i}(t)\lambda_i, \\ (m = 0, 1, \dots, n-1; \quad r = 0, 1, 2, \dots), \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \frac{dP_{n,0}(t)}{dt} = -(\lambda + n\varepsilon)P_{n,0}(t), \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_{n,r}(t)}{dt} = -(\lambda + n\varepsilon)P_{n,r}(t) + \sum_{i=1}^r P_{n,r-i}(t)\lambda_i, \\ r = 1, 2, 3 \dots \end{cases}$$

Ця система диференціальних рівнянь нескінченна. Щоб скористатись теорією звичай-

них диференціальних рівнянь, цю нескінченну систему диференціальних рівнянь можна за допомогою твірних функцій звести до скінченної системи диференціальних рівнянь:

$$\varphi_m(t, \theta) = \sum_{r=0}^{\infty} P_{m,r}(t) \theta^r, \quad |\theta| \leq 1,$$

$$\frac{\partial \varphi_0(t, \theta)}{\partial t} = q_0(\theta) \varphi_0(t, \theta) + \varepsilon \varphi_1(t, \theta) + f_0(t, \theta),$$

$$\frac{\partial \varphi_1(t, \theta)}{\partial \theta} = n\nu \varphi_0(t, \theta) + q_1(\theta) \varphi_1(t, \theta) +$$

$$+ 2\varepsilon \varphi_2(t, \theta) + f_1(t, \theta),$$

...

$$\frac{\partial \varphi_n(t, \theta)}{\partial t} = \nu \varphi_{n-1}(t, \theta) + q_n(\theta) \varphi_n(t, \theta) + f_n(t, \theta) \quad (1)$$

де

$$q_m(\theta) = \lambda(\theta) + \frac{\mu}{\theta}(n-m) - (\lambda + m\varepsilon) - (n-m)(\nu + \mu),$$

$$f_m(t, \theta) = \left(\frac{\mu}{\theta} - \mu - \nu \right) \sum_{r=0}^{n-m-1} (r-n+m) \times$$

$$\times P_{m,r}(t) \theta^r + \nu \sum_{r=0}^{n-m} (r-n+m-1) \times P_{m-1,r}(t) \theta^r,$$

$$m = 0, 1, \dots, n, \quad \lambda(\theta) = \sum_{r=1}^{\infty} \lambda_r \theta^r.$$

$$\text{Покладаємо } \sum_{r=0}^{-1} r P_{m,r}(t) \theta^r \equiv 0.$$

У векторно-матричному вигляді остання система запишеться наступним чином:

$$\frac{\partial \bar{\varphi}(t, \theta)}{\partial t} = Q(\theta) \bar{\varphi}(t, \theta) + \bar{f}(t, \theta) \quad (1')$$

$$\text{де } \bar{\varphi}(t, \theta) = \begin{pmatrix} \varphi_0(t, \theta) \\ \varphi_1(t, \theta) \\ \dots \\ \varphi_n(t, \theta) \end{pmatrix}, \quad \bar{f}(t, \theta) = \begin{pmatrix} f_0(t, \theta) \\ f_1(t, \theta) \\ \dots \\ f_n(t, \theta) \end{pmatrix},$$

$$Q(t, \theta) =$$

$$= \begin{pmatrix} q_0(\theta) & \varepsilon & 0 & \dots & 0 & 0 \\ n\nu & q_1(\theta) & 2\varepsilon & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & q_{n-1}(\theta) & n\varepsilon \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \nu & q_n(\theta) \end{pmatrix}.$$

В системі (1) крім твірних функцій $\varphi_m(t, \theta)$ фігурують вирази $f_m(t, \theta)$, які містять частину шуканих ймовірностей, а саме ймовірність $P_{m,r}(t)$, $0 \leq r \leq n-1$.

Для розв'язування системи (1) використаний допоміжний двохвимірний марковський процес, однорідний за другою компонентою $\{\eta_t^*, \xi_t^*\}$. Такі процеси були запропоновані і досліджені Єжовим І. І. та Скороходом А. В. [3, 4] і широко використовуються при дослідженні різноманітних систем масового обслуговування.

Допоміжний процес тісно пов'язаний з процесом $\{\eta_t, \xi_t\}$ і задається так:

$$\eta_t^* \in \{0, 1, \dots, n\}, \quad \xi_t^* \in \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\},$$

ймовірності переходів $\{\eta_t^*, \xi_t^*\}$ із стану в стан за час $\Delta (\Delta \rightarrow 0)$ мають вигляд:

$$(m, r) \xrightarrow{\Delta} \begin{cases} (m, r) : 1 - (\lambda + m\varepsilon + (n-m) \times (\mu + \nu)\Delta + o(\Delta)), \\ (m, r+k) : \lambda_k \Delta + o(\Delta), \\ (m, r-1) : (n-m)\mu \Delta + o(\Delta), \\ (m-1, r) : m\varepsilon \Delta + o(\Delta), \\ (m+1, r) : (n-m)\nu \Delta + o(\Delta), \end{cases}$$

$$m = 0, 1, \dots, n; \quad r = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

ймовірності інших переходів порядку $o(\Delta)$.

Нехай

$$P_{lm}^*(t, r) = P \left\{ \begin{array}{l} \eta_t^* = m, \xi_t^* = r / \eta_0^* = l, \\ \xi_0^* = 0, \end{array} \right\},$$

$$(l, m = 0, 1, \dots, n; \quad r = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

ймовірності станів допоміжного процесу (η_t^*, ξ_t^*) в припущенні, що в початковий момент часу $t = 0, \eta_0^* = l, \xi_0^* = 0$.

Із задання процесу $\{\eta_t^*, \xi_t^*\}$ видно, що він є марковським процесом, однорідним за другою компонентою.

В термінах твірних функцій

$$\Phi_{lm}^*(t, \theta) = \sum_{r=-\infty}^{\infty} P_{lm}^*(t, r) \theta^r, \quad |\theta| \leq 1,$$

система прямих диференціальних рівнянь Колмогорова для процесу $\{\eta_t^*, \xi_t^*\}$ набуває вигляду аналогічного (1), але без доданків типу $f_m(t, \theta)$,

які породжують неоднорідність системи (1):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{lm}^*(t, \theta)}{\partial t} = & [\lambda(\theta) - \lambda - (n-m)\mu \times \\ & \times \left(\frac{1}{\theta} - 1 \right) - m\varepsilon - (n-m)\nu] \Phi_{lm}^*(t, \theta) + \\ & + (1 - \delta_{mn})(m+1)\varepsilon \Phi_{l, m+1}^*(t, \theta) + \\ & + (1 - \delta_{m0})(n+m-1)\nu \Phi_{l, m-1}^*(t, \theta), \end{aligned} \quad (2)$$

де δ_{mn} - символ Кронекера, $l, m = 0, 1, \dots, n$.

Якщо ввести функцію

$$\Phi_{lm}^*(t, \theta) = e^{[\lambda - \lambda(\theta)]t} \Phi_{lm}^*(t, \theta)$$

та позначення

$$\bar{\Phi}^*(t, \theta) = (\Phi_{l0}^*(t, \theta), \Phi_{l1}^*(t, \theta), \dots, \Phi_{ln}^*(t, \theta)),$$

$$\Gamma(\theta) = \begin{bmatrix} \gamma_0(\theta) & \varepsilon & 0 & \dots & 0 & 0 \\ n\nu & \gamma_1(\theta) & 2\varepsilon & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \nu & \gamma_n(\theta) \end{bmatrix},$$

$$\gamma_m(\theta) = (n-m)\mu \left(\frac{1}{\theta} - 1 \right) - m\varepsilon - (n-m)\nu,$$

$$m = 0, 1, \dots, n,$$

то систему (2) можна записати у вигляді

$$\frac{\partial \bar{\Phi}^*(t, \theta)}{\partial t} = \Gamma(\theta) \bar{\Phi}^*(t, \theta), \quad (2')$$

звідки $\bar{\Phi}^*(t, \theta) = \exp\{\Gamma(\theta)t\}$.

Розв'язок $\bar{\Phi}^*(t, \theta)$ є матричною експонентою, і його можна використати для наближеного обчислення ймовірностей станів допоміжного процесу. Про це буде йти мова далі.

Враховуючи зв'язок між (1') та (2'), після ряду перетворень можна отримати залежність між ймовірностями станів процесів $\{\eta_t, \xi_t\}$ та $\{\eta_t^*, \xi_t^*\}$:

$$\begin{aligned} P_{kj}(t) = & c_{k,j}(t) + \sum_{i=0}^n \sum_{r=0}^{n-i} \int_0^t [\nu(r-n+i-1)P_{ki}^* \times \\ & \times (t-\tau, j-r)P_{i-1,r}(\tau) + (r-n+i)\bar{P}_{ki}^* \times \\ & \times (t-\tau, j-r)P_{ir}(\tau)] d\tau, \end{aligned} \quad (3)$$

$$(k = 0, 1, \dots, n; \quad j = 0, 1, 2, \dots),$$

де $\bar{P}_{ki}^*(t - \tau, j - r) = \mu P_{ki}^*(t - \tau, j - r + 1) -$

$$-(\mu + \nu) P_{ki}^*(t - \tau, j - r)$$

$$c_{k,j}(t) = m_{k,j}(t) + b_{k,j}(t),$$

$$m_{k,j}(t) = \sum_{i=0}^n d_{k,j}(i, t),$$

$$b_{k,j}(t) = \sum_{m=1}^{\infty} a_{j+m,m}(k, t),$$

$$d_{k,j}(i, t) = \sum_{m=0}^j P_{im}(0) P_{ki}^*(t, j - m),$$

$$k = 0, 1, \dots, n,$$

$$a_{j+m,m}(k, t) = \sum_{i=0}^n P_{i,j+m}(0) P_{ki}^*(t, -m).$$

З системи рівнянь (3) $P_{kj}(t)$ при $j \geq n$ можна рекурентно виразити через $P_{k0}(t)$, $P_{k1}(t)$, ..., $P_{k,n-1}(t)$. Останні ймовірності є розв'язком системи інтегральних рівнянь Вольтерра другого роду, яку отримаємо з (3) при $j = 0, 1, \dots, n-1$.

Тепер розглянемо, як можна, використовуючи чисельні методи наближено обчислити ймовірності станів допоміжного процесу $P_{l,m}^*(t, r)$, через які виражаються ймовірності станів основного процесу $P_{kj}(t)$, оскільки явні аналітичні вирази через локальні характеристики процесу обслуговування одержати для них неможливо.

Покажемо це на прикладі, коли

$$n = 1, l = 0, \lambda = \lambda_1, \lambda_r = 0, r = 2, 3, \dots, k = 0.$$

У цьому випадку система (3) набуває вигляду

$$P_{0j}(t) = c_{0,j}(t) + \int_0^t [(\mu + \nu) \times P_{00}^*(t - \tau, j) -$$

$$- \nu P_{01}^*(t - \tau, j) - \mu P_{00}^*(t - \tau, j + 1)] P_{00}(\tau) d\tau.$$

Всі ймовірності станів $P_{0j}(t)$ при $j \geq 1$ рекурентно виражаються через $P_{00}(t)$ та $P_{0m}^*(t, j)$, $m = 0, 1$. $P_{00}(t)$ є розв'язком інтегрального рівняння Вольтерра другого роду

$$P_{00}(t) = C_{0,0}(t) + \int_0^t [(\mu + \nu) \cdot P_{00}^*(t - \tau, 0) -$$

$$- \nu P_{01}^*(t - \tau, 0) - \mu \cdot P_{00}^*(t - \tau, 1)] P_{00}(\tau) d\tau \quad (4)$$

Для знаходження

$$P_{0k}^*(t, r), k = 0, 1, r = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \text{ з } (2')$$

маємо

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial t} \Phi_{00}^*(t, \theta) \\ \frac{\partial}{\partial t} \Phi_{01}^*(t, \theta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_0(\theta) & \varepsilon \\ \nu & \gamma_1(\theta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Phi_{00}^*(t, \theta) \\ \Phi_{01}^*(t, \theta) \end{bmatrix}$$

або

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} \Phi_{00}^*(t, \theta) = \gamma_0(\theta) \Phi_{00}^*(t, \theta) + \varepsilon \Phi_{01}^*(t, \theta), \\ \frac{\partial}{\partial t} \Phi_{01}^*(t, \theta) = \nu \Phi_{00}^*(t, \theta) + \gamma_1(\theta) \Phi_{01}^*(t, \theta), \end{cases}$$

з початковими умовами

$$\Phi_{00}^*(0, \theta) = 1, \quad \Phi_{01}^*(0, \theta) = 0.$$

Розв'яжемо останню систему операційним методом. Нехай

$$\Psi_k(\theta, s) = \int_0^{\infty} e^{-st} \Phi_{0k}^*(t, \theta) dt, \quad k = 0, 1,$$

- перетворення Лапласа шуканих функцій. Тоді отримаємо з урахуванням початкових умов систему лінійних алгебраїчних рівнянь відносно $\Psi_k(\theta, s)$:

$$\begin{cases} s\Psi_0(\theta, s) - 1 = \gamma_0(\theta)\Psi_0(\theta, s) + \varepsilon\Psi_1(\theta, s), \\ s\Psi_1(\theta, s) = \nu\Psi_0(\theta, s) + \gamma_1(\theta)\Psi_1(\theta, s). \end{cases}$$

Розв'язок цієї системи має вигляд:

$$\Psi_0(\theta, s) = \frac{A_1}{s - s_1} + \frac{A_2}{s - s_2},$$

$$\Psi_1(\theta, s) = \frac{B_1}{s - s_1} + \frac{B_2}{s - s_2},$$

$$\text{де } s_1 = \frac{\gamma_0(\theta) + \gamma_1(\theta) + \sqrt{(\gamma_0(\theta) - \gamma_1(\theta))^2 + 4\varepsilon\nu}}{2},$$

$$s_2 = \frac{\gamma_0(\theta) + \gamma_1(\theta) - \sqrt{(\gamma_0(\theta) - \gamma_1(\theta))^2 + 4\varepsilon\nu}}{2},$$

$$A_1 = \frac{\gamma_1(\theta) - s_1}{s_2 - s_1}, \quad A_2 = \frac{s_2 - \gamma_1(\theta)}{s_2 - s_1},$$

$$B_1 = \frac{-\nu}{s_2 - s_1}, \quad B_2 = \frac{\nu}{s_2 - s_1}.$$

Корінь квадратний із комплексного числа $(\gamma_0(\theta) - \gamma_1(\theta))^2 + 4\varepsilon\nu$, як відомо, має два значення, які відрізняються знаком. В даному ви-

падку можна взяти будь-яке значення.

Звідси маємо

$$\Phi_{00}^*(t, \theta) = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t},$$

$$\Phi_{01}^*(t, \theta) = B_1 e^{s_1 t} + B_2 e^{s_2 t}.$$

Отже $\Phi_{0k}^*(t, \theta) = \Phi_{0k}^*(t, \theta) e^{-[\lambda - \lambda(\theta)]t}$, $k = 0, 1$.

При зроблених припущеннях $\lambda(\theta) = \lambda\theta$.

Враховуючи, що $\Phi_{0k}^*(t, \theta) = \sum_{r=-\infty}^{\infty} P_{0k}^*(t, r) \theta^r$,
 $k = 0, 1$, де $r = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, на основі теореми Лорана маємо:

$$P_{0k}^*(t, r) = \frac{1}{2\pi i} \oint_{|\theta|=1} \frac{\Phi_{0k}^*(t, \theta)}{\theta^{r+1}} d\theta, \quad k = 0, 1. \quad (4)$$

Зробимо в (4) заміну змінних $\theta = e^{i\varphi}$ ($\varphi \in [0; 2\pi]$). Отримаємо після ряду перетворень (з огляду на їх громіздкість вони тут не наводяться) вирази для $P_{00}^*(t, r)$ та $P_{01}^*(t, r)$ у вигляді визначених інтегралів.

Так

$$P_{00}^*(t, r) = \frac{1}{4\pi} e^{-\lambda t} \int_0^{2\pi} e^{\lambda t \cos \varphi} E(\varphi) \cos r\varphi d\varphi + \\ + \frac{1}{4\pi} e^{-\lambda t} \int_0^{2\pi} e^{\lambda t \cos \varphi} F(\varphi) \cos r\varphi d\varphi,$$

де

$$E(\varphi) = \left(E_2(\varphi) e^{\frac{1}{2} E_4(\varphi)t} + E_1(\varphi) e^{\frac{1}{2} E_3(\varphi)t} \right) \cos(\lambda t \sin \varphi) - \\ - \left(F_2(\varphi) e^{\frac{1}{2} E_4(\varphi)t} + F_1(\varphi) e^{\frac{1}{2} E_3(\varphi)t} \right) \sin(\lambda t \sin \varphi),$$

$$F(\varphi) = \left(F_2(\varphi) e^{\frac{1}{2} E_4(\varphi)t} + F_1(\varphi) e^{\frac{1}{2} E_3(\varphi)t} \right) \cos(\lambda t \sin \varphi) + \\ + \left(E_2(\varphi) e^{\frac{1}{2} E_4(\varphi)t} + E_1(\varphi) e^{\frac{1}{2} E_3(\varphi)t} \right) \sin(\lambda t \sin \varphi),$$

$$E_1(\varphi) = \left(1 - \frac{C(\varphi)}{\sqrt{l(\varphi)}} \right) \cos\left(\frac{1}{2} F_3(\varphi)t\right) + \\ + \frac{D(\varphi)}{\sqrt{l(\varphi)}} \sin\left(\frac{1}{2} F_3(\varphi)t\right),$$

$$F_1(\varphi) = \frac{D(\varphi)}{\sqrt{l(\varphi)}} \cos\left(\frac{1}{2} F_3(\varphi)t\right) -$$

$$- \left(1 - \frac{C(\varphi)}{\sqrt{l(\varphi)}} \right) \sin\left(\frac{1}{2} F_3(\varphi)t\right),$$

$$E_2(\varphi) = \left(1 + \frac{C(\varphi)}{\sqrt{l(\varphi)}} \right) \cos\left(\frac{1}{2} F_4(\varphi)t\right) + \\ + \frac{D(\varphi)}{\sqrt{l(\varphi)}} \sin\left(\frac{1}{2} F_4(\varphi)t\right),$$

$$E_3(\varphi) = \mu(\cos \varphi - 1) - \nu - \varepsilon - \sqrt{l} \cos\left(\frac{\omega(\varphi)}{2} - \varphi\right),$$

$$F_3(\varphi) = \sqrt{l} \mu \left(\sin \frac{\omega(\varphi)}{2} - \varphi \right) + \mu \sin \varphi,$$

$$E_4(\varphi) = \mu(\cos \varphi - 1) - \nu - \varepsilon + \sqrt{l} \cos\left(\frac{\omega(\varphi)}{2} - \varphi\right),$$

$$F_4(\varphi) = \sqrt{l} \sin\left(\frac{\omega(\varphi)}{2} - \varphi\right) - \mu \sin \varphi,$$

$$C(\varphi) = (\mu \cos \varphi - \mu - \nu + \varepsilon) \cos\left(\frac{\omega(\varphi)}{2} - \varphi\right) - \\ - \mu \sin \varphi \left(\frac{\omega(\varphi)}{2} - \varphi \right),$$

$$D(\varphi) = \mu \sin \varphi \cos\left(\frac{\omega(\varphi)}{2} - \varphi\right) +$$

$$+ (\mu \cos \varphi - \mu - \nu + \varepsilon) \sin\left(\frac{\omega(\varphi)}{2} - \varphi\right),$$

$$\omega(\varphi) = \arg(A + iB), \quad l(\varphi) = \sqrt{A^2 + B^2},$$

$$\text{де } A = \mu^2 - 2\mu(\varepsilon - \nu) + \mu^2 - 2\mu(\varepsilon - \nu) + 4\varepsilon\nu,$$

$$B = [(\varepsilon - \mu - \nu)^2 + 4\varepsilon\nu] \sin 2\varphi +$$

$$+ 2\mu(\varepsilon - \mu - \nu) \sin \varphi.$$

$P_{01}^*(t, r)$ має вигляд:

$$\gamma(\varphi) = \gamma_1(\varphi) \cos(\lambda t \sin \varphi) - \delta_1(\varphi) \sin(\lambda t \sin \varphi),$$

$$\delta(\varphi) = \gamma_1(\varphi) \sin(\lambda t \sin \varphi) + \delta_1(\varphi) \cos(\lambda t \sin \varphi),$$

$$P_{01}^*(t, r) = \frac{\nu e^{-\lambda t}}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{e^{\lambda t \cos \varphi}}{\sqrt{l}} \gamma(\varphi) \cos r\varphi d\varphi + \\ + \frac{\nu e^{-\lambda t}}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{e^{\lambda t \cos \varphi}}{\sqrt{l}} \delta(\varphi) \sin r\varphi d\varphi.$$

$$\text{Тут } \gamma_1(\varphi) = \alpha(\varphi) \cos\left(\frac{\omega(\varphi)}{2} - \varphi\right) + \beta(\varphi) \sin\left(\frac{\omega(\varphi)}{2} - \varphi\right),$$

$$\delta_1(\varphi) = \alpha(\varphi) \sin\left(\frac{\omega(\varphi)}{2} - \varphi\right) + \beta(\varphi) \cos\left(\frac{\omega(\varphi)}{2} - \varphi\right),$$

$$\alpha(\varphi) = -e^{\frac{1}{2}E_4(\varphi)t} \cos\left(\frac{1}{2}F_4(\varphi)t\right) + e^{\frac{1}{2}E_3(\varphi)t} \cos\left(\frac{1}{2}F_3(\varphi)t\right),$$

$$\beta(\varphi) = e^{\frac{1}{2}E_4(\varphi)t} \sin\left(\frac{1}{2}F_4(\varphi)t\right) + e^{\frac{1}{2}E_3(\varphi)t} \sin\left(\frac{1}{2}F_3(\varphi)t\right).$$

Коли компонента допоміжного процесу ξ_t^* приймає великі за абсолютною величиною значення r , під знаком звичайних інтегралів в виразах $P_{00}^*(t, r)$ стоять швидкоосцилюючі функції. Наближене обчислення інтегралів від швидкоосцилюючих функцій за допомогою звичайних квадратурних формул (прямокутників, трапецій, Симсона) недоцільне. В цьому випадку можна скористатись методом Філона, який призначений для обчислення інтегралів виду

$$I_1 = \int_a^b f(p) \cos xp dp, I_2 = \int_a^b f(p) \sin xp dp,$$

коли x не є малою величиною [5].

Інтервал інтегрування ділиться на $2n$ частин з кроком h . Позначимо $\theta = xh$. Тоді основні розрахункові формули мають вигляд:

$$\int_a^b f(p) \cos xp dp \approx h \{ \alpha [f(b) \sin xb - f(a) \sin xa] + \beta C_{2n} + \gamma C_{2n-1} \},$$

$$\int_a^b f(p) \sin xp dp \approx h \{ -\alpha [f(b) \cos xb - f(a) \cos xa] + \beta S_{2n} + \gamma S_{2n-1} \},$$

де α, β, γ , які є функціями θ , визначаються з наступних співвідношень:

$$\begin{aligned} \theta^3 \alpha &= \theta^2 + \theta \sin \theta \cos \theta - 2 \sin^2 \theta, \\ \theta^3 \beta &= 2[\theta(1 + \cos^2 \theta) - 2 \sin \theta \cos \theta], \\ \theta^3 \gamma &= 4[\sin \theta - \theta \cos \theta]; \end{aligned}$$

C_{2n} – сума всіх парних ординат кривої $y = f(p) \cos xp$, які знаходяться між a та b , за винятком половини першої та останньої ординати;

C_{2n-1} – сума всіх непарних ординат;

S_{2n} – сума всіх парних ординат кривої $y = f(p) \sin xp$, які знаходяться між a та b , за винятком половини першої та останньої ординати;

S_{2n-1} – сума всіх непарних ординат.

В методі Філона передбачається, що функція $f(p)$ з достатньою точністю апроксимується параболічною дугою на кожному з інтервалів

$$(a, a + 2h), (a + 2h, a + 4h), \dots,$$

$$(a + 2(n-1)h, a + 2nh),$$

де $a + 2nh = b$.

Для наближеного розв'язування інтегрального рівняння (4) можна скористатися, наприклад, методом скінченних сум [6].

Розглянемо інтервал $[0; t]$ і обчислимо $P_{00}(t)$. Візьмемо на інтервалі систему рівновіддалених точок $t_i = ih, i = \overline{0, n}$, де $h = \frac{t}{n}, t_n = t$.

Покладемо в (4) $t = t_i$ та використаємо для наближеного обчислення інтегрального члену формулу лівосторонніх прямокутників з вузлами в точках t_0, t_1, \dots, t_{i-1} . Одержимо рекурентну процедуру:

$$P_{00}(0) = 1,$$

$$P_{00}(t_i) = c_{0,0}(t_i) + \sum_{k=0}^{i-1} [(\mu + \nu) P_{00}^*(t_i - t_k, 0) -$$

$$- \nu P_{01}^*(t_i - t_k, 0) - \mu P_{00}^*(t_i - t_k, 1)] P_{00}(t_k),$$

$$i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

звідки

$$\begin{aligned} P_{00}(t) = P_{00}(t_n) &= c_{00}(t_n) + \sum_{k=0}^{n-1} [(\mu + \nu) P_{00}^*(t_n - t_k, 0) - \\ &- \nu P_{01}^*(t_n - t_k, 0) - \mu P_{00}^*(t_n - t_k, 1)] P_{00}(t_k). \end{aligned}$$

Таким чином, запропонована методика дає алгоритм розрахунку ймовірностей станів до

сліджу вальної системи з використанням чисельних методів. Ймовірності станів системи є найбільш інформативними її характеристиками. Використовуючи їх, можна розрахувати інші важливі характеристики роботи системи – середню довжину черги, середній час дозидання однією заявкою початку обслуговування, середнє число приладів, зайнятих обслуговуванням заявок та ін.

Крім того, збільшуючи значення t , можна наближено розрахувати час, через який в системі встановлюється стаціонарний режим роботи. Умови існування стаціонарного режиму в одно канальній системі масового обслуговування розглядуваного типу досліджувались в роботі [7].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – М.: Наука, 1987.
2. Алиев Т. М. Управляемые пуассоновские процессы с границами и их применение. / Т. М. Алиев, И. И. Ежов - К.: Рукопись деп. в ВИНТИ 15 марта 1976 г., № 796 – 76 Деп.

3. Ежов И. И. Теория вероятностей и ее применения: Сб. статей. / И. И. Ежов, А. В. Скороход // Марковские процессы, однородные по второй компоненте I. - Т. 14, № 1. - М., 1969. – С. 4-14.
4. Ежов И. И. Теория вероятностей и ее применения: Сборник статей. / И. И. Ежов, А. В. Скороход // Марковские процессы, однородные по второй компоненте II. - Т. 14, № 4. - М., 1969. – С. 679 -692.
5. Трантер К. Дж. Интегральные преобразования в математической физике. - М.: Гостехиздат, 1956.
6. Крылов В. И. Вычислительные методы. / В. И. Крылов, П. И. Монастырский, В. В. Бобков, Т. 2. - М.: Наука, 1977.
7. Алиев Т. М. Условие эргодичности однолинейной системы массового обслуживания с ненадежным прибором. Меж. вед. научн. сб. «Теория вероятности и математическая статистика». Вып. 14, 1976.

Надійшла до редакції 27.09.2007.

А. С. РАСПОПОВ (ДИИТ)

КОНЕЧНО-АВТОМАТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СТЕРЖНЕВЫХ И БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Досліджено можливості застосування скінчених автоматів, методу початкових параметрів та асоційованих матриць до розрахунку просторових коливань стрижневих та балкових конструкцій з розподіленими параметрами.

Исследованы возможности применения конечных автоматов, метода начальных параметров и ассоциированных матриц к расчету пространственных колебаний стержневых и балочных конструкций с распределенными параметрами.

The possibilities of applying logical machine, the method of initial parameters and associated matrixes into spatial vibration analysis of rod and beam constructions with continues parameters have been researched.

Одновременно изгибные, крутильные и продольные колебания возникают в пространственных рамных конструкциях и в системах пересекающихся балок. Их также следует учитывать при изучении автоколебательных движений и в системах с несимметричным приложением нагрузки. Однако, решение задачи о совместных колебаниях в точной постановке представляет значительные трудности, что приводит либо к использованию приближенных методов и схем, либо к изучению тех или других видов колебаний в отдельности [3, 10].

В данной работе предложен универсальный аналитический подход к описанию пространственных колебаний континуальных стержневых систем на основе теории конечных автоматов, метода начальных параметров и ассоциированных матриц.

Конечные автоматы, являясь составной частью теории систем, находят применение в самых разнообразных областях науки и техники. Так, приложение булевой алгебры и математической логики к решению плоской задачи изгибных колебаний пластин и цепных стержневых систем можно найти в работах В. Л. Рвачева и Г. Н. Эйхе [9, 12]. Идейная простота и наглядность разработанных алгоритмов для анализа и синтеза конечных автоматов [2, 5] дают возможность их более широкого использования в динамике стержневых систем, моделирующих мосты, трубопроводы, антенные конструкции и другие сооружения.

Схематично стержневая система и каждый ее элемент-стержень могут быть представлены в виде детерминированного конечного автомата А с конечным числом внешних полюсов и конечным множеством состояний (рис. 1).

Входные полюсы стержня соответствуют входным переменным $x^{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, 2n$ и обозначают его начальные (НП) и концевые (КП) граничные параметры. В случае пространственных колебаний входные параметры стержня будут представлены n переменными для НП и n переменными для КП ($n = 12$): перемещениями в направлении осей x, y, z — u_x, u_y, u_z , углами поворота сечения $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$, внутренними моментами M_x, M_y, M_z и силами N_x, N_y, N_z . Таким образом, общее число входных переменных будет равно 24, а каждый из входов автомата (НП или КП) можно представить следующей схемой (рис. 2).

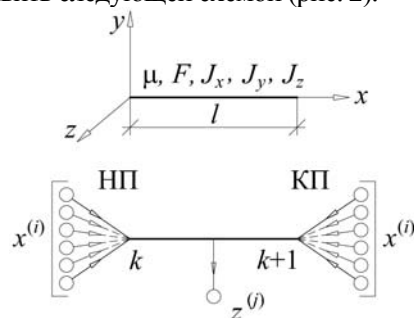


Рис. 1

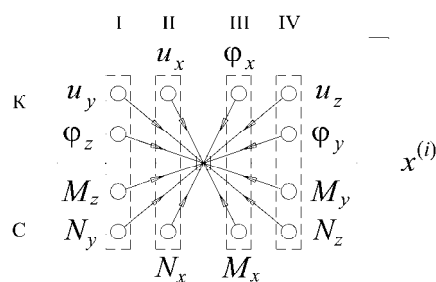


Рис. 2

Верхняя часть схемы содержит кинематические (К), а нижняя – силовые (С) входные параметры. В свою очередь, блоки I, IV представлены граничными параметрами, характеризующими изгибные колебания стержня в плоскостях xu и xz соответственно, а блоки II, III – продольные и крутильные колебания.

Автомат A , представленный на рис. 1 имеет следующие ограничения на входе:

1. Граничные параметры стержня соответствуют входам линейного двоичного автомата с алфавитом $\{0,1\}$, т. е. каждая входная переменная может принимать либо фиксированное значение (0), либо произвольное (1). Таким образом, совокупность состояний всех n граничных параметров одного конца стержня выражается булевой функцией двенадцати переменных, образующих код его граничных условий.

2. Количество произвольных и фиксированных параметров на каждом из концов стержня и, следовательно, всего автомата будет одинаковым. Этот вывод является необходимым условием для однородных граничных условий стержня при его свободных колебаниях [6, 10, 12]. В общем случае, каждая возможная комбинация граничных условий будет содержать n фиксированных и n произвольных параметров.

3. Входные последовательности всех значений булевых функций НП и КП стержня могут быть реализованы на множествах $\{0,0,1,1\}$ – для изгибных колебаний стержня в плоскостях xu и xz (блоки I, IV, рис. 2) и $\{0,1\}$ – для продольных и крутильных колебаний (блоки II, III).

Отмеченные выше условия позволяют определить набор всех возможных состояний колеблющегося стержня. Это множество состояний S будет равно произведению числа сочетаний кодов граничных параметров для каждого из видов колебаний, т. е.

$$S = \prod_{i=1}^4 \left(C_n^m \right)_i^2, \quad (1)$$

где m – число произвольных или фиксированных параметров, i – номер блока на схеме НП (КП) стержня (рис. 2).

Таким образом, величина S включает 36×36 состояний для изгибных и 4×4 – для продольных и крутильных колебаний, всего 20736 состояний. Следует отметить, что если бы рассматривался абстрактный конечный автомат без ограничений на входе, то количество его состояний S было бы равно 2^{24} . Каждому

тактовому моменту времени системы t_v ($v=1, 2, \dots$) соответствует определенное состояние автомата s_v .

Следуя [5], входные переменные представим одной переменной x с алфавитом

$$X = X^{(1)} \otimes X^{(2)} \otimes \dots \otimes X^{(2n)}, \quad (2)$$

где $X^{(i)}$, $i=1, 2, \dots, 2n$ является алфавитом $x^{(i)}$. Выражение (2) обозначает также множество всех упорядоченных $2n$ -значных наборов $x^{(i)}$.

Аналогично, выходные полюсы автомата (рис. 1) соответствуют выходным переменным $z^{(j)}$, $j=1, 2, \dots, p$, которые представим переменной z с алфавитом

$$Z = Z^{(1)} \otimes Z^{(2)} \otimes \dots \otimes Z^{(p)}, \quad (3)$$

где $Z^{(j)}$, $j=1, 2, \dots, p$ является алфавитом $z^{(j)}$.

Выходные переменные определяются с учетом основных положений метода начальных параметров [11] и общих правил построения ассоциированных матриц [4]:

1. Все выходные последовательности состоят из определителей миноров k -го порядка ($k = \frac{n}{2}$), порождаемых матрицей влияния начальных параметров M_v порядка n . Для пространственных колебаний $k=6$, для изгибно-крутильных или изгибно-продольных – $k=3$, только изгибных – $k=2$, продольных или крутильных – $k=1$.

2. Каждому состоянию системы соответствует определенный минор матрицы M_v в зависимости от набора входных параметров НП и КП стержня. Другими словами, значение выхода z_v в момент времени t_v однозначно определяется входными параметрами x_v и состоянием системы s_v в этот момент времени.

3. Если к автомату A в момент t_v прикладывается входная последовательность x_v , то реакция A определяется трансцендентной функцией f_z , которая обозначает элемент ассоциированной матрицы, по физическому смыслу являющийся выражением частотного определителя стержня при определенных входных параметрах.

В результате, конечный автомат A описывается входным алфавитом X , выходным ал-

фавитом Z , множеством состояний S и двумя характеристическими функциями f_z и f_s :

$$z_v = f_z(x_v, s_v); s_{v+1} = f_s(x_v, s_v). \quad (4)$$

Опуская известные операции получения решения дифференциального уравнения колебаний стержня, выразим зависимость между граничными НП и КП стержня в матричной форме метода начальных параметров [6, 10]:

$$\mathfrak{G}_{k+1} = M_B \mathfrak{G}_k, \quad (5)$$

где \mathfrak{G}_k и \mathfrak{G}_{k+1} – векторы граничных параметров в k -м и $(k+1)$ -м сечениях;

$$\mathfrak{G}_{k,k+1} = \{u_x, \Phi_x, u_y, \Phi_y, u_z, \Phi_z, u_x, \Phi_x\}_{k,k+1}.$$

$$M_B = \begin{bmatrix} M'_{11} & M'_{12} & M'_{13} \\ M'_{21} & M'_{22} & M'_{23} \\ M'_{31} & M'_{32} & M'_{33} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Подматрицы блочной матрицы M_B определяются выражениями:

$$M'_{11} = \begin{bmatrix} \cos \lambda_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \lambda_k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_1 & \frac{\lambda_y}{l} V_1 \\ 0 & 0 & \frac{l}{\lambda_y} T_1 & S_1 \end{bmatrix};$$

$$M'_{22} =$$

$$= \begin{bmatrix} S_2 & \frac{\lambda_z}{l} V_2 & \frac{EJ_y \lambda_z^2}{l^2} U_2 & \frac{EJ_y \lambda_z^3}{l^3} T_2 \\ \frac{l}{\lambda_z} T_2 & S_2 & \frac{EJ_y \lambda_z}{l} V_2 & \frac{EJ_y \lambda_z^2}{l^2} U_2 \\ \frac{EJ_y \lambda_z^2}{l^3} U_2 & \frac{l}{EJ_y \lambda_z} T_2 & S_2 & \frac{\lambda_z}{l} V_2 \\ \frac{EJ_y \lambda_z^3}{l^3} V_2 & \frac{l^2}{EJ_y \lambda_z^2} U_2 & \frac{l}{\lambda_z} T_2 & S_2 \end{bmatrix};$$

$$M'_{33} = \begin{bmatrix} S_1 & \frac{\lambda_y}{l} V_1 & 0 & 0 \\ \frac{l}{\lambda_y} T_1 & S_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \lambda_k & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \lambda_x \end{bmatrix};$$

$$M'_{13} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -\alpha \lambda_x \sin \lambda_x \\ 0 & 0 & -\beta \lambda_k \sin \lambda_k & 0 \\ \frac{EJ_z \lambda_y^2}{l^2} U_1 & \frac{EJ_z \lambda_y^3}{l^3} T_1 & 0 & 0 \\ \frac{EJ_z \lambda_y}{l} V_1 & \frac{EJ_z \lambda_y^2}{l^2} U_1 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$M'_{31} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{l^2}{EJ_z \lambda_y^2} U_1 & \frac{l}{EJ_z \lambda_y} T_1 \\ 0 & 0 & \frac{l^3}{EJ_z \lambda_y} V_1 & \frac{l^2}{EJ_z \lambda_y^2} U_1 \\ 0 & \frac{1}{\beta \lambda_k} \sin \lambda_k & 0 & 0 \\ \frac{1}{\alpha \lambda_x} \sin \lambda_x & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

$$M'_{12} = M'_{21} = M'_{23} = M'_{32} = \|0\|_1^4$$

$$\text{где } \lambda_y^4 = \frac{\mu \omega_i^2 l^4}{EJ_z}, \quad \lambda_z^4 = \frac{\mu \omega_i^2 l^4}{EJ_y}, \quad \lambda_x^2 = \frac{\mu \omega_i^2 l^2}{EF},$$

$\lambda_k^2 = \frac{J_x \omega_i^2 l^2}{GJ_k}$ – частотные параметры, соответственно, для изгибных (в плоскостях xy и xz), продольных и крутильных колебаний; $\alpha = \frac{EF}{l}$,

$\beta = \frac{GJ_k}{l}$, l – длина стержня; μ – погонная масса; EJ_y , EJ_z , EF , GJ_k – жесткости при изгибе, растяжении-сжатии, кручении; J_x – погонный момент инерции массы стержня относительно его продольной оси; ω_i – круговая частота i -й формы колебаний.

В состав элементов подматриц M_B входят круговые и гиперболические функции А. Крылова:

$$\begin{aligned} S_e &= \frac{1}{2}(\text{ch } \lambda_r + \cos \lambda_r); \\ T_e &= \frac{1}{2}(\text{sh } \lambda_r + \sin \lambda_r); \\ U_e &= \frac{1}{2}(\text{ch } \lambda_r - \cos \lambda_r); \\ V_e &= \frac{1}{2}(\text{sh } \lambda_r - \sin \lambda_r); \end{aligned} \quad e = \begin{cases} 1, & r = y; \\ 2, & r = z. \end{cases} \quad (7)$$

Для формирования матрицы возможных состояний выхода раскроем частотные определи-

тели из миноров 6-го порядка матрицы M_b и представим их выражения f_z в составе ассоциированной блочной матрицы M_{xyz} в порядке логического следования кодов начальных и конечных граничных параметров стержня.

$$M_{xyz} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Использование блочных матриц достаточно удобно, так как действия над ними производятся по тем же формальным правилам, как и в

случае, когда вместо блоков представлены обычные элементы [4].

Подматрицы M_{ij} ($i, j = 1, 2, 3, 4$) выразим в виде произведения элементов a_{ij} ассоциированной матрицы M_x для продольных и крутильных колебаний и блочной матрицы M_{nk} ($n, k = 1, 2, \dots, 6$), т. е.

$$M_{ij} = \|a_{ij} M_{nk}\|_1^4. \quad (9)$$

Элементы a_{ij} матрицы M_x расположим в соответствии с входными параметрами $\{u_x, \varphi_x, M_x, N_x\}$ кодов НП и КП (блоки II, III рис. 2) и представим в табл. 1.

Таблица 1

КП \ НП	0011	0101	1010	1100
1100	S'	$-\beta\lambda_k U'$	$-\alpha\lambda_x V'$	$\alpha\beta\lambda_x\lambda_k T'$
1010	$\frac{1}{\beta\lambda_k} U'$	S'	$-\frac{\alpha\lambda_x}{\beta\lambda_k} T'$	$-\alpha\lambda_x V'$
0101	$\frac{1}{\alpha\lambda_x} V'$	$-\frac{\beta\lambda_k}{\alpha\lambda_x} T'$	S'	$-\beta\lambda_k U'$
0011	$\frac{1}{\alpha\beta\lambda_x\lambda_k} T'$	$\frac{1}{\alpha\lambda_x} V'$	$\frac{1}{\beta\lambda_k} U'$	S'

Здесь функции S', T', U', V' взяты с учетом следующих соотношений:

$$\begin{aligned} S' &= \cos\lambda_x \cos\lambda_k; & T' &= \sin\lambda_x \sin\lambda_k; \\ U' &= \cos\lambda_x \sin\lambda_k; & V' &= \sin\lambda_x \cos\lambda_k. \end{aligned} \quad (10)$$

Блочную матрицу M_{nk} также выразим в виде произведения элементов b_{nk} ассоциированной матрицы M_{xy} для изгибных колебаний стержня в плоскости xy и ассоциированной матрицы M_{xz} с элементами c_{mp} ($m, p = 1, 2, \dots, 6$) для изгибных колебаний в плоскости xz :

$$M_{nk} = \|b_{nk} M_{xz}\|_1^6. \quad (11)$$

Ассоциированные матрицы M_{xy} и M_{xz} с входными параметрами $\{u_y, \varphi_y, M_y, N_y\}$ и $\{u_z, \varphi_z, M_z, N_z\}$ в виде кодов НП и КП (блоки I, IV, рис. 2) и соответствующие им элементы b_{nk} и c_{mp} представлены в табл. 2.

В табл. 2 функции A_e, \dots, H_e являются

функциями В. Прагера и определяются выражениями [1] с учетом следующих соотношений:

$$\begin{aligned} A_e &= \frac{1}{2}(\operatorname{ch}\lambda_r \sin\lambda_r - \operatorname{sh}\lambda_r \cos\lambda_r); \\ C_e &= \frac{1}{2}(\operatorname{ch}\lambda_r \sin\lambda_r + \operatorname{sh}\lambda_r \cos\lambda_r); \\ B_e &= \operatorname{sh}\lambda_r \sin\lambda_r; & D_e &= \operatorname{ch}\lambda_r \cos\lambda_r; \\ F_e &= H_e = \frac{1}{2}B_e; & G_e &= \frac{1}{2}(1 - D_e); \end{aligned} \quad (12)$$

$$\bar{E}_e = \frac{1}{2}(1 + D_e); \quad e = \begin{cases} 1, & r = y, \quad s = z; \\ 2, & r = z, \quad s = y. \end{cases}$$

Анализируя зависимости (9)–(12), можно сделать вывод, что функции выхода f_z состоят из набора произведений элементов ассоциированных матриц для отдельных видов колебаний стержня. К примеру, для стержня, один конец которого заделан (код 000000111111), другой – шарнирно оперт (код 010101010101) значение f_z непосредственно определяется произведением элемента матрицы M_x с кодами НП

0011 – КП 0101 (табл. 1) на элементы матриц M_{xy} (0011 – 0101) и M_{xz} (0011 – 0101) табл. 2, т. е.

$$f_z = \frac{1}{\alpha \lambda_x} \sin \lambda_x \cos \lambda_k \frac{l^3}{EJ_z \lambda_y} A_1 \frac{l^3}{EJ_y \lambda_z} A_2. (13)$$

Таблица 2

КП НП	0011	0101	0110	1001	1010	1100
1100	\bar{E}_e	$-\frac{EJ_s \lambda_r}{l} A_e$	$-\frac{EJ_s \lambda_r^2}{l^2} F_e$	$-\frac{EJ_s \lambda_r^2}{l^2} H_e$	$-\frac{EJ_s \lambda_r^3}{l^3} C_e$	$\frac{(EJ_s)^2 \lambda_r^4}{l^4} G_e$
1010	$\frac{l}{EJ_s \lambda_r} C_e$	D_e	$-\frac{\lambda_r}{l} A_e$	$-\frac{\lambda_r}{l} A_e$	$-\frac{\lambda_r^2}{l^2} B_e$	$-\frac{EJ_s \lambda_r^3}{l^3} C_e$
1001	$\frac{l^2}{EJ_s \lambda_r^2} H_e$	$\frac{l}{\lambda_r} C_e$	\bar{E}_e	$-G_e$	$-\frac{\lambda_r}{l} A_e$	$-\frac{EJ_s \lambda_r^2}{l^2} F_e$
0110	$\frac{l^2}{EJ_s \lambda_r^2} F_e$	$\frac{l}{\lambda_r} C_e$	$-G_e$	\bar{E}_e	$-\frac{\lambda_r}{l} A_e$	$-\frac{EJ_s \lambda_r^2}{l^2} H_e$
0101	$\frac{l^3}{EJ_s \lambda_r^3} A_e$	$\frac{l^2}{\lambda_r^2} B_e$	$\frac{l}{\lambda_r} C_e$	$\frac{l}{\lambda_r} C_e$	D_e	$-\frac{EJ_s \lambda_r}{l} A_e$
0011	$\frac{l^4}{(EJ_s)^2 \lambda_r^4} G_e$	$\frac{l^3}{EJ_s \lambda_r^3} A_e$	$\frac{l^2}{EJ_s \lambda_r^2} H_e$	$\frac{l^2}{EJ_s \lambda_r^2} F_e$	$\frac{l}{EJ_s \lambda_r} C_e$	\bar{E}_e

Таким образом, матрица M_{xyz} содержит совокупность значений всех выходов автомата A и характеризует все возможные состояния системы S в зависимости от ее граничных параметров.

Следует также отметить, что матрицу M_{xyz} можно было бы представить в виде кодированной ассоциированной матрицы 144-го порядка с множеством состояний $S = 20736$, полным набором функций f_z и всевозможными сочетаниями кодов НП и КП отдельного стержня, причем каждая пара НП-КП имеет входной код, отличный от входного кода любой другой пары. Однако, более удобным и наглядным будет выражение матрицы M_{xyz} в условной форме куба (рис. 3), в котором каждая грань представляет одну из ассоциированных матриц M_{xy} , M_{xz} , M_x , а внутренние элементы содержат определенные произведения элементов этих матриц.

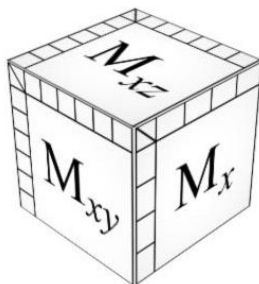


Рис. 3

Тогда, выражение частотного определителя стержня, представляющего значение выхода f_z данного автомата A при заданных граничных условиях НП и КП будет равно произведению элемента c_{mp} с входным кодом для блока IV (см. рис. 2) матрицы M_{xz} , на соответствующий элемент b_{nk} (блок I) матрицы M_{xy} (табл. 2) и на элемент a_{ij} (блоки II, III) матрицы M_x (табл. 1).

Рассмотрим многопролетную неразрезную балку и соответствующую ей логическую схему в виде конечного нетривиального автомата A и взаимно связанных подавтоматов A_1 , A_2, \dots, A_p , моделирующих отдельные кусочно-непрерывные участки – стержни $1, 2, \dots, p$ (рис. 4). По существу, в результате декомпозиции сложной последовательностной системы A [2] получено множество ее более простых частей (подсистем) A_1, A_2, \dots, A_p , действующих одновременно (синхронно).

В этом случае, множество состояний автомата A зависит также от промежуточных переменных $y^{(u)}$, $u = 1, 2, \dots, q$, а совокупность значений всех его выходов определяется выходами подавтоматов A_1, A_2, \dots, A_p , представленными ассоциированными матрицами V_1 ,

M_2, \dots, M_{p-1}, V_p каждого из p участков системы.

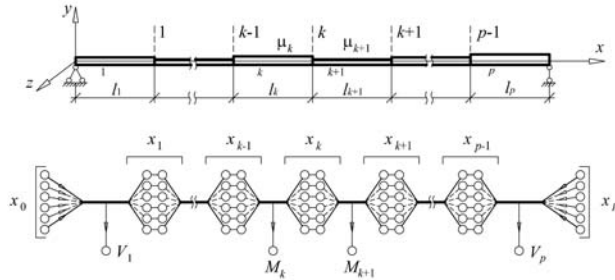


Рис. 4

Согласно [4], если матрицу M можно представить в виде произведения некоторых матриц M_k , то и ассоциированная матрица, составленная для M , равна произведению соответствующих ассоциированных матриц, составленных для M_k . Поэтому, уравнение частот в форме метода начальных параметров [6, 8, 10] для цепной стержневой системы можно выразить в виде последовательного произведения ассоциированных матриц каждого из p участков системы

$$V_1 \prod_{k=2}^{p-1} M_k V_p = 0, \quad (14)$$

которое также выражает условие ортогональности векторов с характеристиками участков и, очевидно, имеет энергетический смысл, как и условие ортогональности форм собственных колебаний стержня. Соотношения характеристических функций f_s и f_z в конечном автомате аналогичны уравнениям равновесия, а начальное состояние автомата в момент времени t_1 аналогично начальному распределению энергии в системе [5].

Если в результате разбиения множества состояний автомата A на p частей получено набор подмножеств состояний π , характеризующихся матрицами выходов $V_1, M_2, \dots, M_{p-1}, V_p$, то уравнение (14) будет выражать основную теорему декомпозиции [2]

$$\prod_{k=1}^p \pi_k = 0. \quad (15)$$

В другой форме уравнение (14) можно представить как сумму произведений выходов f_{zk} каждого подавтомата A_k при каждом возможном состоянии s_v в момент времени t_v , т. е.

$$\sum_{v=1}^S \left(\prod_{k=1}^p f_{zk} \right) = 0. \quad (16)$$

Множество входов автомата A определяется возможными входами, реализованными при помощи A_1, A_2, \dots, A_p . Объединение множества состояний A_1, A_2, \dots, A_p дает множество S . Кодирование внутренних состояний имеет свои особенности, так как входы k -й подсистемы связаны с входами $(k-1)$ -й и $(k+1)$ -й подсистем. Если известны входные параметры КП k -го участка балки, то НП $(k+1)$ -го участка могут быть получены в результате применения к булевым функциям КП логической операции отрицания. В символах булевой алгебры [7, 9] это свойство можно выразить следующим образом:

$$X_k = \bar{X}_{k+1}. \quad (17)$$

Используя логическое сложение (дизъюнкцию) и умножение (конъюнкцию) можно охарактеризовать связи между кодами сопрягаемых элементов:

$$X_k \cap X_{k+1} = 0, \quad (18)$$

или

$$X_k \cup X_{k+1} = 1. \quad (19)$$

Равенства (18), (19) выражают известные законы математической логики: закон логического противоречия и закон исключенного третьего [9].

Зависимости (17)–(19) накладывают дополнительное ограничение на входе для граничных параметров промежуточных участков (блоков, подсистем) – подавтоматов системы. Его обоснование можно показать на простом примере, рассмотренном выше, с учетом одного из видов колебаний.

Как известно, уравнение частот изгибных колебаний для однопролетной балки длиной l , один конец которой заделан (код 0011), другой – шарнирно оперт (код 0101) имеет вид

$$\frac{l^3}{EJ\lambda^3} A = 0, \text{ или } \operatorname{tg} \lambda - \tanh \lambda = 0 \quad (20)$$

(индексы e, r, s опущены).

Разделим балку на два одинаковых участка длиной $l_1 = l_2 = \frac{l}{2}$ и составим таблицу переходов (табл. 3) для идентификации характеристических функций конечного автомата, который описывает данную систему. Таблица содержит

значения возможных аргументов (x_v , s_v) функций f_z и f_s , т. е. все возможные упорядоченные пары (x_v , s_v), где x_v принадлежит входному алфавиту X , а s_v – множеству состояний S . Значения выходных параметров z_v , принадлежащих множеству Z , содержатся в табл. 2. Сопрягаемые входные параметры обозначим одноименными латинскими буквами, а

состояния системы – цифрами 1, 2, 3 и т. д.

Поочередное изменение кодов граничных параметров стержня 1 будет отвечать изменению кодов НП стержня 2 с учетом логического отрицания в связанных параметрах двух стержней. Не сложно убедиться, что использование любого другого принципа формирования кодов в рамках принятых ограничений является неприемлемым.

Таблица 3

$x_v \backslash s_v$		s_v		1	2	3	4	5	6
		ст. 1	ст. 2						
НП	К	0 a	0 1	0 1	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0
		0 b	0 1	0 0	0 0	0 1	0 1	0 0	0 0
	С	1 c	1 0	1 1	1 0	1 1	1 1	1 0	1 1
		1 d	1 0	1 0	1 1	1 0	1 1	1 1	1 1
КП	К	a 0	0 0	0 0	0 0	1 0	1 0	1 0	1 0
		b 1	0 1	1 1	1 1	0 1	0 1	1 1	1 1
	С	c 0	1 0	0 0	1 0	0 0	1 0	0 0	0 0
		d 1	1 1	1 1	0 1	1 1	0 1	0 1	0 1

Выбирая значения функций f_z из табл. 2 в соответствии с кодами НП и КП стержня 1 и состояниями 1, 2, ..., 6 приходим к матрице-строке V_1 , элементы которой соответствуют элементам строки матрицы M_{xy} с кодом 0011:

$$V_1 = \left\| \frac{l_1^4}{(EJ)^2 \lambda^4} G \quad \frac{l_1^3}{EJ \lambda^3} A \quad \frac{l_1^2}{EJ \lambda^2} H \right. \\ \left. \frac{l_1^2}{EJ \lambda^2} F \quad \frac{l_1}{EJ \lambda} C \quad \bar{E} \right\|. \quad (21)$$

Аналогично, матрица-столбец V_2 , удовлетворяющая кодам шарнирного закрепления конца 2-го стержня и полному перебору его булевых функций НП, состоит из шести элементов столбца с кодом 0101 квадратной матрицы M_{xy} обычного участка балки (см. табл. 2).

$$V_2 = \left\{ -\frac{EJ \lambda}{l_2} A \quad D \quad \frac{l_2}{\lambda} C \quad \frac{l_2}{\lambda} C \quad \frac{l_2^2}{\lambda^2} B \quad \frac{l_2^3}{EJ \lambda^3} A \right\}. \quad (22)$$

Уравнение частот в данном случае представляется в форме ортогональности двух векторов с характеристиками стержней 1, 2

$$V_1 V_2 = 0. \quad (23)$$

Подставляя в (23) значения (21), (22), после преобразований, приходим к уравнению (20).

При формировании входных последова-

тельств автомата, моделирующего узел конструкции из нескольких стержней, используется тот же принцип логического отношения отрицания, который реализуется в разделяющих участки сечениях.

Рассмотрим возможные состояния входных параметров в сечении I слева от узла прямоугольной рамы H , в котором стыкуются стержни k , $k+1$, h , $h+1$ (рис. 5). При этом начало стержня $h+1$ в сечении II пока не будем принимать во внимание.

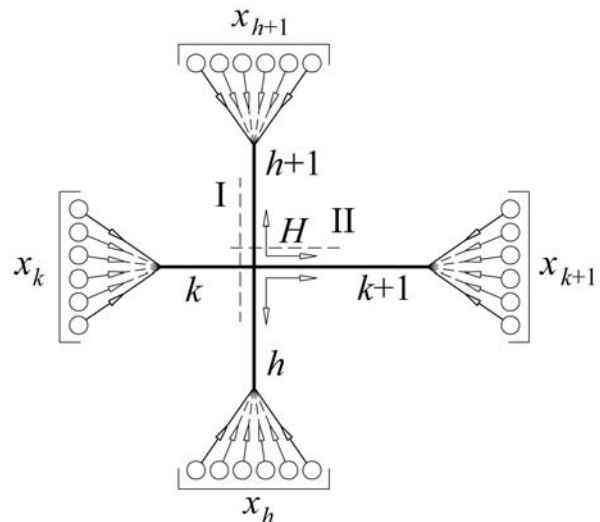


Рис. 5

Условие отрицания между концевыми параметрами k -го стержня и узла H выразим в

аналогичной форме (17):

$$X_k = \bar{X}_H, \quad (24)$$

где X_H является функцией граничных параметров X_{k+1}, X_h .

Так как входные параметры k -го стержня можно задавать непосредственно, т. е. они являются нормирующими по отношению к граничным параметрам аналогов-стержней $k+1$ и h , то между ними можно установить следующие зависимости:

- для кинематических параметров:

$$X_k = \overline{X_{k+1} \cup X_h}; \quad (25)$$

- для силовых параметров:

$$X_k = \overline{X_{k+1} \cap X_h}. \quad (26)$$

Выражения (24)–(26) реализуются при условиях:

- если кинематические параметры k -го стержня фиксированы (0), а силовые имеют произвольное значение (1), то между концевыми параметрами входящих в узел стержней $k+1, h$ может быть реализовано логическое отношение отрицания. В этом случае состояние узла H определяется отсутствием кинематических ограничений и внешнего силового воздействия;

- если кинематические параметры k -го стержня произвольны, а силовые фиксированы, то кинематические параметры стержней $k+1, h$ принимают фиксированное значение (0), а силовые – (1), т. е. узел H находится в условиях кинематических ограничений и произвольного силового воздействия.

Связи между кодами сопрягаемых элементов в узле H характеризуются выражениями, аналогичными (18), (19):

$$X_k \cap X_{k+1} \cap X_h = 0; \quad (27)$$

$$X_k \cup X_{k+1} \cup X_h = 1. \quad (28)$$

В целом, с помощью операций конъюнкции, дизъюнкции и отрицания получаем множество всех булевых функций системы, т. е. полную систему функций [9].

Вновь обратимся к рис. 5 и дадим возможность «входа» началу аналога-стержня $h+1$. Тогда условие отрицания между концевыми параметрами $(h+1)$ -го стержня и узла H примет вид:

$$X_{h+1} = \bar{X}_H. \quad (29)$$

Правила получения кодовых комбинаций для граничных параметров входящих в узел

стержней, а также условия (27), (28) будут аналогичными, как и алгоритм описания состояний автомата для узловых элементов конструкции. Однако, через такие узлы, как правило, проходят условные сечения, разделяющие систему на отдельные блоки (подсистемы) или подблоки [8]. Анализ числа перестановок кодов и состояний подавтоматов в таких сечениях необходимо проводить с помощью таблиц переходов.

Таким образом, для сложных систем рамных мостов, пересекающихся балок и других конструкций структура уравнения (14) является универсальной, с тем лишь отличием, что ассоциированные матрицы относятся не к отдельным стержням, а к отдельным блокам или подблокам системы. В каждом случае рассматривается возможность реализации последовательностной схемы путем соединений между собой типовых логических элементов. Число состояний A_k равно числу блоков в разбиении π_k . Для декомпозиции системы удобно использовать каскадный алгоритм разбиения [2] и соответствующую идею каскадного кодирования ее внутренних состояний. Элементами матриц для структуры более высокого уровня будут аналогичные (14) произведения матриц для других «вложенных» структур. Степень «вложенности» матриц определяется количеством наборов граничных параметров в сечениях системы [8]. На самом низком уровне элементами ассоциированных матриц являются функции Прагера для стержня (12).

Для регулярных и квазирегулярных стержневых систем уравнение (14) преобразуется к виду

$$V_1 M_k^{p-2} V_p = 0. \quad (30)$$

Этот случай представляет значительный практический интерес, так как такие конструкции получают все большее распространение в современном мостостроении: неразрезные пролетные строения балочных мостов, мосты комбинированных систем, многопанельные рамы, фермы, балки проезжей части, виадуки, трубопроводы, монорельсовые дороги и другие.

Для описания колебаний таких систем следует использовать эквивалентные автоматы, имеющие одинаковые таблицы переходов, а также их свойства рефлексивности, симметричности и транзитивности [5]. Очень часто встречаются почти регулярные конструкции с периодической или кратной регулярностью (частично нерегулярные, бирегулярные и т. д.), для которых также могут использоваться экви-

валентные автоматы и их минимальные формы.

Нетрудно показать, что в регулярных системах подавтоматы A_1, A_2, \dots, A_p будут эквивалентными. К примеру, если подавтомат A_k находится в состоянии σ_i ($A_k | \sigma_i$), а $A_{k+1} | \sigma_j$, то σ_i и σ_j эквивалентны (совместимы), т. е. при приложении к $A_k | \sigma_i$ и $A_{k+1} | \sigma_j$ допустимой входной последовательности длиной $2n$ они вырабатывают одинаковые выходные последовательности. Очевидно, что для нерегулярных систем σ_i и σ_j будут различимы (несовместимы), а подавтоматы A_k и A_{k+1} не эквивалентны.

Минимальную (сокращенную) форму автомата A , обозначаемую через \tilde{A} , можно получить путем «объединения» одинаково обозначенных внутренних состояний в одно состояние, что упрощает расчет, делая его также минимальным. Таким образом, минимизация автомата A приводит к тому, что никакие два состояния в \tilde{A} не являются эквивалентными, а минимальный путь, составляющий полный контур системы, проходит через все состояния в автомате \tilde{A} только один раз. Такое представление автомата A является наиболее компактным в смысле количества используемых состояний.

Аналогичным образом рассчитываются и более сложные стержневые и балочные конструкции с произвольными граничными условиями. Конечно-автоматное моделирование позволяет свести их расчет к многократно повторяемому циклу логических операций, соответствующих переходу от одного участка системы к другому. Решения получаются в точной форме в виде стандартного набора кодированных ассоциированных матриц, эффективно реализуемых с помощью ЭВМ. Такой подход обладает определенной универсальностью и устанавливает формальное однозначное соответствие между структурой конструкции и структурой получаемых уравнений. При этом практически исключаются процедуры составления дифференциальных уравнений, формирования

систем алгебраических уравнений и раскрытия определителей высоких порядков. Применение конечных автоматов существенно упрощает и систематизирует динамический расчет, открывает широкие возможности для разработки оптимальных вычислительных алгоритмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ананьев И. В. Табулированные значения комбинаций круговых и гиперболических функций / И. В. Ананьев, Н. И. Егоршева. - М.: Машиностроение, 1974. - 320 с.
2. Булева алгебра и конечные автоматы / Под ред. Ж. Кунцмана, П. Наслена. Перевод с француз. - М.: Мир, 1969. - 296 с.
3. Вибрации в технике: Справочник: в 6 т. Т. 1: Колебания линейных систем / Под ред. В. В. Болотина. - М.: Машиностроение, 1978. - 352 с.
4. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. - 4-е изд. - М.: Наука, 1988. 552 с.
5. Гилл А. Введение в теорию автоматов. - М.: Наука, 1966. 272 с.
6. Ивович В. А. Переходные матрицы в динамике упругих систем: Справочник. - М.: Машиностроение, 1981. - 183 с.
7. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1968. - 720 с.
8. Распопов А. С. Алгоритм расчета свободных колебаний пересекающихся балок с использованием логических моделей / А. С. Распопов, Г. Н. Эйхе, Л. К. Нестерчук // Вопросы динамики мостов и теории колебаний: Межвуз. сб. науч. тр. - Д.: ДИИТ., 1993. С. 95-101.
9. Рвачев В. Л. Геометрические приложения алгебры логики. - К.: Техника, 1967. - 212 с.
10. Филиппов А. П. Колебания деформируемых систем. - М.: Машиностроение, 1970. - 736 с.
11. Чудновский В. Г. Методы расчета колебаний и устойчивости стержневых систем. - К.: Изд-во АН УССР, 1952. - 416 с.
12. Эйхе Г. Н. Особенности структуры уравнений частот и форм установившихся колебаний рамных мостов и других плоских ортогональных стержневых систем // Вопросы статики и динамики мостов: Межвуз. сб. науч. тр. - Д.: ДИИТ. 1987. С. 83-84.

Поступила в редколлегию: 26.09.2007.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОТОКОВЫХ ЗАДАЧ С НЕОДНОРОДНЫМИ НОСИТЕЛЯМИ

В представленной статье выполнен анализ потоков, когда единицы потока имеют индивидуальные свойства (неоднородности).

У представлений статті виконаний аналіз потоків, коли одиниці потоку мають індивідуальні властивості (неоднорідності).

The analysis of streams is executed when units of stream have individual characteristics (heterogeneity) in the represented article.

Введение

При изучении характеристик транспортных и других сетей возникает необходимость в вычислении оптимального значения функции потока, протекающего от источника s к стоку t . Часто такие расчеты проводятся в задачах, связанных с однопродуктовым потоком. Здесь потоки в дугах сети соответствуют передаче некоторого однородного продукта: электроэнергии, воды, информации, денежной массы и т. п. На сетях могут быть сформулированы различные задачи [1] (о кратчайшем пути, о максимальном разрезе, транспортная задача, и т.д.), характеризующие различные аспекты их работы.

Материал и результаты исследования

Рассмотрим модель задачи о максимальном потоке в сети. Пусть $G = (N, A)$ – ориентированная сеть, где N – множество узлов, A – множество дуг, а U_{ij} – пропускная способность дуги (i, j) . Считаем, что узел s является источником, а узел t – стоком. Согласно [1], целочисленная функция f_{ij} , определенная на множестве A , называется потоком в сети G , если она удовлетворяет ограничениям:

$$\begin{cases} f_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A, \\ \sum_{j \in \alpha_i} f_{ij} - \sum_{j \in \beta_i} f_{ji} = 0 \quad \forall i \in N, i \neq s, i \neq t, \\ f_{ij} \leq U_{ij} \quad \forall (i, j) \in A. \end{cases} \quad (1)$$

В (1) β_i – множество всех узлов, связанных с узлом i дугами, направленными к i , α_i – множество всех узлов, связанных с i – дугами, направленными в противоположную сторону. Значение $\sum_j f_{sj} = \sum_j f_{jt} = V$ называется величиной потока.

В задаче о максимальном потоке требуется

найти максимально допустимую величину V , на основе следующего:

$$\max V \quad (2)$$

при условии, что

$$\sum_j f_{ij} - \sum_j f_{ji} = \begin{cases} V, & i = s, \\ 0, & i \neq s, i \neq t, \\ -V, & i = t. \end{cases} \quad (3)$$

В уравнениях (1)–(3) суммирование производится по всем узлам, для которых функция f_{ij} определена.

Максимальный поток характеризует пропускную способность сети в целом для стационарного режима. При этом в классической модели [1] отдельные носители единиц потока не рассматриваются. Следовательно, не рассматриваются и траектории носителей потока от s к t . Такое представление соответствует предположению об однородности носителей, отсутствии у них каких-либо индивидуальных свойств. В [2, 3] сформулированы новые задачи исследования потоков для случаев, когда вводится в модель дифференциация носителей потока.

В представленной статье, продолжая [2, 3], выполнен анализ потоков, когда единицы потока имеют индивидуальные свойства. Такими их свойствами (неоднородностями носителей потока) могут быть: перемещение по известным маршрутам, ограничения на возможность совместного движения по дугам, задание определенной последовательности движения носителей, право собственности, то есть индивидуальные оценки качества и цели перемещения носителей, и др.

С учетом индивидуальных свойств единиц потока будем рассматривать три задачи:

1. Для известного потока на входе сети (известно общее число единиц потока поступающее в сеть за некоторый период). Для максимального потока необходимо определить множество возможных траектории, по которым мо-

гут передвигаться отдельные единицы потока.

2. Для объектов с заданным набором индивидуальных свойств необходимо определить максимальный поток в сети.

3. На множестве оптимальных траекторий рассчитать компромиссные варианты движения единиц потока с учетом выбранной системы оценок.

Рассмотрим первую из задач. Пусть t_i – количество единиц потока с i -м индивидуальным свойством, где $i = 1, m$. Тогда задача о траекториях максимального потока имеет вид:

$$\sum_{i=1}^m t_i = V \quad (4)$$

при условии, что:

$$\sum_j \sum_{k=1}^m f_{ij}^k - \sum_j \sum_{k=1}^m f_{ji}^k = \begin{cases} V, & i = s, \\ 0, & i \neq s, i \neq t, k = 1, m \\ -V, & i = t. \end{cases} \quad (5)$$

Здесь V – величина потока. Отличие задачи (4)-(5) от задачи (1)-(3) заключается в наличии двойной суммы (внутренняя сумма берется по величинам потока с k -м индивидуальным свойством). Задача (4)-(5) будет иметь решение, если выполняется соотношение:

$$0 \leq \sum_{k=1}^m f_{ij}^k \leq U_{ij}, \text{ здесь } f_{ij}^k \leq t_k, \quad (6)$$

где U_{ij} – пропускная способность дуги (i, j) сети, f_{ij}^k – величина потока с k -м индивидуальным свойством по дуге (i, j) , $k = 1, m$. Задача (4)-(5) не имеет решения если существуют

дуги (i, j) на которых выполняется неравенство

$$\sum_{k=1}^m f_{ij}^k > U_{ij}. \quad (7)$$

Для решение задачи (4)-(5) требуется также указать возможные траектории перемещения единиц потока по сети, общее число которых известно (максимально). Если ограничение (7) будет выполняться, то за некоторый период времени через сеть пройдет меньше единиц потока, чем согласно (4).

Зная для некоторой дуги, число единиц потока протекающего по ней, выделяем возможные маршруты для каждой единицы потока на основе матричного метода представленного в работе [2, с. 62].

Во второй задаче надо найти максимальный поток в сети, в зависимости от пропускных способностей дуг при дополнительных ограничениях, обусловленных индивидуальными свойствами носителей. Исследуем зависимость величины максимального потока от ограничений, накладываемых набором индивидуальных свойств на следующих примерах. Рассмотрим задачу о максимальном потоке в сети с однородными носителями (рис. 1), и с индивидуальными свойствами носителей потока (рис. 2). Примем, что индивидуальным свойством является требование, согласно которому только 1 носитель должен перемещаться по траектории $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 10$.

Для задачи (рис. 1) максимальный поток, рассчитанный согласно [1], равен 8, а для задачи рис. 2 он равен 5.

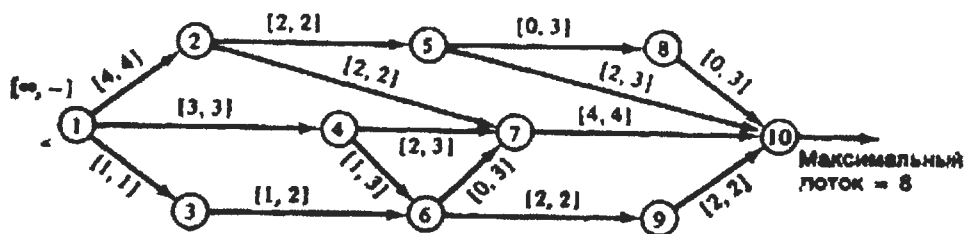


Рис. 1. Максимальный поток без индивидуальных свойств носителей

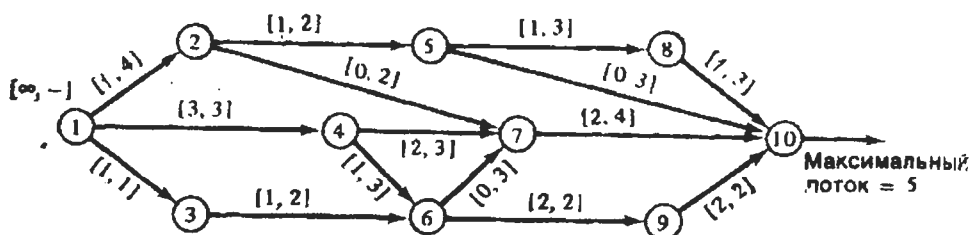


Рис. 2. Максимальный поток с индивидуальными свойствами носителей

Найдем все траектории носителей потока, заданной на рис. 1 сети, от источника (вершина 1) к стоку (вершина 10) по [2]. Присвоим этим

траекториям числовые значения, которые, для определенности считаем ценами за перевозку одной единицы потока (в усл. ед.). Получим:

- 1) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 10$ цена за перевозку 7;
- 2) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 10$ цена за перевозку 6;
- 3) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ цена за перевозку 8;
- 4) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ цена за перевозку 5;
- 5) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ цена за перевозку 9;
- 6) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ цена за перевозку 4;
- 7) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ цена за перевозку 3;
- 8) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ цена за перевозку 1.

Для формулирования содержательной задачи компромиссного выбора на множествах траекторий носителей, введем еще одно индивидуальное свойство – право собственности. Далее, пусть есть три собственника, которым принадлежит следующее количество единиц потока: $m_1 = 3$, $m_2 = 3$, $m_3 = 2$. Найдем максиминную оценку эффективности потока с собственными свойствами носителей в виде [3] (принцип гарантированного результата):

$$F(s) = \max_s \min_{i \in [1,3]} \left(\frac{f_i(s) - f_i^-}{f_i^+ - f_i^-} \right), \quad (8)$$

где s – распределение единиц потока в сети на рис.1, $f_i(s)$ – доход i -ого перевозчика при s -м распределении, f_i^+ , f_i^- – наибольший и наименьший доход i -ого перевозчика.

Величины f_i^+ , f_i^- вычисляются следующим образом. Значение $f_1^+ = 22$ усл. единиц (2 единицы потока этого перевозчика проследуют по пути $1 \rightarrow 2 \rightarrow 7 \rightarrow 10$, а одна единица потока по пути $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 10$); $f_2^+ = f_1^+$ – так как у второго перевозчика такое же количество единиц потока, что и у первого; $f_3^+ = 16$ усл. единиц (2 единицы потока этого перевозчика проследуют по пути $1 \rightarrow 2 \rightarrow 7 \rightarrow 10$). Значение $f_1^- = 12$ усл. единиц (1 единица потока проследует по пути $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$, вторая по пути $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$, а третья по пути $1 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 10$); $f_2^- = f_1^-$; $f_3^- = 7$ усл. единиц (1 единица потока проследует по пути $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$, вторая по пути $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$).

Рассмотрим распределение единиц потока s_1 по траекториям сети представленной на рис. 1:

- 1) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 10$ – проследует 0 ед. потока;
- 2) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 10$ – проследует 2 единицы потока 1-ого перевозчика;
- 3) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 2 единицы потока 2-ого перевозчика;
- 4) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 2 единицы потока 3-го перевозчика;

5) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока;

6) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 1-го перевозчика;

7) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 2-го перевозчика;

8) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока.

Тогда согласно (8), имеем: для 1-го перевозчика: $F_{11} = \frac{4}{10}$; для 2-го перевозчика: $F_{12} = \frac{7}{10}$;

для 3-ого перевозчика: $F_{13} = \frac{3}{9}$;

$$F_1(s_1) = \min \left(\frac{4}{10}, \frac{7}{10}, \frac{3}{9} \right) = \frac{1}{3}.$$

Рассмотрим распределение единиц потока s_2 по траекториям той же сети:

1) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока;

2) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 10$ – проследует 2 единицы потока 3-го перевозчика;

3) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 2 единицы потока 2-ого перевозчика;

4) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 1-го перевозчика и 1 единица потока 2-го перевозчика;

5) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока;

6) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 1-ого перевозчика;

7) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 1-ого перевозчика;

8) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока.

Тогда согласно (8): для 1-ого перевозчика:

$F_{21} = 0$; для 2-го перевозчика: $F_{22} = \frac{9}{10}$; для

3-го перевозчика: $F_{23} = \frac{5}{9}$;

$$F_2(s_2) = \min \left(0, \frac{9}{10}, \frac{5}{9} \right) = 0.$$

Аналогичным образом, продолжим перебор других вариантов распределений s_i единиц потока по траекториям сети. Каждый из вариантов распределений формируется с помощью перестановок единиц потока, участвующих в получении оптимального (максимального) потока. Исходя из этого получим окончательную оценку:

$$F(s^*) = \max(F_1(s_1), F_2(s_2), \dots) = \frac{1}{3},$$

где s^* – распределение единиц потока такого вида:

- 1) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока;
- 2) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 10$ – проследует 2 единицы потока 1-го перевозчика;
- 3) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 2 единицы потока 2-го перевозчика;
- 4) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 2 единицы потока 3-го перевозчика;
- 5) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока;
- 6) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 1-го перевозчика;
- 7) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 2-го перевозчика;
- 8) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока.

Рассмотрим сеть на рис. 2, у которой максимальный поток равен 5. Так как количество единиц носителей у перевозчиков потока осталось то же (8), $F(s^*)$ будет зависеть от всевозможных сочетаний единиц потока на оптимальных траекториях C_8^5 . При этом, если рассматривать лишь 5 носителей, могут быть найдены распределения, которые увеличивают $F(s)$, по сравнению с задачей с однородными (по всем 8) носителями. Например, если возьмем $m_1 = 3, m_2 = 1, m_3 = 1$, то $F(s^*) = \frac{2}{5}$, где s^* – распределение носителей потока вида:

- 1) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 1-ого перевозчика;
- 2) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока;
- 3) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока;
- 4) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 2-го перевозчика и 1 единица потока 3-го перевозчика;
- 5) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока;
- 6) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 1-ого перевозчика;
- 7) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 1-го перевозчика;
- 8) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока.

Вместе с тем могут быть распределения носителей по траекториям, которые уменьшают значение $F(s)$. Например, если мы возьмем $m_1 = 2, m_2 = 2, m_3 = 1$, то $F(s^*) = \frac{1}{4}$, где s^* – распределение единиц потока такого вида:

- 1) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 2-го перевозчика;

- 2) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока;
- 3) $1 \rightarrow 2 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока;
- 4) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 2 единицы потока 1-го перевозчика;
- 5) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока;
- 6) $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 3-го перевозчика;
- 7) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ – проследует 1 единица потока 2-го перевозчика;
- 8) $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ – проследует 0 единиц потока.

Анализ примера показывает, что компромиссно-оптимальные максимальные оценки потоков из носителей, имеющих индивидуальные свойства, зависят от некоторых дополнительных условий – соглашений между участниками перевозок. В частности, здесь такое соглашение состоит в том, что некоторые элементы не участвуют в перевозках. А значит, не получают «прибыли». Естественно, остальные участники должны им компенсировать это, передав определенную часть прибыли. В качестве механизма распределения прибыли с учетом интересов всех участников (перевозчиков) может быть модели игр с побочными платежами [4]. Согласно нее в перевозках участвуют те элементы, которые обеспечивают максимальную суммарную прибыль. Полученный доход после реализации решения (вне рамок модели) распределяется между всеми участниками заранее установленным способом.

Выводы

Показано, что в потоковых задачах с учетом индивидуальных свойств носителей существенно не только значение потока, но и траектории описываемые единицами потока. С учетом характеристик элементов потока на различных траекториях, выделен класс новых компромиссных задач о потоках в сетях.

БИБЛИОГРАФИЧНИЙ СПИСОК

1. Филлипс Д. И. Методы анализа сетей / Д. И. Филлипс, А. Гарсиа-Диаз. – М.: Мир, 1984. – С. 496.
2. Нечипуренко В. И. Структурный анализ систем. – М.: «Советское радио». 1977. – С. 212.
3. Гермеер Ю. Б.. Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука. 1976. – С. 352.
4. Бутрим Б. И. Игры N лиц с существенным множеством критериев. Журнал «Вычислительная математика и матфизика». № 2. 1980.

Поступила в редакцию 01.11.2007.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ДИРЕКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Приведен пример построения линейных математических моделей работы дирекции железнодорожных перевозок.

Наведено приклад побудови лінійних математичних моделей роботи дирекції залізничних перевезень.

There is an example of the linear mathematical models construction of the railway traffic management.

В работе [5] на основе структурного моделирования получена математическая модель работы железной дороги. Структурное моделирование выполнено с использованием неориентированного графа локальных взаимосвязей. В данной работе моделирование выполняется с использованием ориентированного графа.

Были рассмотрены 28 показателей работы одной из дирекций Приднепровской ж.д. за период 2001-2005 гг., которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели работы дирекции

X1	общая погрузка (вагонов)
X2	общая погрузка(тонн)
X3	статнагрузка на вагон (тонн)
X4	выгрузка (вагонов)
X5	работа (вагонов)
X6	рабочий парк вагонов всего
X7	рабочий парк порожних вагонов
X8	рабочий парк вагонов с транзитным грузом
X9	рабочий парк вагонов с местным грузом
X10	груженный рейс вагона
X11	порожний пробег к общему (%)
X12	производительность вагона (т\км нетто)
X13	эксплуатационные т\км нетто (млн)
X14	прием вагонов всего
X15	прием груженных вагонов
X16	прием порожних вагонов
X17	сдача вагонов всего
X18	сдача груженных вагонов
X19	сдача порожних вагонов
X20	оборот грузового вагона (суток)

X21	оборот местного вагона (суток)
X22	простой под одной грузовой операцией (часов)
X23	простой на одной технической станции (часов)
X24	средний вес грузового поезда (тонн)
X25	техническая скорость (км\ч)
X26	участковая скорость(км\ч)
X27	среднесуточный пробег локомотива (км)
X28	производительность локомотива (тыс. ткм брутто)

На рис. 1 показана динамика погрузки дирекции по месяцам за период 2001-2005 гг., которая была построена на основе фактических данных с помощью пакета «STATISTICA 6.0» [1]. Из графика видно, что за рассматриваемый период общая погрузка имеет тенденцию роста. Это является положительным фактом, так как одной из основных задач железнодорожного транспорта является максимально полное обеспечение грузоотправителей, при этом система управления эксплуатационной работой должны обеспечить высокий уровень использования технической вооруженности транспорта и особенно подвижного состава [2]. Также была построена динамика для всех 28-ми показателей. Анализ динамики показывает значительное улучшение работы дирекции железнодорожных перевозок.

На рис. 2 представлены рабочий парк вагонов с транзитными грузами, порожний пробег к общему, участковая скорость. Это перечень показателей, которые за рассматриваемый период не имеют тенденции к улучшению и требуют более детального рассмотрения.

Из рис. 2 наблюдается тенденция падения участковой скорости, но при этом динамика технической скорости показывает тенденцию роста, это видно из рис. 3.

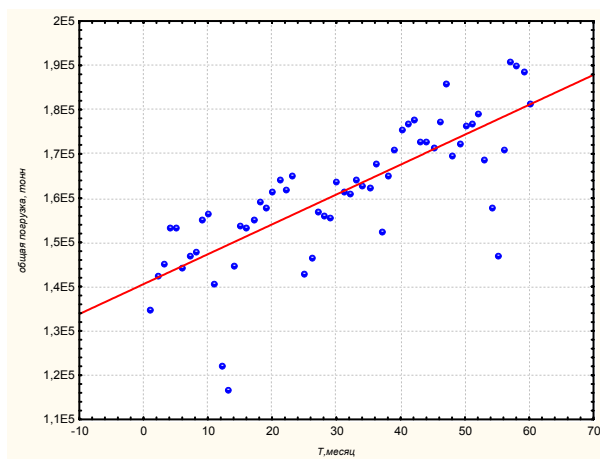


Рис. 1. Динамика погрузки дирекции

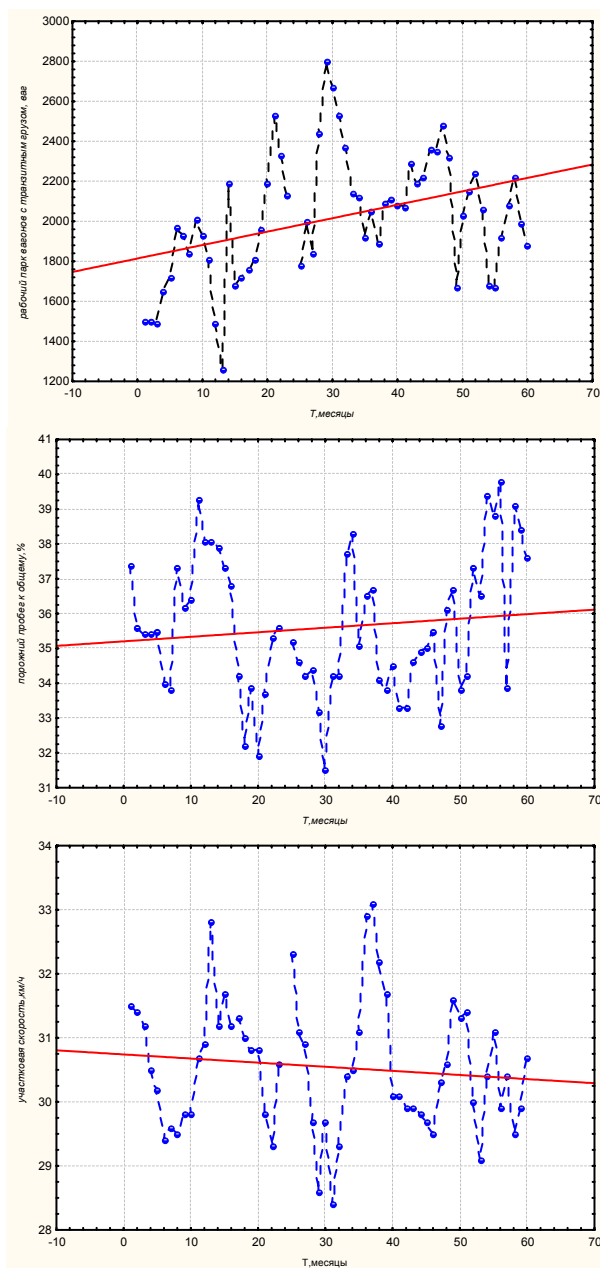


Рис. 2. Динамика показателей работы дирекции, не имеющие тенденцию к улучшению.

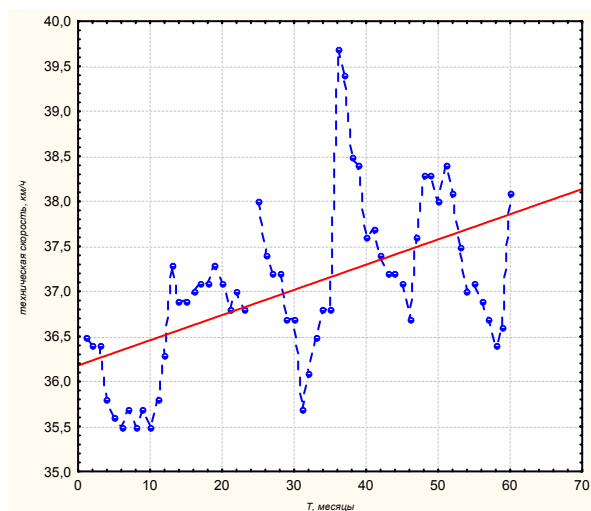


Рис. 3. Динамика технической скорости

Известно, что при отсутствии остановок поездов на промежуточных станциях средняя участковая скорость равна технической. Тогда с учетом анализа рис.2 и рис.3 можно сделать вывод, что основная причина падения участковой скорости является «перепростои» на промежуточных станциях. Этот факт также имеет отношение и к росту рабочего парка с транзитным грузом. Очевидно, что набор показателей работы дирекции $\Omega = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, имеют между собой определенные связи.

Естественно возникает задача выбора управляющих воздействий и определения показателей эффективности работы дирекции.

Для решения поставленных задач необходимо на основании статистических данных построить граф локальных взаимосвязей между наблюдаемыми показателями и построить математическую модель работы дирекции.

1. Корреляционный анализ данных о работе дирекции

За рассматриваемый период с 2001 по 2005 годы фиксировались среднеемесячные показатели, на основании которых для показателей вычислялись коэффициенты корреляции с доверительной вероятностью $\gamma = 0,95$. Для доверительной вероятности $\gamma = 0,95$ и числа наблюдений 60 (число месяцев) критическое значение коэффициента корреляции будет равным 0,25 [3].

Проанализировав корреляционную матрицу можно отметить, что коэффициент корреляции для X_1 (общая погрузка в вагонах) и X_2 (общая погрузка в тоннах) равен 1, это означает, что между ними существует линейная связь.

В подтверждение этому приведена формула определения количества вагонов:

$$N = \frac{Q}{q}, \quad (1)$$

где Q – количество груза в тоннах;

q – норма загрузки вагона.

Линейная зависимость позволяет исключить из дальнейших расчетов X_1 (общая погрузка в вагонах). По таким же соображениям в дальнейших расчетах не будет участвовать \tilde{O}_5 (работа), так как этот показатель имеет линейную зависимость с \tilde{O}_{18} (сдача груженых вагонов).

Прежде чем строить граф локальных взаимосвязей проведем анализ показателей с точки зрения «входящих» показателей и «выходящих» или результат работы. В дальнейшем «входящие» показатели будем называть источниками, а «выходящие» – стоками для графа локальных взаимосвязей.

К показателям, характеризующим выполнение цикла работ относятся: X_2 (общая погрузка груза в тоннах), X_{14} (прием вагонов всего), X_{15} (прием груженых вагонов), X_{16} (прием порожних вагонов), X_4 (выгрузка вагонов), X_{17} (сдача вагонов всего), X_{18} (сдача груженых вагонов), X_{19} (сдача порожних вагонов).

X_2 (общая погрузка груза в тоннах), X_{14} (прием вагонов всего), X_{15} (прием груженых вагонов), X_{16} (прием порожних вагонов) эти показатели в основном зависят от месячных планов, которые регулируют работу дирекции, поэтому их можно отнести к источникам. Хотелось бы отметить, что выбранные источники имеют относительный характер, так как они основываются на значениях показателей, т.е. на результате работы дирекции. Основным источником можно назвать месячный план перевозок, но дирекция не всегда справляется с поставленным заданием, поэтому речь идет об относительности выбора источников.

X_4 (выгрузка вагонов) относим к стокам, т.к. этот показатель определяется размерами погрузки в адрес дирекции и характеризует конечную операцию перевозочного процесса. К стокам относятся X_{17} (сдача вагонов всего),

X_{18} (сдача груженых вагонов), X_{19} (сдача порожних вагонов), как результат работы дирекции.

2. Построение наборов предикторных переменных

С учетом выбора источников, стоков и наличия линейных зависимостей на основании корреляционной матрицы строим матрицу смежности графа локальных взаимосвязей, которая показана в виде таблицы 2.

По матрице смежности находим набор предикторных переменных. В задачах математического моделирования набор предикторных переменных выступает в роли «независимых» переменных, т.е. зная эти переменные математическая модель позволяет определить остальные.

Построение наборов предикторных переменных можно выполнять с помощью алгоритма Э.Пиша [4].

По матрице смежности в соответствии с алгоритмом получаем следующие наборы предикторных переменных

$$\begin{cases} M_1 = \{X_2, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_6\} \\ M_2 = \{X_2, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{11}\}. \end{cases} \quad (2)$$

Так для набора $M_1 = \{X_2, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_6\}$ определяем множество

$$Y_1 = \Omega \setminus M_1 = \left\{ \begin{array}{l} X_3, X_4, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, \\ X_{13}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, \\ X_{23}, X_{24}, X_{25}, X_{26}, X_{27}, X_{28} \end{array} \right\},$$

т. е. перечень показателей, которые должны быть определены.

Для набора $M_2 = \{X_2, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{11}\}$ имеем $Y_2 = \Omega / M_2$.

$$Y_2 = \left\{ \begin{array}{l} X_3, X_4, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{12}, \\ X_{13}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, \\ X_{23}, X_{24}, X_{25}, X_{26}, X_{27}, X_{28} \end{array} \right\}$$

Зная наборы предикторных переменных можем определить значения остальных показателей. Эта процедура существенно поможет в разработке технических норм работы дирекции.

Матрица смежности для графа локальных взаимосвязей

	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
2	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1
3	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
7	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
8	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
9	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1
11	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
12	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1
13	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
14	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
15	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
21	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
22	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
23	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
24	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
25	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
26	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
27	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1
28	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1

3. Линейные математические модели

Прежде чем строить линейные математические модели рассмотрим структуру этих моделей. Полученные наборы (2) позволяют построить структуры математических моделей.

Так, например, при выборе множества M_1 в качестве предикторных переменных показатели

из Y_1 будут в правых частях содержать только те с которыми они коррелируют.

Аналогично составляются структуру моделей для M_2 , здесь должны быть заданы

$\{X_2, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{11}\}$, а остальные показате

ли имеют следующие структурные представления.

Прежде чем строить линейные математические модели дадим описание модели. Считаем, что наблюдаемые величины связаны между собой регрессионной зависимостью вида:

$$Y(i) = B1 \cdot X1(i) + B2 \cdot X2(i) + \dots + BK \cdot XK(i) + B0 + e(i), \\ 0 < j \leq n, \quad (3)$$

где $B1, B2, \dots, BK, B0$ - неизвестные константы, $e(i)$ - ненаблюдаемые случайные величины со

средним 0 и неизвестной дисперсией, не меняющейся от опыта к опыту [1].

Построение математических моделей проводим с использованием пакета STATISTICA 6.0 в модуле Множественная регрессия.

Используя структуру S_1 были построены линейные математические модели, для перечня показателей Y_1 . В уравнение регрессии входят только показатели, которые положительно коррелируют с искомыми величинами.

$$\begin{aligned} X_3 &= 69,24 - 0,025 \cdot X_{10} \\ X_4 &= 0,227 \cdot X_9 + 0,111 \cdot X_{14} \\ X_7 &= 0,999 \cdot X_6 - 0,999 \cdot X_8 - 0,999 \cdot X_9 \\ X_8 &= 0,58 \cdot X_6 - 0,473 \cdot X_7 - 605,569 \cdot X_{21} \\ X_9 &= 0,402 \cdot X_6 - 0,299 \cdot X_7 + 914,037 \cdot X_{21} - 21,051 \cdot X_{22} - 56,908 \cdot X_{23} \\ X_{10} &= 0,011 \cdot X_6 + 0,025 \cdot X_{12} + 0,014 \cdot X_{13} - 0,018 \cdot X_{15} \\ X_{11} &= 124,639 - 0,0017 \cdot X_8 - 0,237 \cdot X_{24} \\ X_{12} &= 0,012 \cdot X_2 - 0,491 \cdot X_7 - 0,468 \cdot X_8 - 0,439 \cdot X_9 + 34,752 \cdot X_{10} + 0,737 \cdot X_{15} + 265,20 \cdot X_{20} \\ X_{13} &= 0,005 \cdot X_2 + 10,101 \cdot X_{10} - 761,688 \\ X_{17} &= 1,005 \cdot X_{14} \\ X_{18} &= 0,013 \cdot X_2 - 0,33 \cdot X_9 + 1,049 \cdot X_{15} + 262,821 \cdot X_{21} - 498,368 \\ X_{19} &= 0,29 \cdot X_9 - 0,22 \cdot X_6 + 3,89 \cdot X_{10} + 25,52 \cdot X_{11} + 0,73 \cdot X_{14} - 0,41 \cdot X_{15} + 406,1 \cdot X_{20} + \\ &+ 19,89 \cdot X_{22} + 49,55 \cdot X_{23} - 3228,43 \\ X_{20} &= 3,138 + 0,0001 \cdot X_6 \\ X_{21} &= 0,0008 \cdot X_9 - 0,0006 \cdot X_6 + 0,02 \cdot X_{10} - 0,0005 \cdot X_{12} + 0,0003 \cdot X_{14} + 0,051 \cdot X_{22} + 0,115 \cdot X_{23} \\ X_{22} &= 35,319 - 0,0002 \cdot X_2 + 0,006 \cdot X_6 - 0,007 \cdot X_9 + 10,957 \cdot X_{21} - 2,585 \cdot X_{23} \\ X_{23} &= 12,306 + 0,002 \cdot X_6 - 0,002 \cdot X_9 - 0,0004 \cdot X_{14} + 2,192 \cdot X_{21} - 0,224 \cdot X_{22} \\ X_{24} &= 4529,37 - 0,031 \cdot X_6 + 0,08 \cdot X_7 - 28,504 \cdot X_{11} \\ X_{25} &= 12,335 - 0,001 \cdot X_{14} + 0,004 \cdot X_{15} + 0,639 \cdot X_{26} \\ X_{26} &= 0,35 \cdot X_{27} + 0,506 \cdot X_{25} - 0,003 \cdot X_{13} - 0,0009 \cdot X_8 \\ X_{27} &= 13,281 \cdot X_{21} + 6,425 \cdot X_{26} + 0,197 \cdot X_{28} \\ X_{28} &= 0,081 \cdot X_{12} + 14,517 \cdot X_{23} + 1,948 \cdot X_{27} - 139,294 \end{aligned}$$

При сравнении структур математических моделей S_1 и S_2 видно, что эти структуры имеют одинаковый набор показателей, кроме X_6 и X_{11} . Поэтому, для получения линейных математических моделей по структуре S_2 исключаем из перечня X_{11} (т. к. он является источником), а добавляем $X_6 = X_7 + X_8 + 0,999 \cdot X_9$. Модели для остальных показателей не меняются.

Полученные математические модели следует понимать так должны быть заданы наборы предикторных переменных M_1 (для первого варианта) или M_2 (для второго варианта), а

остальные находим по формулам, что завершает задачу математического моделирования.

Вопрос о предпочтении вариантов можно решить различными способами. Один из способов решения этого вопроса можно построить на основании двух характеристик структуры $\Pi_y(S)$ - число уравнений в структуре S и $\Pi_n(S)$ - число показателей, которые необходимо задать для определения остальных. Но так как в нашем случае рассматриваемые характеристики одинаковые, то для решения вопроса о предпочтении между вариантами были рассчитаны погрешности между фактическими и рас-

четными данными. Средние значения для двух вариантов сведены в табл. 4.

Таблица 4

	1	2		1	2		1	2
X3	0,0087		X12	0,0088		X23	0,0366	
X4	0,0441		X13	0,0346		X24	0,0071	
X6	-	0	X17	0,0052		X25	0,0098	
X7	0		X18	0,0055		X26	0,0093	
X8	0,0355		X19	0,0424		X27	0,0091	
X9	0,0255		X20	0,0804		X28	0,0127	
X10	0,0113		X21	0,0299				
X11	0,0208	-	X22	0,0212				

Анализ табл. 4 показывает, что предпочтение необходимо отдать второму варианту.

На основе табл. 4 также можно сделать вывод, что полученные математические модели позволяют прогнозировать значения показателей с точностью до 5 %, только X_{20} (оборот грузового вагона) превышает это значение и доходит до 8 %.

В заключении хотелось бы отметить, что предложенная методика моделирования, с использованием ориентированного графа локальных переменных, является более адекватной и позволяет формулировать задачи управления

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боровиков В. П. Популярное введение в программу STATISTICA. Источник Интернет, - 245 с.
2. Кочнев Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог. / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников. - М.: Транспорт, 1990. - 424 с.
3. Плохинский Н. А. Биометрия. - М.: МГУ, 1970. - 367 с.
4. Мухина Н. А. Структурное моделирование по экспериментальным данным // Дисс. на соиск. канд. физ.-мат. наук. - Д.: ДГУ, 1999.
5. Босов А. А. Підвищення ефективності роботи транспортної системи на основі структурного аналізу / А. А. Босов, Н. А. Мухіна, Б. П. Піх. - Д.: ДІПТ. - 200 с.

Поступила в редколлегию 27.09.2007.

RESEARCH ON POSSIBILITIES TO IMPROVE DIESEL LOCOMOTIVES' MAINTENANCE SYSTEM

Наведені принципи аналізу процесів зносу, а також складання функцій виробки функцій вузлів і агрегатів на основі статистичних даних. Описані види показників надійності та методів їх визначення по пробігу між суміжними відмовами. Наведений алгоритм визначення оптимального пробігу по параметричній і непараметричній надійності. Встановлено, що інтенсивність зносу агрегатів та вузлів тепловозів у великій мірі залежить від умов їх експлуатації і стану залізниці, від геометричних відхилень і нерівностей рейок. Застосування наведеної в статті методики дає можливість різко знизити витрати на технічне обслуговування і ремонт тепловозів, а також підвищити їх експлуатаційну надійність..

Приведены принципы анализа процессов изнашивания, а также составления функций выработки узлов и агрегатов на основе статистических данных. Описаны виды показателей надежности и методов их определения по пробегу между смежными отказами. Приведен алгоритм определения оптимального пробега по параметрической и непараметрической надежности. Установлено, что интенсивность изнашивания агрегатов и узлов тепловозов в большой степени зависит от условий их эксплуатации и состоянии железной дороги, от геометрических отклонений и неровностей рельсов... Применение изложенной в статье методики дает возможность резко снизить расходы на техническое обслуживание и ремонт тепловозов, а также повысить их эксплуатационную надежность.

The analysis of failures of the locomotive's units and parts is presented. The reliability indicators of these parts were determined according to the locomotive run. Numerical and distribution functions describing mileage (run) of the locomotives between overhauls were also defined. The dependence of the flow of failures on mileage distribution between overhauls was determined and the optimal mileage was calculated. Methods of determining mileage based on parametric and non-parametric reliability are presented. These methods help to reduce maintenance and repair costs as well as idle time of locomotives. They also help to increase reliability. The methods suggested in the paper were used in calculating optimal mileage (run) for the locomotives of the company 'Lithuanian Railways'.

The efficient use of traction rolling stock helps to increase the efficiency of transportation and save time, materials, financial resources, etc. Therefore, new ways and methods of increasing the efficiency of rolling stock maintenance and operation should be sought. It is well known that reliability is the main factor determining effective rolling stock operation. We know by experience that the effective use of locomotives is based on the system of scheduled repairs and preventive maintenance because timely repairs and maintenance can ensure reliable rolling stock operation

Now, the efficiency of rolling stock operation is usually assessed by average (mean) values. This method is well suited to our case because operating conditions of locomotives are similar all over the country. The main problem is to determine properly the distance run between overhauls which would help decrease the volume as well as labour input (man / hours) and costs of repairs. This is particularly important for a joint-stock company «Lietuvos geležinkeliai (Lithuanian railways)» because so far factory repairs of locomotives have been done abroad and their cost, but not quality, has been constantly growing [1, 2].

The present paper considers methods of increasing the efficiency of scheduled repairs and preventive maintenance in Vilnius locomotive depot by investigating the operation of diesel locomotives. A feasibility study aimed to provide sound grounds to repairs currently performed in the depot according to the specified distance run between overhauls was carried out.

Deterioration analysis

The control parameter of a deteriorating part is a continuous random variable. The law of its distribution can be described in terms of distribution density of the parameter [3, 4].

The distribution law is chosen taking into account the analysis of physical processes taking place when parts and units are aging or deteriorating. The serviceability of the parts is determined based on the control parameter chosen. The types of distribution commonly used to sufficiently accurately describe random variables and serviceability of technical devices include normal, exponential, logarithmic and Weibull distribution.

Theoretical and practical analysis [1, 2, 3, 4] shows that random variable of the control parameter

for the fixed run can be adequately described by normal distribution law.

If a random variable is affected by a large number of equally important random factors, then, the distribution of such variables complies with the normal distribution law.

The deterioration of the locomotive parts depends on many random factors, such as the material of which the part is made and its chemical composition; physical properties and quality of the manufactured part; strength characteristics, climatic conditions of the locomotive operation (e.g. temperature, atmospheric pressure, air humidity and dust content; loading modes and their rate, number of starting and braking operations); the time of maximum loading; contamination of rubbing surfaces with abrasive materials (e.g. sand sprinkled between the drive wheels and the rails); the condition of the railroad on which the loading on the locomotive and its intensity depend, and many other factors. It is hardly possible to determine which of the above factors is most important for the process of deterioration of the parts. Under particular conditions, these factors can have actually the same influence on the deterioration of the parts; therefore, the values of the control parameters follow the normal distribution law for the case of fixed mileage. The distribution density will be described as follows:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}; \quad (1)$$

where x is the control parameter variable; m_x is mathematical expectation of the control parameter; σ_x is mean square deviation of the control parameter.

The total number of control parameters obtained for the parts with a short operating period after repair can be adequately described by a part of the normal distribution law.

Calculation of the numerical characteristics and distribution functions of mileage between repairs

For predicting the service life or deterioration rate of the considered parts and units the analytical relationship between the numerical characteristics m_x and σ_x and mileage should be established. In general, this relationship may be considered as a non-linear function $y = (a_1, a_2, \dots, a_s, l_i)$ of one l_i argument including S parameters $a_1, a_2, \dots, a_s \dots$. This function can be approximated by the empirical regression presented in the form of the points (l_i, y_i)

$i = 1, 2, 3, \dots, n$. Here, y is assumed to be a parameter of the considered distribution law.

The analysis of the major distribution laws shows that the characteristics of normal, exponential and gamma distribution can be expressed by mathematical expectation of a random value and variance, which, in turn, are the parameters of the normal distribution law.

The parameters of the function y are calculated by the least square method, the conditions of which are expressed as:

$$Z(a_1, a_2, \dots, a_s) = \sum_{i=1}^n [f(a_1, a_2, \dots, a_s, l_i) - y_i]^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

The minimum value of the function can be determined by the method of gradients. The calculation is made by generating a recurrent sequence of values $a_{1k}, a_{2k}, \dots, a_{sk}$. This method allows the empirical data to be approximated by any type of relationship. The most suitable relationship criterion is the minimum of residual variance:

$$D_e = \frac{l}{n - S - l} \sum_{i=1}^n [y_i - f(a_1, a_2, \dots, a_s, l_i)]^2. \quad (3)$$

Suppose, that when approximating the empirical relationship $f_1(l)$ with S_1 parameters, the residual variance is equal to D_{01} . To check up the decrease of variance, while approximating empirical data of another relationship $f_2(l)$ expressed by S_2 parameters, the hypothesis $H_0: D_{01} = D_{02}$ is made. Testing of this hypothesis makes sense if $D_{01} > D_{02}$, and it is performed based on Fisher's criterion [3]:

$$\hat{F} = \frac{D_{01}}{D_{02}}. \quad (4)$$

The relationships describing the deteriorating parts $m_x(l)$ and $\sigma_x(l)$ are adequately approximated by linear functions. As shown by theoretical and practical studies [2, 3], the relationships describing the wearing of the parts usually follow the linearity law. Therefore, the values of the numerical characteristics $m_x(l)$ and $\sigma_x(l)$ are adequately approximated by linear functions:

$$y = ax + b. \quad (5)$$

In this case, the conditions of least square difference will be as follows:

$$\sum_{i=1}^n [y_i - (al_i + b)]^2 \rightarrow \min, \quad (6)$$

where $y_i = \begin{cases} m_x, & \text{when approximating } m(l), \\ \sigma_x, & \text{when approximating } \sigma(l). \end{cases}$

Linear function coefficient a , based on least square difference, will be expressed in the following way:

$$a = r_{yl} \frac{\sigma_y}{\sigma_l}; \quad (7)$$

where r_{yl} is correlation coefficient relating to random values y and l ; σ_y , σ_l is mean square deviation of y and l , respectively

$$\sigma_l = \sqrt{\frac{l}{N-l} \sum_{i=1}^N (l_i - m_l)^2}, \quad (8)$$

where $m_l = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N l_i$ is average mileage;

$m_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$ is mean value of y .

Regression equation coefficient b is as follows:

$$b = m_y - am_l. \quad (9)$$

The correlation coefficient σ_{yl} characterizes density of linear relationship between the random values y and l :

$$\sigma_{yl} = \frac{K_{yl}}{\sigma_y \sigma_l} = \frac{a_u(y_l) - m_y m_l}{\sigma_y \sigma_l}, \quad (10)$$

where $a_u(y_l) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N l_i b_i$ is the moment of the second product of the random values y and l .

Calculation of confidence values

To predict deterioration, the relationships $m(l)$ and $\sigma(l)$ are extrapolated to the area of great mileage (run), under the condition that the deterioration of the parts is within the limits of normal operation. This can be achieved by properly choosing the allowable deterioration degree of the part analysed.

Then, by substituting the mileage value l into the expressions (6, 8), we can calculate the numerical values of $m(l)$ and $\sigma(l)$ and to plot distribution density curves. When the mileage (run) l increases, the probability that the control parameter value will exceed the specified limit also increases.

This will be considered as the failure of the part due to deterioration.

Thus, when the mileage l increases, the probability of the part failure Q also increases, while probability of break-free operation of the part P decreases correspondingly.

The mileage (run), at which the probability of break-free operation of the part is equal to the fixed value $\gamma = (1-Q) \cdot 100\%$, is referred to as gamma-percentage mileage (run) between repairs.

The value of the distribution function, when the mileage function value l is fixed, will be obtained in the following way:

$$F(l) = \int_{x_{nom}}^{x_{lei}} f(x) dx, \quad (11)$$

where x_{nom} is the nominal value of the control parameter.

When the control parameter (e.g. wheelset deterioration) value is constantly increasing under the normal distribution law, breakage probability for a particular mileage l can be calculated in the following way:

$$F(l) = \frac{1}{\sigma_x(l)\sqrt{2\pi}} \times \int_{x_{lei}}^{m_x + 3\sigma_x} \exp\left\{-\frac{[x - m_x(l)]^2}{2\sigma_x^2(l)}\right\} dx. \quad (12)$$

If the control parameter value decreases when l is increased (e.g. wheelset thickness), the probability of failure is determined as follows:

$$F(l) = \frac{1}{\sigma_x(l)\sqrt{2\pi}} \times \int_{m_x - 3\sigma_x}^{x_{lei}} \exp\left\{-\frac{[x - m_x(l)]^2}{2\sigma_x^2(l)}\right\} dx. \quad (13)$$

The integral of the formulas (12) and (13) cannot be expressed by elementary functions, therefore it is determined by numerical methods. Given the function of mileage distribution of a deteriorating part, distribution density is found as the first derivative of the function:

$$f(z)F'(l). \quad (14)$$

Statistical density distribution is described by the relationship:

$$f^*(l) = \frac{F(L_{i+1}) - F(L_i)}{\Delta L}. \quad (15)$$

The main parameters of the repaired unit (part) reliability are interrelated by the integral equation as follows:

$$w(l) = f(l) + \int_0^l w(\tau) f(l - \tau) d\tau. \quad (16)$$

Under the law of random value normal distribution, the analytical solution of the above integral equation is possible:

$$w(l) = \sum_{i=1}^{\infty} \left[\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi \cdot i}} \right] \exp \left[-\frac{(l - im)^2}{2\sigma^2 i} \right], \quad (17)$$

where m and σ are mathematical expectation and mean square deviation (mileage before failure) of the random value, respectively; l is mileage; i is the number of failures (from the beginning of observation).

Determining reliability indicators (criteria) based on the distance run between failures

The control parameters' values of the locomotive units and parts allowing us to determine and predict their performance cannot be measured. However, the interval between scheduled repairs should be determined for these units. This interval should be such that, if exceeded, the intensity of failures will considerably increase.

The solution of these problems based on the failure flow variation would allow us to predict the increase of failure rate with the growth of the locomotive mileage and to make a decision about the need for a scheduled repair.

Applying the system of scheduled-preventive maintenance and repairs actually means longevity (durability) test of the parts and units (N , M and L) of a locomotive, when the parts of a particular type N are observed (tested) for a particular period (mileage) L . The obtained mileage in the period between overhauls L_i is a random value because it can deviate from the specified value by $\pm 10\%$. When the mileage increases, the locomotive (or its unit) sent for a scheduled repair will not be observed in operation from the beginning of observation. Thus, the number of the locomotives $N(t)$ selected for testing (observation) is the mileage function, while their testing plan will be as follows:

$$[N, M, L_1, L_2, L_3, \dots, L_i, \dots, L_N].$$

Suppose, the i -th item of the part M_i will fail in the observation period L_i , when the mileage is $l_{1i}, l_{2i}, \dots, l_{mi}$ respectively.

Given the information about the failures during the operation, an empirical function can be generated in the absence of data on the applicable law of failure distribution and its numerical characteristics.

The distribution is calculated by using a reconditioning function:

$$\hat{F}(l) = \left[\sum_{i=1}^{N(l)} \frac{n_{i,l}(L_i)}{m_i, L_i} \right] / N(l); \quad (18)$$

where $n_{i,l}(L_i)$ is the number of the i -th item reconditioning (repairs) of the observed part at the mileage L_i ;

$i = 1, 2, 3, \dots, N(l)$; m_i, L_i denote the total reconditioning (repairs) number of the i -th item in the period L_i .

Parts and units can work without failure over the whole observation period. In this case, $n_{i,l}(L_i)/m_i, L_i = 0$. By differentiating the empirical distribution function, distribution density functions in the period between failures are calculated:

$$\hat{f}(l) = \frac{\hat{F}(l + \Delta l) - \hat{F}(l)}{\Delta l}. \quad (19)$$

The parameter of the flow of failures $w(l)$ is related to the mileage (run) density distribution between failures $f(l)$ by the integral equation (16).

The analysis of this process shows that the information about the mileage of the unit operation between failures is discontinued on the left side and broken several times on the right side. On the left-hand side, it can be accounted for by the lack of information about the unit failure in the time from the beginning of its consideration to the beginning of its observation. On the right-hand side, the reason is a scheduled repair of the locomotive or writing it off (then, the observation is discontinued). Therefore, reconditioning of each item over a short observation period will not be expressed completely, but rather its particular part will be shown because, at the beginning of the considered period, units (parts) will have different service life (run). By superimposing their reconditioning processes one over another, we will get a generalized reconditioning process characterizing the whole observation period between scheduled repairs.

If the park of locomotives in operation is rather large (> 100 items.), a representative sample for determining their reliability and, consequently, reliable indicator of their failure-free operation can be obtained over short observation periods. This may be achieved based on the parameter of the failure flow, calculated by grouping the data on

mileage between failures:

$$\hat{w}(l) = \frac{\Delta m}{\sum_{i=1}^{N(l)} \Delta l_i}, \quad (20)$$

where Δm is the number of mechanism failures in the interval Δl ;

$N(l)$ – number of the observed aggregates in the interval Δl ;

Δl_i – the i -th aggregate mileage in the interval Δl ($\Delta l_i \leq \Delta l$).

To determine the number of unit failures in the total mileage grouping intervals, the data on reconditioning of the same type of units (parts) should be provided in terms of run in the considered period between overhauls.

For this purpose, the previous repair moments, which are the starting points of counting the mileage of a particular unit, are conjugated. When the information is provided in this form and the time between overhauls is divided into the intervals, the total mileage of a unit and its failures in every interval are determined. This, in turn, allows us to calculate and draw the failure flow parameter diagram. At the same time, grouping of data may considerably decrease the reliability of the obtained indicators compared to those obtained for directly calculated distribution functions of the mileage before failure. The shift of the values of the failure-free operation indicators will be much greater, when the amount of statistical data is small, and this is typical of highly reliable units.

The empirical failure function can be calculated based on the data collected over short periods of observing the operation of the unit, when the labour input (mileage) at a particular moment of time is different for different units (locomotives) from the beginning of the period analysed:

$$\hat{F}(l) = \left[\sum_{i=1}^{N(l)} \frac{n_{i,l}(L_i)}{m_{i,l}} \right] / N(l), \quad (21)$$

where L_i is period of collecting the information about the mileage until the i -th unit failure.

$$L_i = \begin{cases} L_i - l_{pri} & \text{when } l_{pri} > 0; l_{pi} = L_i; \\ l_{pi} & \text{when } l_{pri} = 0; l_{pi} \leq L_i; \\ l_{pi} - l_{pri} & \text{when } l_{pri} > 0; l_{pi} < L_i \end{cases}$$

l_{pri} is labour input (mileage) at the beginning of observation;

l_{pi} is labour input (mileage) at the end of ob-

servation.

By classifying the data in this way, the information about unit reliability is most effectively used for calculating the distribution function because the data are not grouped. The data on failures obtained in long-term observation may be used for analysing reliability indicators over long operation periods.

By solving the integral equation, the dependence on the parameter of flow of failures may be calculated based on empirical distribution functions. The parameter of flow of failures can also be calculated by grouping the failures in the mileage intervals, e.g. $\Delta l = 50.000$ km. The parameters of flow of failures calculated in two ways show satisfactory agreement [2].

6. Calculating the optimal mileage between repairs

To avoid the locomotive failures due to deterioration of its parts, a system of scheduled-preventive repairs is used. According to it, parts and units should be either reconditioned or replaced if operational parameters approach the admissible limiting values. A scheduled repair should be performed when the mileage L is such that the number of failures expressed by the increase of the failure flow parameter m_1 will be larger than the number of failures m_2 in running in over the same period.

To optimize the mileage between repairs as an efficiency function, the parameter of flow of failures as a function of failure-free operation indicator can be used:

$$g(l) = \frac{1}{L} \left[C_n \int_0^L w(l) dl + C_p \right]. \quad (22)$$

Optimal mileage between repairs largely depends on the relationship between the costs of scheduled (C_p) and unscheduled (C_n) repairs. The costs of scheduled repairs (C_p) consist of the costs of materials or spare parts (C_1) as well as the costs of labour (C_2) and losses due to the locomotive idle time (C_3):

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3. \quad (23)$$

The costs of unscheduled repairs, beside the above costs (C_1, C_2, C_3), also include losses C_4 , caused by the locomotive failure on the route, i.e.:

$$C_n = C_1 + C_2 + C_3 + C_4. \quad (24)$$

Then, $C_n \geq C_p$, Moreover, $C_n = C_p$ only for the

elements which, when broken, do not cause the delay of the locomotive on the route.

As far as we know, there are no accurate methods of calculating losses brought about by stopping the train now if the locomotive failed between stations. If such methods could be found, they could not properly assess the losses caused by failure C_4 .

However, by using the relative values of C_n and C_p , we can determine the mileage between the scheduled repairs L , to which minimum total costs $g(L_0)$, i.e. optimal mileage between repairs correspond.

Let us note that:

$$K = C_n / C_p. \quad (25)$$

Since $C_n \geq C_p$, then $K \geq 1$.

By expressing C_n as K and C_p and substituting (22), we will get:

$$g(L) = C_p \left[K \int_0^L w(l) dl + l \right] / L. \quad (26)$$

According to physical meaning, the numerator of the fraction (26) represents the total costs of scheduled and unscheduled repairs. Therefore, the expression in brackets is the total number of the repairs compared, i.e. the value of sets the total number of unscheduled repairs $\int_0^L w(l) dl$ equal to the number of scheduled repairs equivalent to it costs $K \int_0^L w(l) dl$.

The relationship

$$S(L) = \left[K \int_0^L w(l) dl + l \right] / L \quad (27)$$

is the total relative number of repairs calculated for the unit mileage.

7. Determining the mileage based on parametric and non-parametric reliability

The repair of some units and parts of locomotives should be performed because the limiting value of the control parameter is reached in the aging element or for other reasons unconnected with the process of deterioration. For example, wheelset tyres can be changed because of deterioration or if the fit of wheelset tyre has become not so tight or firm as it should be.

It is evident that determining the intervals between repairs for the parts which may have failures of m types, requiring the same operations for their reconditioning or repair, all the failures should be taken into consideration. The probability of failure-free operation of the unit (part) in this case is determined as the probability of a complicated event, implying that none of m type failures will take place in the considered period of the run:

$$P_{\Sigma}(l) = \prod_{i=1}^m P_i(l), \quad (28)$$

where $P_i(l)$ is probability that i -th type failure will not take place during the run l (probability of i -th type failure-free operation);

m is the number of failures, requiring the same repair or reconditioning operations.

The analysis of the data on the locomotive wheelset tyre mileage before failure shows that, when the mileage increases after ER-3 (KR), the value of failure flow parameter also increases because of the wheelset tyre loosening. It means that with the deterioration of the wheelset tyre the number of non-parametric failures also increases. In the case of wheelset tyres, it can be explained by a decrease in their thickness and mass due to deterioration, leading to heating up of wheelset tyres in braking, which facilitates slippage and, therefore, increases the rate of non-parametric failures.

Thus, locomotives can experience two types of failures in operation:

1) parametric failures, caused by deterioration of the locomotive parts, when the control parameters exceed the specified limits;

2) non-parametric failures, including loosening of the fix, breaking, etc. These failures cannot be avoided in operating conditions, but their rate depends on the deterioration level of a part or unit.

The above failures have some common features as follows: each part (or unit) has a control parameter which is randomly changing in operating conditions and is a function of labour input (mileage). When the parameter varies within the specified limits, no parametric failure occurs. However, the increase (or decrease) of the parameter increases the probability of non-parametric failure occurrence. Failure is characterized by a sudden change in the condition of a part or unit. In this case, probability of failure-free operation may be expressed in the following way:

$$P_{\Sigma}(l) = P_p(l) \cdot F_n(l), \quad (29)$$

where $P_p(l) = 1 - F_p(l)$ is probability to avoid gradual failure of the part during the run (labour input);

$F_n(l)$ is distribution function of mileage (run);

$P_n(l) = 1 - F_n(l)$ is probability to avoid non-parametric failure during the run (labour input);

$F_n(l)$ is distribution function of labour input (run) until failure occurs.

Based on the total probability of failure-free operation, distribution function $P_\Sigma(l)$ of mileage between failures is determined, taking into account parametric and non-parametric reliability of a unit (part). Then, in the course of numerical differentiation (15) with respect to $F_\Sigma(l)$, the respective density function $f_\Sigma(l)$ is calculated. By solving the integral equation (16) from $f_\Sigma(l)$, the dependence of flow of failures on labour input (run) $w_\Sigma(l)$, which enters the efficiency function (26), is determined.

The admissible deterioration level of a part depends on the quality of repair and operating conditions. For example, the admissible deterioration level of wheelset tyres should be such that they could be replaced when the mileage (run) allows for slightly higher probability of parametric rather than non-parametric failures, or the probability of both is the same.

The methods described in the present paper were used for developing a rational mileage structure for Lithuanian Railways locomotives' operation between overhauls, taking into account their operational conditions. Based on the current flows of failures and run between overhauls, optimal maintenance and repair volume at minimal cost was determined.

8. Conclusions

1. Deterioration rate of locomotives largely depends on operating conditions.

2. The appropriate classification and processing of the data obtained in the period of Diesel locomotive operation allows to get the reliable criteria of failure-free operation, to assess the effectiveness of measures aimed at achieving higher reliability and to determine optimal time of scheduled-preventive repairs and locomotives mileage.

3. Solving the problem of optimizing mileage between overhauls, the repair costs of parts and units of Diesel locomotives should be determined.

4. To obtain more precise and reliable results, further research should be made according to a complex programme, providing for investigation of intensity of locomotive deterioration as well as geometric railway bed parameters.

BIBLIOGRAPHY

1. Cantos Pedro Efficiency Measures and Output Specification: The Case of European Railways / Pedro Cantos, Jose M. Pastor, Lorenzo Serrano // Journal of Transport and Statistics, December 2000, V. 3, Nr. 3. ISSN 1094-8848. Washington, – P. 61-68.
2. Локомотивы и локомотивное хозяйство. Ремонт локомотивов. Обзорная информация. Вып. 2. – М.: Транспорт, 1997. – 45 с.
3. Галкин В. Г. Надежность тягового подвижного состава / В. Г. Галкин, В. П. Парамзин, В. А. Четвергов. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.
4. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: Транспорт, 1965. – 367 с.

Поступила в редакцию 26.09.2007.

І. Є. БАТЮШИН (Укрзалізниця),
О. М. БОНДАРЄВ, В. Л. ГОРОБЕЦЬ, О. М. ЗАБОЛОТНИЙ, Д. О. ЯГОДА (ДІТ)

ПОКАЗНИКИ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОВОЗА ЧС4 ТА МІЦНОСТІ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ РАМ ВІЗКІВ ВИРОБНИЦТВА ХК «ЛУГАНСЬКТЕПЛОВОЗ»

В статті наведено результати динамічних ходових міцносних випробувань електровозу ЧС4 з візками виробництва ХК «Луганськтепловоз». На підставі отриманих результатів випробувань зроблено висновки про відповідність електровоза нормативним показникам при його експлуатації у складі пасажирських поїздів зі швидкостями до 140 км/год. включно.

В статье приведены результаты динамических ходовых прочностных испытаний электровоза ЧС-4 с рамами тележек производства ХК «Лугансктепловоз». Полученные результаты испытаний показали, что модернизированный электровоз соответствует Нормативным показателям.

Article is devoted to the results of dynamic tests, tests on the line and tests for durability of electric locomotive CS4 with bogies frames produced by HK «Luganskteplovovoz». The received results of tests have shown, that the modernized electric locomotive corresponds to Normative parameters.

Для забезпечення пасажирських перевезень на залізницях України дуже гострою виявилися проблема оновлення парку пасажирських локомотивів, а також проведення капітально відновлювальних ремонтів з продовженням строку служби тих локомотивів, термін експлуатації яких вичерпано.

Для подолання вказаної проблеми Головне управління локомотивного господарства налагодило виробництво на підприємстві «ХК Луганськтепловоз» дослідної партії рам візків для електровозів ЧС4, які проходять модернізацію на ЗЕРЗ із заміною рам візків, кабін і боковин кузова.

Загальний вигляд електровоза, який пройшов вказану модернізацію наведено на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд електровоза ЧС-4 модернізованого ЗЕРЗ

З метою визначення придатності [2, 3] до експлуатації рам візків електровозів ЧС4, виробництва «ХК Луганськтепловоз» були проведе-

ні динамічні ходові випробування із визначенням показників динамічної міцності несучих конструкцій рам візків електровозу ЧС-4 зав. № 191, який побудовано 16.11.1970 р. Загальний пробіг цього електровозу від побудови до останнього КР2, що було проведено на ЗЕРЗ 30.06.05, складав 6140418 км.

Випробування проводилися на основних напрямках експлуатації вказаного електровоза Південно-Західної залізниці: Київ–Козятин–Шепетівка–Здолбунів; Київ–Бориспіль–Баришівка; Київ–Миронівна–Шевченко–Знам'янка–П'ятихатки-стикова. Під час проведення випробувань дослідні поїздки були здійснені: зчепом, який складався з дослідного електровозу ЧС-4 191, вагона – лабораторії ДІТа, та допоміжних електровозів ЧС-4, або ЧС 8; у складі поїзда № 40 Київ–Севастополь. У складі швидкого пасажирського поїзда № 40 Київ–Севастополь дослідна поїздка виконувалася дослідним електровозом ЧС4 зав. № 191, до якого був причеплений вагон – лабораторія ДІТа.

Під час проведених випробувань були зареєстровані величини, за якими визначалися коефіцієнти вертикальної та горизонтальної динаміки, визначено коефіцієнт запасу стійкості від сходження колеса колісної пари з рейки і показники міцності основних несучих конструкцій рами візка.

Переважною на вказаних дільницях була швидкість 100...120 км/год. На деяких дільницях допустимою була швидкість до 140 км/год. На дільниці Бориспіль–Баришівка за спеціальним наказом Начальника залізниці швидкість

руху допускається до 180 км/год.

При проведенні динамічних ходових та динамічних міцносних випробувань вимірювалися: переміщення за допомогою реохордних датчиків; за спеціальною схемою з'єднання тензорезисторів – горизонтальні поперечні рамні сили. По виміряним: переміщенням визначалися динамічні добавки вертикальних сил, які виникають у першому та другому ступенях підвішування; по відповідному з'єднанню тензорезисторів – горизонтальні поперечні рамні сили. За визначеними динамічними добавками вертикальних сил визначалися коефіцієнти динаміки, а за динамічними добавками сил, що виникають у першому ступені підвішування та за горизонтальними поперечними рамними силами визначався коефіцієнт запасу стійкості від сходу колеса з рейки. За виміряними величинами деформацій по тензорезисторах визначалися напруження у основних елементах несучих конструкцій рами візку. За визначеними горизонтальними поперечними переміщеннями колісних пар відносно рами візку оцінювалось розташування колісних пар та рами візку при русі на різних ділянках колії, а також горизонтальні поперечні сили, які діють на рейки.

Для визначення: динамічних складових вертикальних сил у першому та у другому ступенях підвішування першого за напрямком руху візку у буксових вузлах встановлені реохордні датчики $R11, R12, R21, R22, R31, R32, R41$; вилання та поперечного відносу першого візку відносно кузова електровоза у місці розташування першої та третьої колісних пар встановлено реохордні датчики переміщень $U1, U2$;

горизонтальних поперечних рамних сил на бічних поверхнях повздовжніх балок рам візків на рівні нейтрального шару в перерізах, розташованих навколо двох центральних поперечних балок, з двох сторін встановлено чотири тензорезистори, які попарно з'єднувалися між собою і далі за відліками вольтметра визначалися горизонтальні поперечні рамні сили $H1$ та $H3$.

Для визначення горизонтальних поперечних переміщень колісних пар відносно рам візків між рамою першого візка та буксовими вузлами колісних пар встановлено три датчики малих переміщень $HR1, HR2, HR3$.

Для визначення напружень на повздовжніх бічних балках на нижніх листах встановлено 26 тензорезисторів (ці тензорезистори позначалися таким чином: (1-13)ХП – права за напрямком руху повздовжня бічна балка; (1-13)ХЛ – ліва за напрямком руху повздовжня бічна балка), а на бічних листах цих балок – дві прямокутні

розетки деформацій $P1$ та $P2$, що складаються з трьох тензорезисторів кожна ($P1X, P1Z, P1\alpha$ та $P2X, P2Z, P2\alpha$).

З метою визначення можливих причин, які приводили в інших електровозах до появи тріщин на фіксуючому кронштейні редуктора, який розташовано на задній поперечній балці встановлена розетка деформацій $P3$ ($P3X, P3Z, P3\alpha$).

Для визначення сили тяги локомотива у вагон – лабораторії встановлено динамометричний автозчепний пристрій, за показаннями якого встановлювалися значення сили взаємодії Sa між дослідним електровозом і вагоном – лабораторією та іншими одиницями дослідних зчепів, або вагонів поїзду.

Схеми та місця установки вимірювальних пристроїв наведено на рис. 2-4.

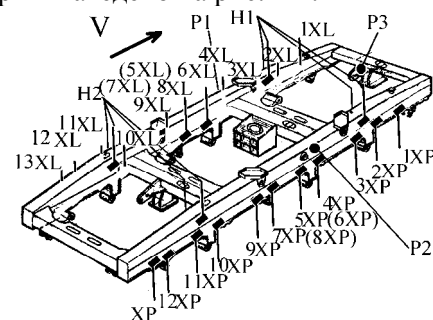


Рис. 2. Розташування датчиків для вимірювання напружень на рамі візку

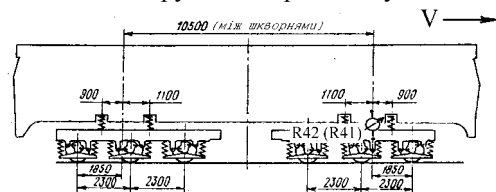


Рис. 3 Розташування датчиків для вимірювання динамічних складових переміщень та зусиль у другому ступені підвішування

Таким чином, при проведенні динамічних ходових випробувань реєструвалося 54 процеси.

Значення жорсткостей першого та другого ступенів підвішування визначалися експериментально і мають наступні значення. Вертикальна жорсткість першого ступеня складає 1,47 кН/мм. на один буксовий вузол, а другого ступеня підвішування – 4 кН/мм. на один бік візку.

Повідкова група дозволяє пружні переміщення осі колісної пари з жорсткістю у поперечному горизонтальному напрямку 4,5-8 кН/мм., у повздовжньому напрямку з жорсткістю 70 кН/мм., у вертикальному – 0,55 кН/мм. При цьому вертикальна жорсткість пружини буксового підвішування 0,46 кН/мм.

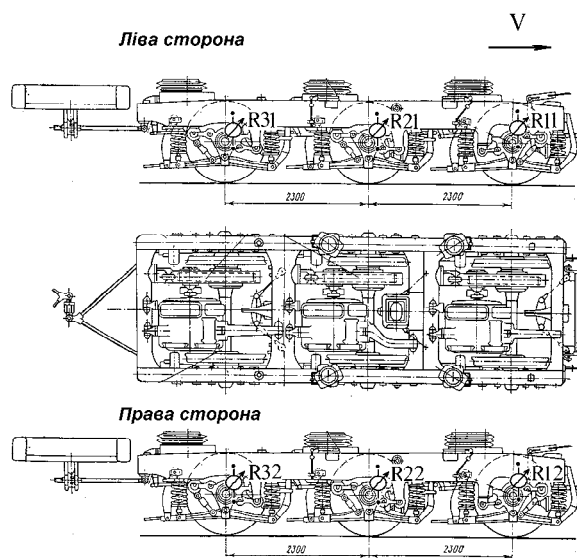


Рис. 4. Розташування реохордних датчиків на рамі візку для вимірювання динамічних складових вертикальних переміщень та відповідних динамічних складових вертикальних зусиль у першому ступені підвішування

На початку випробувань було проведено поосьове зважування дослідного електровозу ЧС-4 зав. № 191 та допоміжного електровозу ЧС-4, якій не проходив КВР, за допомогою зважувальної установи, що розташована на вхідній горловині станції Здолбунів (терези «Пульсар ВТВ-25 ДР №2»).

Ці дані наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Результати зважування електровоза ЧС4 191

Електровоз ЧС4 191			
№ колісної пари	Навантаження на колісну пару, кН	Навантаження від візку, кН	Вага електровозу, кН
1	208,5	629,5	1270,5
2	212,5		
3	208,5		
4	219	641	
5	218		
6	204		

З табл. 1 маємо, що середнє навантаження на колісну пару складає 211, 75 кН. По першій колісній парі навантаження відрізняється від середнього значення на 1,5 %, по четвертій і п'ятій колісним парам – на 3,4 % і по шостій колісній парі – на 3,7 %.

Нижче у таблиці 2 наведено результати зважування електровозів ЧС-4, які проводилися на ст. Здолбунів у 2003 році. Електровоз ЧС-4 зав. № 206 не проходив КВР, а електровоз ЧС-4

зав. № 082 пройшов таку ж модернізацію, що і електровоз ЧС4 зав. № 191, але ж в той час при модернізації встановлювалися рами візків, які виготовлені на підприємстві заводу-виробника «Шкода ТТ».

Таблиця 2

Результати зважування дослідних електровозів ЧС4, яка проводилася у 2003 році

№ колісної пари	Навантаження на колісну пару, кН		
	Перше зважування	Друге зважування	Середнє значення
Електровоз ЧС4 206			
1	208	217	215
2	219	217	218,5
3	200	200,5	200,3
4	194	193,5	193,8
5	234	233	233,5
6	209	181	195
Електровоз ЧС4 082			
1	221	210,5	215,8
2	215	216,5	215,8
3	219,5	219,5	219,5
4	212	212,5	212,2
5	224,5	223	223,8
6	212	210	211

З наведених таблиць слідує, що вага базового електровозу дорівнює 1256,1 кН. В цьому році, під час зважування модернізованого електровоза ЧС-4, також було проведено зважування базового електровоза ЧС-4 і його вага склала 1249 кН. Вага модернізованого електровоза ЧС-4 082 складає 1298,1 кН. Внаслідок проведених модернізацій у середньому вага електровоза ЧС-4 зростає приблизно на 3,17 Тс.

Для визначення коефіцієнтів динаміки, необхідна інформація про статичні навантаження, що створюються у відповідних пружинних комплексах. Величини статичного навантаження мають такі значення: вага електровозу ЧС-4 зав. № 191 складає 1270,5 кН, вага візків – 570,8 кН, вага кузова – 699,7 кН. Таким чином, статичне навантаження, яке припадає на кожний буксовий вузол, визначимо як різницю між загальною вагою електровоза та підсумковою вагою, що складається з ваги шістьох колісних пар з буксовими вузлами, ваги шістьох тягових редукторів, поділеною на дванадцять буксових вузлів і складає 75,14 кН. Величина статичного навантаження, яка приходить на одну сторону кожного візка від ваги кузова дорівнює 174,9 кН. При визначенні коефіцієнта горизонтальної динаміки величину статичного навантаження приймаємо на рівні 150, 28 кН.

Перед проведенням динамічних ходових випробувань в локомотивному депо Київ-пас.

були проведені дослід з під'йомок кузова електровоза ЧС-4 зав. № 191. На підставі вимірювань за допомогою тензорезисторів деформацій, а потім за визначеними статичними складовими напружень, на підставі статистичної обробки, були отримані середні значення напружень та їх середньоквадратичні відхилення. Ці величини наведено у табл. 3 та 4.

Таблиця 3

Значення статичних складових напружень у повздовжніх балках рами першого візку

Напруження	1ХЛ 1ХП	2ХЛ 2ХП	3ХЛ 3ХП	4ХЛ 4ХП	5ХЛ 5ХП	6ХЛ 6ХП	7ХЛ 7ХП
σ , МПа	15,9 15,9	18,8 21,1	19,6 16,4	17,6 22,6	31 23,9	38,3 29	41,6 29
S_{σ} , МПа	0,55 0,73	0,47 1,05	0,51 1,55	0,7 1,15	1,08 1,17	1,38 1,45	1,9 1,92
Напруження	8ХЛ 8ХП	9ХЛ 9ХП	10ХЛ 10ХП	11ХЛ 11ХП	12ХЛ 12ХП	13ХЛ 13ХП	
σ , МПа	28,6 29	38,5 39	15,2 15,4	17,9 11,8	9,8 6,2	2,5 1,2	
S_{σ} , МПа	1,6 1,6	1,59 2,42	0,75 1,94	0,75 2,5	0,49 3,34	0,25 0,59	

У табл. 3 наведено значення середніх напружень та середньоквадратичних відхилень від відповідних середніх, які виникають на нижніх листах лівої (у верхньому рядку) та правої (у нижньому рядку) повздовжніх балок рами візку у перерізах навколо кронштейнів кріплення буксових повідків колісних пар. У табл. 4 наведені значення середніх напружень та середньоквадратичних відхилень від відповідних середніх, які виникають на бічних стінках повздовжніх балок рами візку в зоні розташування першого кронштейну середньої колісної пари (розетки деформацій $P1$ та $P2$), на кронштейні фіксації тягового редуктора на випадок обриву тяги його закріплення до рами візка (розетка деформацій $P3$).

На рис. 5 і далі по тексту звіту введено скорочені індекси для відзначення характеру ділянок, на яких проводилося вимірювання відповідних величин під час руху дослідного електровозу. Скороченими індексами позначено: S_a – зусилля у автозчепному пристрої; пр – пряма ділянка колії; лс – ліві криви середніх радіусів; лв – ліві криви великих радіусів; пс – праві криви середніх радіусів; пв – праві криви великих радіусів; ст – стрілочні переводи. З даного рисунку слідує, що найбільші значення розтягуючих та стискаючих повздовжніх сил, якими навантажується електровоз при рухові у складі поїзда, досягали 200 кН.

Таблиця 4

Значення статичних складових напружень у повздовжніх балках рами першого візку

Напруження та їх середньоквадратичні відхилення	Позначення тензорезисторів				
	P1X	P1 α	P1Z	P2X	P2 α
σ , МПа	16,9	0,7	11,8	17,6	4,5
S_{σ} , МПа	0,51	0,25	0,34	1	0,28
	P2Z	P3X	P3 α	P3Z	kr
σ , МПа	7,4	0,3	0,1	0,02	6
S_{σ} , МПа	0,47	0,13	0,09	0,04	0,74

З аналізу наведених у табл. 3 та 4 результатів слідує, що найбільш навантаженими від ваги кузова оказались точки 5Х...9Х, які розташовані навколо кронштейнів середньої колісної пари. За даними розеток деформацій $P1$ та $P2$ найбільші напруження спостерігаються у повздовжньому та у вертикальному напрямках. Величини напружень, наведених у таблицях та відповідні динамічні складові напруження разом далі використовувалися при оцінці коефіцієнтів запасу міцності.

Під час здійснення дослідних поїздок велася безперервна реєстрація значень зусиль, які виникали у динамометричному автозчепному пристрої. Після проведення відповідної обробки було визначено найбільші значення цих зусиль в залежності від швидкості руху. Ці результати наведено на рис. 5.

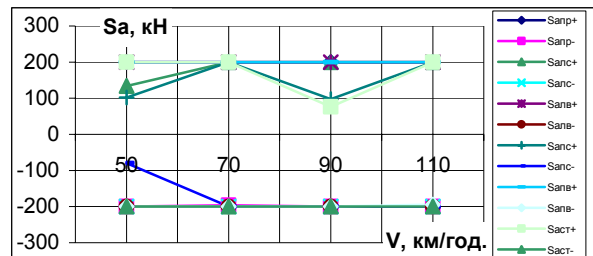


Рис. 5. Найбільші значення стискаючих та розтягуючих зусиль, які створювалися у автозчепному пристрої електровоза під час його руху у складі поїзда

На рис. 6 наведено: процеси змінювання напружень (сім перших зверху процесів); процеси взаємних переміщень кузова та рами першого за напрямком руху візка (восьмий та дев'ятий процеси); останній процес – змінювання швидкості руху. З цих рисунків слідує, що при швидкості руху вище 120 км/год. починають збуджуватися автоколивання. Більш того, при швидкості руху 159 км/год. відключилися тяга електровозу, що привело до появи ударного на-

вантаження. На таке ударне навантаження від-
реагували датчики вимірювання напружень, які
встановлено на кронштейні фіксації корпуса
тягового редуктора на випадок

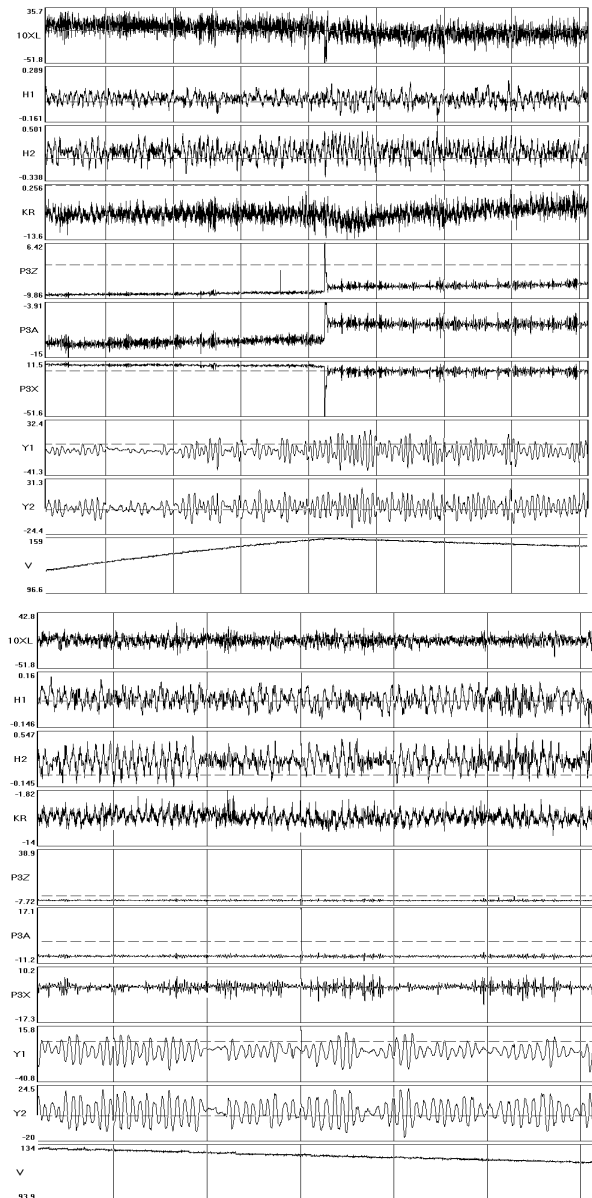
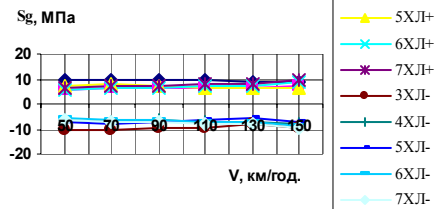


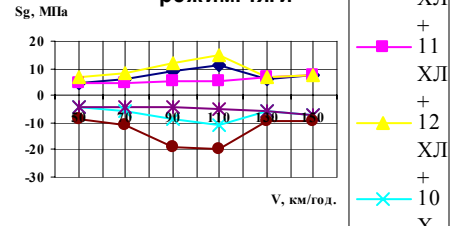
Рис. 6. Процеси при поїзді окремим зчепом,
де було досягнуто швидкість руху 159 км/год

обриву тяги закріплення корпуса тягового ре-
дуктора до рами візка. Це може і бути причи-
ною, яка приводить до появи тріщин у місці
приварення цих кронштейнів до рами візка.
На рис. 7-21 наведено залежності від швидкості
руху на різних ділянках колії динамічних
складових напружень, що виникають в несучих
конструкціях рам візків.

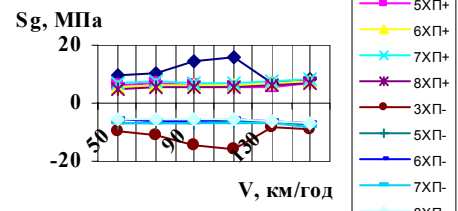
Найбільші значення динамічних
складових напружень на лівій
балці при русі в прямих в
режимі тяги



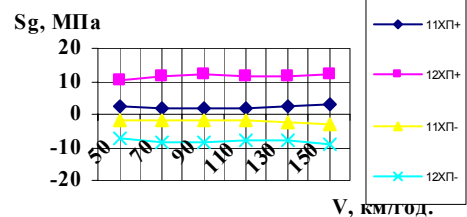
Найбільші значення динамічних
складових напружень на лівій
балці при русі в прямих в
режимі тяги



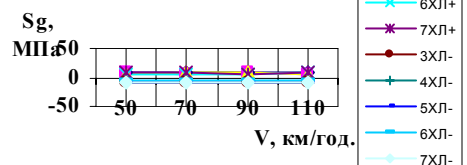
Найбільші значення динамічних
складових напружень на правій
балці при русі в прямих в режимі
тяги



Найбільші значення динамічних
складових напружень на правій
балці при русі в прямих в режимі
тяги



Найбільші значення динамічних
складових напружень на лівій
балці при русі в правих
кривих середніх радіусів в
режимі тяги



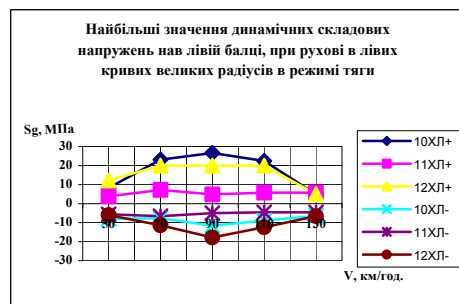
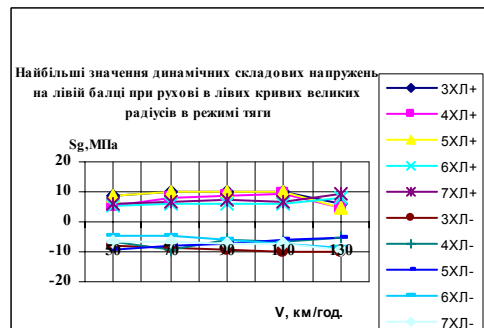
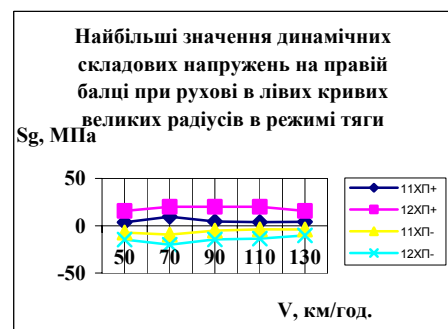
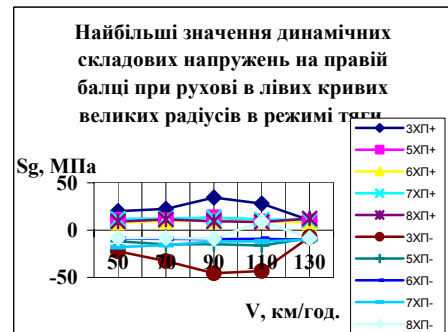
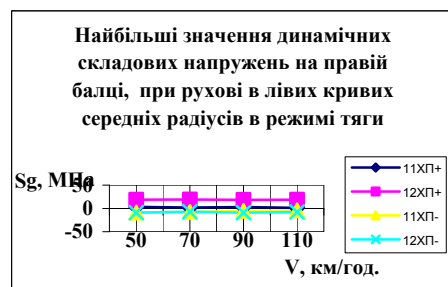
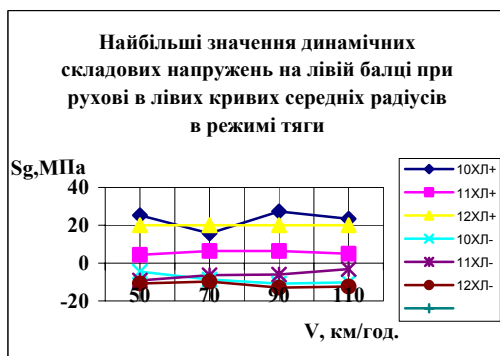
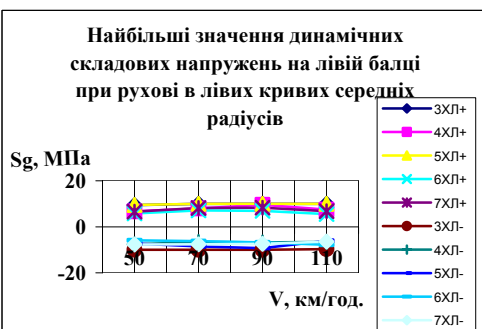
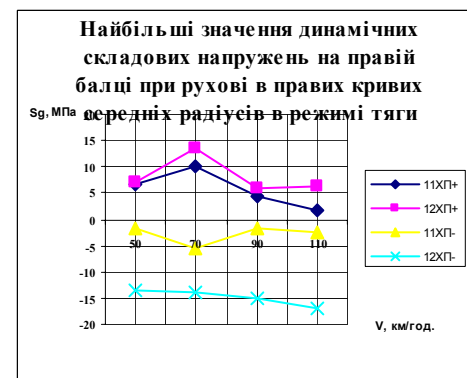
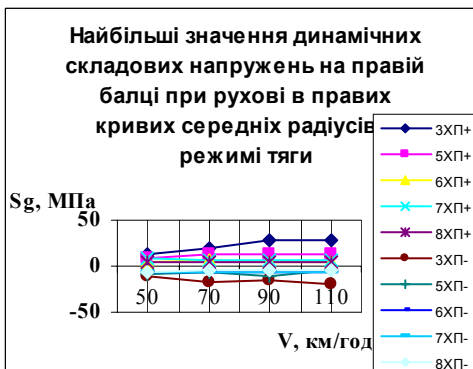
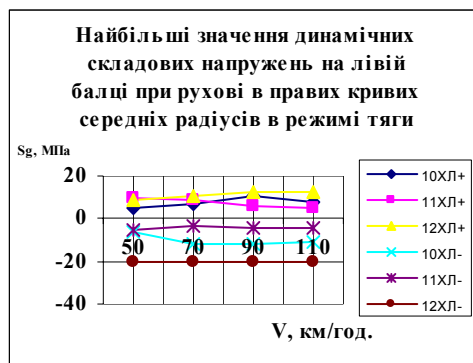


Рис. 7-21. Найбільші значення динамічних складових напружень у характерних точках повздовжніх балок рами першого за напрямком руху візку, які були виміряні з імовірністю 0,95 при рухові як окремим зчепом так і в складі пасажирського поїзду № 40 Київ–Севастополь

З наведених рисунків слідує, що найбільші значення динамічних складових напружень не перевищують 35 МПа. Найбільш чутливими точками до дії вертикального динамічного навантаження оказались точки 3ХЛ, 3ХП, 7ХЛ, 7ХП, 10ХП, 10ХЛ, 12ХП, 12ХЛ.

При рухові на основних напрямках експлуатації електровозів ЧС-4 у першому ступені підвищення дослідного електровозу величини коефіцієнтів вертикальної динаміки не перевищують Нормативних значень 0,3. При рухові по стрілочним переводам у другому ступені підвищення динамічні складові зусиль досягали рівнів, при яких коефіцієнт вертикальної динаміки дорівнював 0,4, що пов'язано із неякісним станом верхньої побудови колії. Це значення слід враховувати при визначенні коефіцієнтів запасу міцності, але ж не слід враховувати як таку величину, яка може обмежувати швидкість руху дослідного електровоза.

За показниками горизонтальної динаміки даний електровоз також відповідає вимогам Норм при рухові як з окремим дослідним зчепом так і у складі поїзда. При цьому, під час руху у складі поїзда, за рахунок стабілізуючої дії зусилля зі сторони автозчепного пристрою коефіцієнти горизонтальної динаміки виявилися меншими у порівнянні з випадками руху вказаного електровозу без складу вагонів поїзду.

Найбільші значення горизонтальних поперечних переміщень буксових вузлів колісних пар відносно рами візку досягали 25 мм., що може привести до створення горизонтальних поперечних зусиль, які діють на рейки, на рівні до 80 кН. Ці величини не перевищують граничні за Нормами значення горизонтальних поперечних сил, що діють на рейки. При цьому чітко прослідковувалася стабільна робота підшипникових вузлів середньої колісної пари, які забезпечують її розбіжність, бо горизонтальні переміщення буксових вузлів середньої колісної пари менше у порівнянні з переміщеннями двох інших колісних пар. Також мало місце, що із збільшенням швидкості руху горизонтальна динаміка має тенденцію до незначного зростання. Візуальний аналіз показав, що коливання вилання та галопування дослідного електровоза ЧС-4 зав. № 191 менш за амплітудами у порівнянні з відповідними коливання електровозів, що пройшли модернізацію і з якими раніше проводилися подібні випробування. Це може пояснюватися більш кращою роботою гасників коливань.

За визначеними величинами напружень по датчикам розеток деформацій виявилися, що не

має необхідності визначати головні напруження, бо їх значення у вказаних точках не перевищують величин напружень у точках, розташованих на нижніх листах поздовжніх балок рами візку навколо кронштейнів кріплення повідків буксових вузлів.

З метою визначення резонансних частот власних коливань були проведені спеціальні дослідні з скидання колісних пар першого за напрямком руху дослідного електровоза з клинів. Під час проведення цих випробувань здійснювалися одночасне скидання з клинів за напрямком насуву на клини електровоза: двох коліс першої та третьої колісних пар; одночасне скидання правого колеса першої та лівого колеса третьої колісних пар. У першому випадку збурювалися симетричні коливання, а у другому – косиметричні коливання. Далі зареєстровані по датчиках процеси опрацьовувалися за спеціальною програмою і формувалися амплітудно-частотні характеристики. Результати цих випробувань наведено у таблиці 5.

Таблиця 5

Значення частот власних коливань електровоза ЧС4 191 при скиданні його з клинів

Назва датчиків	Значення резонансних частот, Гц				
Симетричне скидання з клинів					
R11	0,35	1,31-1,7	2,09;2,2	-	-
R31	0,29	1,04;1,3;1,5	1,7;2,1	-	-
R41	0,3;0,54;	1,04;1,45	1,87; 2,2	-	-
10 ХЛ	0,81	1,1;2,3	3,27	-	-
P3Z	-	1,1;1,3	2;3	6,08	13,4
	0,27;0,4;0,9				
Несиметричне скидання з клинів					
R11	0,31	2,14	-	-	-
R31	0,4	2,14	-	-	-
R41	0,31	2,14	-	-	-
10 ХЛ	0,35	1,55	3,24	4,13	-

З аналізу наведених результатів маємо, що основною резонансною частотою коливань є частота 2,1-2,2 Гц., тобто частота коливань підстрибування рами візка. Значення резонансних частот, які були визначені по датчику 10ХЛ, використовувалися при проведенні вібраційних стендових випробувань на витривалість фрагментів рами візку на підприємстві „Південмаш”

За спеціальною програмою, на підставі виміряних значень динамічних складових вертикальних зусиль, які виникають у буксових вузла першого ступеня підвищення та динамічних складових горизонтальних поперечних рамних сил, були визначені найменші значення

коефіцієнтів запасу стійкості від сходу коліс колісних пар з рейок. Найменші значення цих коефіцієнтів в залежності від швидкості руху на різних дільницях колії наведено на рис. 22.

З наведеного рисунку слідує, що найменші значення визначених величин коефіцієнту запасу стійкості від сходу коліс колісних пар з рейок оказались не менше 2, а найменше значення вказаного коефіцієнту за Нормами встановлено 1,4. Під час дослідної поїздки зі швидкістю до 159 км/год. на дільниці Бориспіль – Барішівка оказалось, що при швидкості руху 142 км/год. величина цього коефіцієнту складає 2,69, а при швидкості 155 км/год. – 2,78. Таким чином з точки зору запасу стійкості рух дослідного електровозу є стійким зі швидкостями до 160 км/год. включно.

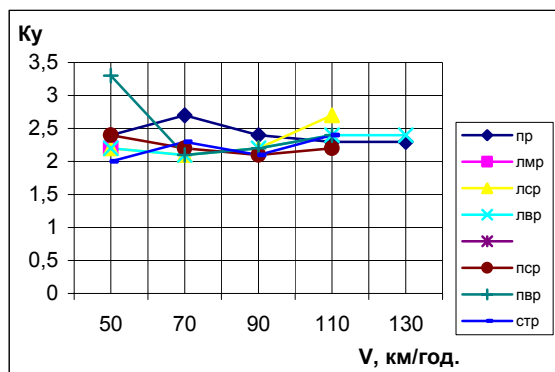


Рис. 22. Найменші значення коефіцієнтів запасу стійкості при русі дослідного електровозу на різних дільницях колії

Основні висновки

В процесі проведення динамічних ходових та динамічних міцносних випробувань електровоза ЧС-4 зав. № 191 визначено та встановлено наступне.

1. Зважування вказаного дослідного електровоза, а також подібних електровозів, які раніше проходили модернізацію та з ними проводилися подібні випробування показали, що модернізація привела до зростання ваги на 3,17 Тс;

2. У основних точках рами візку від дії статичного навантаження кузова електровоза найбільш навантаженими є точки 5Х – 9Х, які розташовані навколо кронштейнів середньої колісної пари. Найбільші значення статичних напружень досягають 41,6 МПа у точках 7Х та 38,5 МПа у точках 6Х і 9Х. У точках 3Х, 10Х та 12Х ці величини досягають значень 19,6 МПа, 15,4 МПа та 9,8 МПа відповідно;

3. Найбільші розтягуючі та стискаючі по-

вздовжні сили, якими навантажується електровоз при русі у складі поїзда, досягали значень – 200 кН;

4. При швидкості руху вище 120 км/год. починають збуджуватися автоколивання. Більш того, при швидкості руху 159 км/год., під час миттєвого відключення тяги електровозу, створилося ударне навантаження, на яке відреагували датчики вимірювання напружень розетки деформацій РЗ, що встановлено на кронштейні фіксації корпуса тягового редуктора на випадок обриву тяги закріплення корпуса тягового редуктора до рами візка. Це і може бути причиною, яка приводить до появи тріщин у місці приварення цих кронштейнів до рами візка;

5. Найбільші значення динамічних складових напружень не перевищують 35 МПа. Найбільш чутливими точками до дії вертикального динамічного навантаження виявилися точки 3ХЛ, 3ХП, 7ХЛ, 7ХП, 10ХП, 10ХЛ, 12ХП, 12ХЛ.

6. При русі на основних напрямках експлуатації електровозів ЧС-4 у першому ступені підвищення значення коефіцієнтів вертикальної динаміки не перевищують Нормативних значень 0,3 [1]. При русі по стрілочним переходам, внаслідок неякісного стану утримання елементів верхньої побудови колії, динамічне навантаження привело до створення у другому ступені підвищення динамічних складових зусиль, при яких коефіцієнт вертикальної динаміки дорівнював 0,4. Це значення слід враховувати при визначенні коефіцієнтів запасу міцності несучих конструкцій рам візку та кузова, але ж не слід враховувати як таку величину, що може обмежувати швидкість руху дослідного електровоза.

7. За показникам горизонтальної динаміки даний електровоз відповідає вимогам Норм при русі як з окремим дослідним зчепом так і у складі поїзда. Найбільші значення коефіцієнтів горизонтальної динаміки досягали 0,4, що відповідає вимогам Норм [1].

8. Найбільші значення горизонтальних поперечних переміщень буксових вузлів колісних пар відносно рами візку складають 25 мм., що приведе до створення горизонтальних поперечних зусиль, які діють на рейки, на рівні до 80 кН. Ці величини не перевищують граничних значень горизонтальних поперечних сил, які допускаються Нормами [1]. Було встановлено стабільна робота підшипникових вузлів середньої колісної пари, які забезпечують її розбіжність, бо горизонтальні переміщення буксових вузлів середньої колісної пари менше у порівнянні з переміщеннями двох інших колісних пар.

9. Аналіз коливань впливання та галопування дослідного електровоза ЧС-4 зав. № 191 показав, що амплітуди вказаних коливань менше відповідних амплітуд подібних електровозів, з яким раніше проводилися подібні випробування. Це пояснюється більш кращою роботою гідравлічних гасників коливань.

10. При рухові дослідного електровоза на різних ділянках колії зі швидкостями до 130 км/год., як окремим дослідним зчепом, так і у складі пасажирського поїзду найменші значення величин коефіцієнту запасу стійкості від сходу коліс колісних пар з рейок оказались не менше 2, а найменше значення вказаного коефіцієнту за Нормами [1] встановлено 1,4. Під час дослідної поїздки зі швидкістю до 159 км/год. на ділянці Бориспіль – Баришівка виявилось, що при швидкості руху 142 км/год. величина цього коефіцієнту складає 2,69, а при швидкості 155 км/год. – 2,78. Таким чином з точки зору запасу стійкості рух дослідного електровозу є стійким зі швидкостями до 160 км/год. включно.

Результати, які отримані під час проведення випробувань, дозволяють внести пропозицію про введення в експлуатацію електровозів ЧС-4 з рамами візків, які виготовлені підприємством „ХК Луганськтепловоз”, у складі пасажирських поїздів зі швидкостями руху до 140 км/год. включно.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – М: МПС РФ, ВНИИЖТ, 1998.-145 с.

2. СТ ССФЖТ ЦТ 15-98 Тяговый подвижной состав. Типовая методика динамико-прочностных испытаний локомотивов.

3. Технические требования к проектируемым локомотивам по условиям прочности, динамики и воздействия на путь. – М.: ВНИИЖТ, 1964

Надійшла до редколегії 24.09.2007.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА САМОСТАБИЛИЗАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЛЕВИТАЦИИ

На основі енергетичної моделі для дослідження процесів самостабілізації в системах електродинамічної левітації вивчений вплив розділення магнітного потоку в бортовому магніті та електричного демпфера жорстко пов'язаного з магнітом на рівень залишкової енергії коливань. Показано, що розглянута система магнітного підвісу ефективно гасить вертикальні коливання без використання додаткових демпфуючих пристроїв.

На основе энергетической модели для исследования процессов самостабилизации в системах электродинамической левитации изучено влияние разделения магнитного потока в бортовом магните и электрического демпфера, жестко связанного с магнитом, на уровень остаточной энергии колебаний. Показано, что рассмотренная система магнитного подвеса эффективно гасит вертикальные колебания без использования дополнительных демпфирующих устройств.

Based on the energy model for researching the processes of self-stabilization of the electrodynamic levitation systems, the authors studied the impact of the magnetic flux separation in the on-board magnet, as well as in the electrical buffer, rigidly bound to the magnet, and its effects on the residual oscillation energy level. It was demonstrated that the examined magnetic levitation system could effectively reduce the vertical oscillation without the use of any additional damping devices.

Известно, что в системах электродинамической левитации возникает неустойчивость движения, которая неустранима при использовании в качестве путевой структуры, как сплошного токопроводящего полотна, так и короткозамкнутых дискретных токовых контуров.

Считается, что неустойчивость вертикальных колебаний в системах электродинамической левитации с дискретной путевой структурой не может быть подавлена без использования дополнительных механических демпфирующих устройств, которые не только увеличивают массу системы, но и существенно усложняют ее конструкцию.

Авторами данной работы ранее было показано [1], что система электродинамической левитации может самостабилизироваться без использования механических демпферов, которые обычно жестко связаны с бортовым магнитом.

В данной работе проводится исследование влияния применения электрического демпфера, а также разделения магнитного потока в бортовом магните на процесс самостабилизации вертикальных колебаний в системах электродинамической левитации.

На основе энергетического подхода, используя общепринятые методы моделирования физических процессов, авторы рассматривают электродинамическую левитацию с дискретной путевой структурой.

Физическая модель, используемая для исследования устойчивости движения такой системы, основана на учете эффектов диссипации энергии, генерируемой в виде вихревых токов в путевых контурах магнитным полем бортовых катушек. Подробное изложение модели приведено в работах [1, 2].

Данная модель строится таким образом, чтобы стало возможным выделение из общего процесса движения только вертикальной колебательной компоненты. Это позволяет изучить отдельно переходные индуктивные процессы в системе, противодействующие изменению магнитного потока от бортовых источников.

Выводы относительно возможностей самостабилизации такой системы подвеса могут быть сделаны на основании сопоставления механической и тепловой энергий, полученных расчетным путем.

В работе [3] исследовалась принципиальная возможность изменения частотных и амплитудных характеристик в системах электродинамической левитации за счет числа короткозамкнутых сверхпроводящих контуров без применения вторичного демпфирования.

Ниже исследуется влияние разделения магнитного потока в движущемся экипаже на энергию самостабилизации системы.

Для исследования влияния разделения магнитного потока в бортовом магните на процесс

самостабилизации сверхпроводящий магнит с током I_0 моделируется двумя соосно связанными токовыми рамками с постоянными токами I_{01} и I_{02} ($I_{01} + I_{02} = I_0$), расположенными на расстоянии d друг от друга (рис. 1).

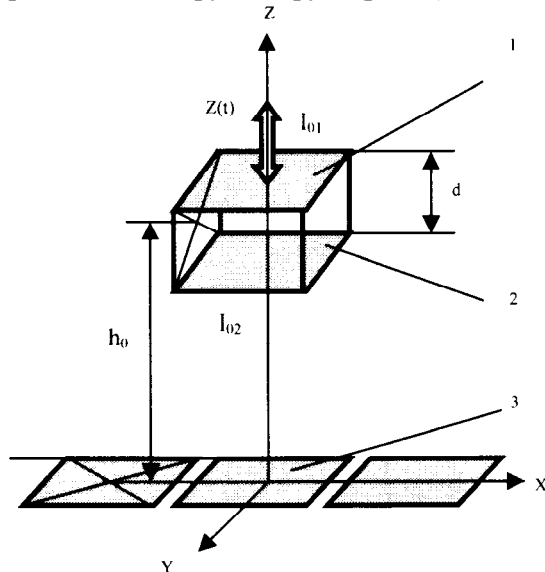


Рис. 1. Физическая модель экипажа:
1, 2 – сверхпроводящие контуры;
3 – короткозамкнутые контуры

Математическая постановка для исследования рассматриваемой задачи строится следующим образом.

На первом этапе решения задачи рассчитывается траектория вертикальных колебаний магнита, движущегося с заданной продольной скоростью V над дискретной путевой структурой. Короткозамкнутые путевые контуры установлены независимо друг от друга. Расстояние d между ними задано.

При решении поставленной задачи были использованы следующие допущения. Движущийся магнит представлен прямоугольной токовой рамкой длиной l_0 , шириной b_0 с некоторым фиксированным током I_0 ; при расчете коэффициентов самоиндукции в путевых контурах сечения проводников считались бесконечно малыми; явление поверхностного эффекта не учитывалось. Влияние путевых дискретных контуров друг на друга также не учитывалось.

Уравнения, описывающие вертикальные колебания движущейся токовой рамки в системе электродинамической левитации, имеют вид

$$m\ddot{z} = -mg + F_z, \quad (1)$$

где m – масса рамки;

z – вертикальная координата её центра масс;

g – ускорение силы тяжести;

F_z – сила взаимодействия рамки с вихревыми токами, наводимыми в дискретной путевой структуре при движении;

I_i – токи, наводимые в контурах путевой структуры;

M_{oi} – коэффициенты взаимоиндукции бортовой рамки и путевых контуров.

Сила взаимодействия F_z в случае разделения магнитного потока в бортовом магните имеет вид [4].

$$F_z = I_{01} \sum_{i=1}^N I_i \frac{\partial M_{oi1}(Vt - x_i, z - d/2)}{\partial z} + \\ + I_{02} \sum_{i=1}^N I_i \frac{\partial M_{oi2}(Vt - x_i, z + d/2)}{\partial z}.$$

Для переходных процессов в короткозамкнутых контурах справедливы уравнения:

$$L_k \frac{dI_k}{dt} + \sum_{i=1}^N I_i \frac{dM_{ik}}{dt} + R_k I_k =$$

$$= - \left(I_{01} \frac{dM_{01k}}{dt} + I_{02} \frac{dM_{02k}}{dt} \right)$$

$$(k = 1, 2, \dots, N), \quad (2)$$

где L_k, R_k – собственная индуктивность и сопротивление путевого токового контура;

M_{ik} – коэффициенты взаимоиндукции;

N – число контуров дискретной путевой структуры.

В соотношение (2) входит изменение коэффициента взаимоиндуктивности в зависимости от времени, которое определяется по формуле

$$\frac{dM_{ik}}{dt} = \frac{\partial M_{ik}}{\partial x} V + \frac{\partial M_{ik}}{\partial z} \frac{dz}{dt}.$$

Для соосно ориентированных контуров путевой структуры и движущейся бортовой магнита, имеющих одинаковую ширину выражения для коэффициентов взаимоиндукции имеют вид [5].

Нетрудно видеть, что уравнения (1) и (2) являются связанными только через коэффициенты взаимной индуктивности $M(Vt - x, z)$.

Система обыкновенных дифференциальных уравнений (1), (2) дополняется начальными условиями, которые задавались в виде:

$$z|_{t=0} = h_0 + \Delta z_0, \dot{z}|_{t=0} = \dot{z}_0, I_k|_{t=0} = 0,$$

где Δz_0 - начальное вертикальное возмущение.

На втором этапе решения поставленной задачи определялась энергия рассеивания в путевом стационарном контуре, моделирующем дискретную путевую структуру, по формуле

$$E_r = \int_0^t R I_r^2 dt. \quad (3)$$

Для нахождения тока I_r , наводимого в путевом контуре, было проведено интегрирование дифференциального уравнения

$$L_r \frac{dI_r}{dt} + R_r I_r = - \left(I_{o1} \frac{dM_{o1r}}{dt} + I_{o2} \frac{dM_{o2r}}{dt} \right)$$

при начальном условии $I_r(0) = 0$.

Связь первого и второго этапа решения задачи осуществлялась посредством коэффициента взаимной индуктивности M_{or} между движущейся рамкой и контуром, моделирующим путевую структуру. То есть в выражение для определения величины $M_{or}(0, z)$ подставлялось значение амплитуд вертикальных колебаний $z = z(t)$, полученных на первом этапе решения задачи.

Проведенные расчеты для бортового магнита массой 200 кг при $h_0 = 0,15$ м, $I_{o1} = 8000$ А, $I_{o2} = 2000$ А и $V = 60$ м/с показали, что с увеличением расстояния между магнитосвязанными контурами начиная с определенного момента времени, наблюдается значительный рост энергии диссипации бортового магнита. Отметим, что для небольших значений параметра d порядка 0,005...0,015 м это влияние становится незначительным (рис. 2).

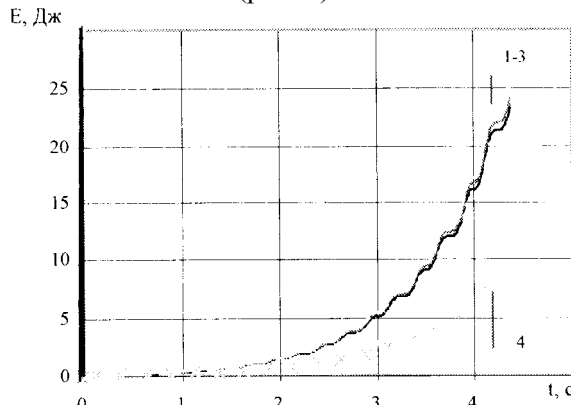


Рис. 2. Изменение энергии в зависимости от времени:

- 1 - энергия рассеивания при $d = 0,005$ м;
- 2 - энергия рассеивания при $d = 0,001$ м;
- 3 - энергия рассеивания при $d = 0,015$ м;
- 4 - энергия колебаний

Отметим, что в расчетах второго этапа длина моделирующего токового коротко замкнутого контура $l_r = 1$ м.

Одним из способов улучшения характеристик систем электродинамической левитации является использование дополнительного электрического демпфирующего устройства, которое жестко соединено с бортовым магнитом.

В рассматриваемой нами модели электрический демпфер моделируется прямоугольным короткозамкнутым токовым контуром с сопротивлением R_d (рис. 3).

Длина и ширина контура равны соответствующим размерам сверхпроводящего магнита.

Масса конструкции сосредоточена посередине расстояния d между сверхпроводящим и короткозамкнутыми контурами.

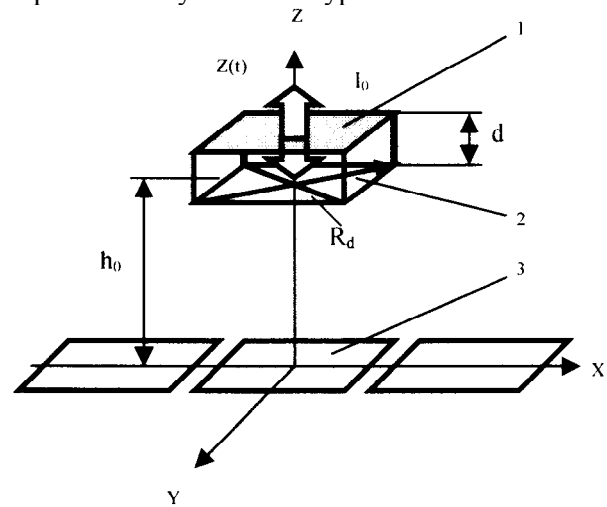


Рис. 3. Физическая модель экипажа:

- 1 - сверхпроводящий контур; 2 - электрический демпфер;
- 3 - короткозамкнутые контуры

Уравнение, описывающее вертикальные колебания бортового магнита с жестко закрепленным на нем электрическим демпфером, имеет вид (1).

Здесь сила

$$F_z = I_o \sum_{i=1}^N I_i \frac{\partial M_{oi}(Vt - x_i)}{\partial z}.$$

Переходные процессы в короткозамкнутых контурах описываются уравнением

$$L_k \frac{dI_k}{dt} + \sum_{i=1}^N I_i \frac{dM_{ik}}{dt} + R_k I_k = -I_o \frac{dM_{ok}}{dt}.$$

На втором этапе решения этой задачи определялись энергии рассеивания в путевом стационарном контуре и в электрическом демпфере по формуле (3).

Для нахождения токов, наводимых в путе-

вой структуре I_r и электрическом демпфере I_d , было проведено интегрирование системы обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\frac{d}{dt}(L_r I_r + M_{or} I_o + M_{dr} I_d) + R_r I_r = 0,$$

$$\frac{d}{dt}(L_d I_d + M_{rd} I_r) + R_d I_d = 0$$

при начальных условиях $I_r(0) = 0$ и $I_d(0) = 0$.

Результаты расчетов энергии диссипации в дискретной путевой структуре и в электрическом демпфере демонстрируют рис.4.

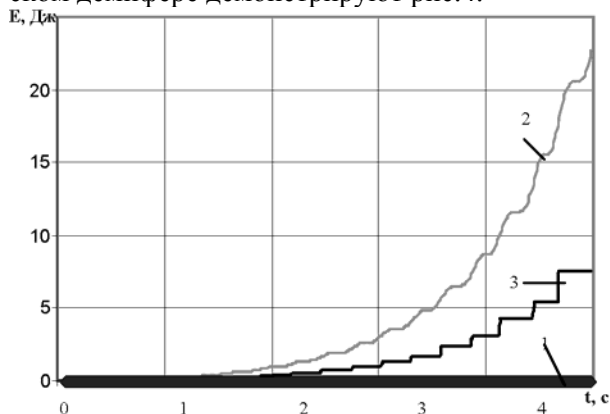


Рис. 4. Изменение энергии в зависимости от времени в системе с демпфером:
1 – энергия рассеивания при $d = 0,005$ м;
2 – энергия рассеивания при $d = 0,01$ м;
3 – энергия рассеивания при $d = 0,015$ м;
4 – энергия колебаний

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы, что рассеивание энергии в электрическом демпфере существенно меньше, чем в путевой структуре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буряк А. А. О возможности самостабилизации движения в системах электродинамической левитации. / А. А. Буряк, В. А. Дзензерский, Э. А. Зельдина, И. И. Финагина // Новини науки Придніпров'я. – 2005. – № 6. – С. 37-42.
2. Буряк А. А. О возможности самостабилизации вертикальных колебаний в системе электродинамической левитации. / А. А. Буряк, В. А. Дзензерский, Э. А. Зельдина // Тезисы доклада 66 международной конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Д. -2006. С. 29-30.
3. Горский О. И. Частотные характеристики многоконтурных систем подвешивания / О. И. Горский, В. А. Дзензерский, Э. А. Зельдина // Изв. РАН «Энергетика и транспорт», - 1992. - № 38. - С. 125-129.
4. Дзензерский В. А. О влиянии разделения магнитных потоков на колебания экипажа в системе электродинамической левитации / В. А. Дзензерский, Э. А. Зельдина, И. И. Финагина // Вестник Днепропетр. ун-та ж.д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. - 2006. – Д. – С. 152-154.
5. Kratki N. Ausgleichs organge and schwingungen beimelec namischen magnetkissen system / N. Kratki, K. Oberreti // Archiv fur elecrutecnik BRD. - 1975. - V. 67, № 2. - P. 59-87.

Поступила в редколлегию 29.09.2007.

УЧЕТ ГИГАЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ СТАЛЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ СРОКА СЛУЖБЫ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ

Виявлене останнім часом явище гігациклової втомлюваності, пов'язане з руйнуванням матеріалів при навантаженнях, менших за межу витривалості та при більш ніж 10^8 циклах навантаження, безпосередньо стосується безпеки руху. Для оцінки остаточного ресурсу та прийняття рішення щодо подовження терміну служби відповідальних деталей рухомого складу необхідним є проведення випробувань з визначення міцності якостей сталей, що застосовуються в області високих циклів навантаження.

Обнаруженное в последнее время явление гигацикловой усталости, связанное с разрушением материалов при нагрузках меньших предела выносливости и при более чем 10^8 циклах нагружения, напрямую касается безопасности движения. Для оценки остаточного ресурса и принятия решения о продлении срока службы ответственных деталей экипажной части подвижного состава необходимо проведение испытания по определению прочностных свойств применяемых сталей в области высоких циклов нагружения.

The phenomenon found out recently gigacycle fatigue, connected with destruction of materials at loadings of a smaller limit of endurance and at more than 10^8 cycles regime, directly concerns traffic safety. For an estimation of a residual resource and decision-making on prolongation of service life of responsible vehicle details carrying out of test on determination mechanical properties applied steels in the field of high cycle's regime is necessary.

Явление гигацикловой усталости, обнаруженное в конце прошлого века, заключается в усталостном разрушении материалов от воздействия нагрузок, меньших предела выносливости материала, при количестве циклов нагружения большем базового. За базу испытаний на усталость обычно принимается $10^7 \dots 10^8$ циклов [1].

Проблема разрушения при ультравысоком числе циклов была сформулирована в трудах первой (1998 г., Франция), а затем и второй (2001 г., Австрия) конференции по гигацикловой усталости. Основные работы в этом направлении ведутся зарубежными исследователями, например [2-4]. В нашей стране этой проблеме уделяют внимание ученые ИМАШ РАН и ИМЕТ РАН [5-8].

Как было обнаружено, кривая усталости имеет ступеньку (разрыв) в области обычного предела выносливости (рис. 1) [9].

В работах [10, 11] приведены результаты исследований, показывающие существенное снижение предела выносливости различных конструкционных материалов при изменении базы испытаний с 10^6 до 10^9 циклов. Так, например для мартенситной нержавеющей стали снижение составляет 20...200 МПа, для подшипниковой – 100 МПа, для пружинной – 150...200 МПа. В работе [12] имеются данные о снижении предела выносливости сталей 45 и

У10А при увеличении количества циклов нагружения с 10^6 до 10^9 циклов на 20 % (рис. 2).

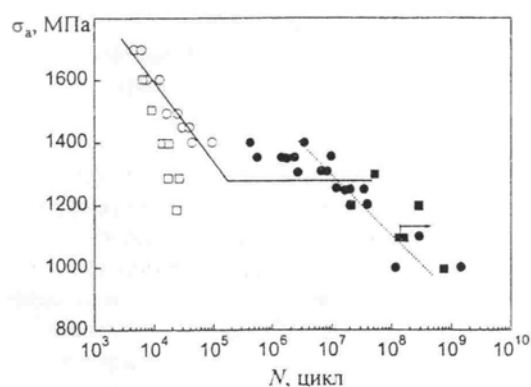


Рис. 1. Циклическая прочность высокоуглеродистой хромистой подшипниковой стали SUJ2 (1,01 C; 0,23 Si; 0,36 Mn; 1,45 Cr; 0,012 P; 0,007 S, вес. %): светлые точки – зарождение трещины на поверхности, темные – под поверхностью образца

В то же время концепция предела усталости, служащая в настоящее время основой для нормативной документации, базируется на гипотезе существования предела выносливости – горизонтальной асимптоты на кривой усталости (по крайней мере, для металлов с кубической объемноцентрированной решеткой), т. е. при нагружении нагрузками меньшими предела выносливости материал будет иметь неограниченную долговечность.

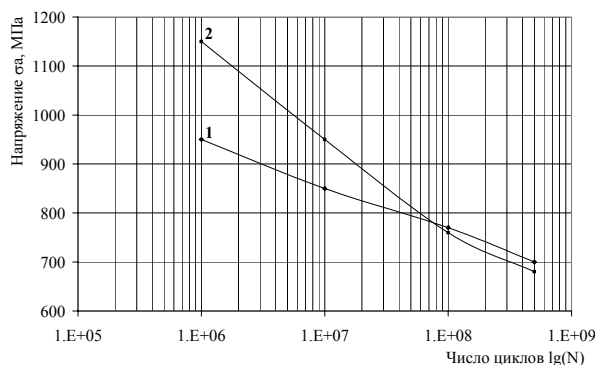


Рис. 2. Кривые усталости стали У10А [12]:
1 — закалка 780 °С, охлаждение в масле до 160 °С,
2 — с дополнительным отпуском при 180 °С в теч. 1,5 ч

Таким образом, существующая концепция не является строгой и ее следует применять лишь в качестве удобного упрощения при достаточном обосновании с экономической точки зрения с учетом требований безопасности.

Интерес к гигацикловой усталости связан с тем, что при увеличении срока службы ответственных деталей и конструкций повышается вероятность их выхода из строя, что может привести к авариям и катастрофам. Согласно [13] аварийные сходы с рельс высокоскоростных поездов с Германии и Англии были связаны с накоплением в колесе 10^9 циклов нагружения, из-за неровной поверхности рельса. Особую актуальность этот вопрос имеет для стран СНГ, где в последнее время существуют объективные трудности по обновлению парка железнодорожной техники. В железнодорожной отрасли наиболее важные детали экипажной части подвижного состава (колесная пара и рама тележки) за срок эксплуатации могут подвергаться количеству циклов нагружения, превышающему базовые 10^7 . Поэтому увеличение ресурса элементов конструкций, подвергающихся в процессе эксплуатации воздействию циклических нагрузок, приводит к необходимости проведения исследований сопротивления усталости конструкционных материалов на больших базах нагружения с учетом влияния конструкционных и эксплуатационных факторов.

Испытания на гигацикловую усталость весьма дороги, трудоемки и требуют значительных временных затрат. Для деталей и элементов конструкций проводить такие испытания экономически затруднительно. В то же время при конструировании и расчете деталей машин актуально обеспечение безопасной работы именно в области, превышающей 10^8 циклов, из чего следует необходимость проведения исследований характеристик сопротивления усталости материалов в данной области с целью

обоснования уровня допустимых напряжений.

Циклическое нагружение при амплитуде напряжений незначительно превышающих физический предел выносливости приводит к перемещению дислокаций с образованием ячеистой структуры в поверхностном слое образца (детали). Учитывая, что в поверхностном слое зерен пластическая деформация облегчена по сравнению с внутренним (дислокации и вакансии имеют выход на поверхность металла, напряжение работы источников Франка-Рида снижается) повреждение металла начинается с образованием устойчивых полос скольжения, интрузий и экструзий [14].

При поверхностном упрочнении образцов путем наклепа, нагартовки, накатки, химико-термической обработки (азотирования, цементации), нанесения более прочных, чем основной металл, покрытий и т. д. зарождение трещин на поверхности затрудняется, и очаг разрушения возникает на некотором расстоянии вглубь образца. Примерами осуществления такого механизма разрушения служат подповерхностные трещины в рельсах, выщербины в бандажах, повреждения азотированных коленвалов, прокатных валков.

Смена расположения очага трещины является основной особенностью гигациклового разрушения, отмечаемой большинством исследователей. Трещина при гигацикловой усталости возникает, как правило, на границе основного металла и неметаллического включения [15]. Согласно [11] в диапазоне $10^7 \dots 10^9$ циклов нагружения более чем в 99 % случаев очаг разрушения находится под поверхностью. В стали 54SiCr6 (аналог 55C2A) подповерхностное разрушение происходит при наличии неметаллических включений, больших 1 мкм [10]. Помимо неметаллических включений, большую роль в разрушении при гигацикловой усталости имеет наличие остаточного водорода, приводящего к охрупчиванию зоны вокруг неметаллического включения и образованию очага подповерхностного разрушения — так называемого «рыбьего глаза» [16].

Остаточные напряжения возникают вокруг подповерхностных включений при термической обработке и воздействии циклических нагрузок из-за концентрации напряжений. Максимальные напряжения возникают у алюминатов кальция, окиси алюминия и шпинельных включений. Оксидные включения, покрытые сульфидами марганца или кальция, являются более вредными, чем чистые оксиды [17]. Влияние неметаллических включений на уста-

лостную прочность материалов при гигацикловой усталости достаточно подробно представлено в [16].

Одним из этапов учета влияния гигацикловой усталости на прочность деталей является теоретическое обоснование и дальнейшее экспериментальное подтверждение критического размера неметаллических включений и содержания остаточного водорода.

Существует много гипотез, объясняющих наличие на кривой усталости переломов и разрывов [6, 8], из них основными являются следующие:

- достижение циклического предела текучести;
- неоднородное распределение пластической деформации по сечению образца, вызывающее пластическое течение его поверхностного слоя;
- влияние среды, в частности водородное охрупчивание.

Несмотря на обилие гипотез, достаточно хорошего количественного описания процесса разрушения при гигацикловой усталости пока не имеется. Рассмотрим некоторые основные зависимости позволяющие оценить долговечность материалов в области гигацикловой усталости. Наибольший перечень уравнений кривых усталости представлен в [12].

Согласно [18] кривая усталости имеет горизонтальный участок и записывается в виде:

$$\begin{cases} \sigma^m N = \sigma_R^m N_G, & \text{при } \sigma > \sigma_R; \\ N = \infty & \text{при } \sigma \leq \sigma_R. \end{cases} \quad (1)$$

где N – суммарное количество циклов за срок работы;

N_G – количество циклов, соответствующее пределу выносливости;

σ – действующее номинальное напряжение;

σ_R – предел выносливости;

m – показатель наклона кривой усталости.

Уравнение (1) описывает кривую усталости с горизонтальным участком, соответствующим пределу выносливости. На рис. 3 уравнению (1) соответствует кривая ABC.

Кривая усталости ADE на рис. 3 имеет при больших количествах циклов горизонтальную асимптоту, характеризующуюся порогом чувствительности, который в первом приближении равен половине предела выносливости [7]. В этом случае кривая усталости описывается уравнением

$$m \cdot \lg(\sigma - 0,5\sigma_R) + \lg N = C. \quad (2)$$

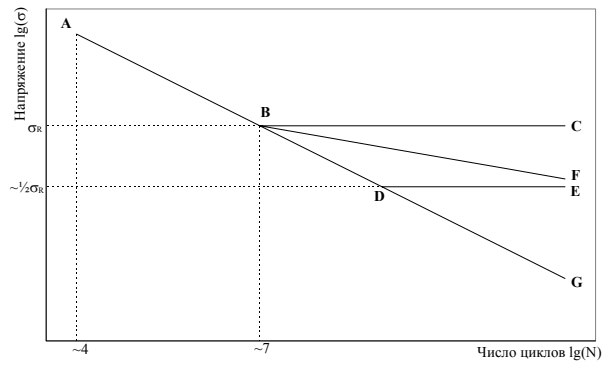


Рис. 3. Кривые усталости материала в двойных логарифмических координатах

Кривая ABF на рис. 3 имеет лишь перелом согласно гипотезе Хайбаха [7] с уравнением кривой усталости:

$$\begin{cases} \lg N = C_1 - m_1 \cdot \lg(\sigma), & \sigma < \sigma_R; \\ \lg N = C_2 - m_2 \cdot \lg(\sigma), & \sigma > \sigma_R. \end{cases} \quad (3)$$

В общем случае, на кривой усталости, описываемой уравнением

$$\lg N = C - m \cdot \lg(\sigma), \quad (4)$$

отсутствуют и горизонтальный участок, и перелом. Уравнению (4) на рис. 3 соответствует кривая ABDG.

Согласно расчетам [7] наибольшее совпадение с экспериментальными данными дают уравнения (2) и (4); результат использования уравнения (3) укладывается в 80 %-й доверительный интервал; кривая усталости (1) приводит к плохо сопоставимому с экспериментом результату.

Уравнение (3) в работах [19, 20] рекомендуется для расчета долговечности осей колесных пар, причем m_2 принимается равным $(2m_1 - 2)$ для прессовой посадки и $(2m_1 - 1)$ для остальных зон.

Расчет долговечностей производится с применением различных гипотез. Наибольшее распространение за свою простоту в использовании получила гипотеза линейного суммирования повреждений, именно она рекомендована нормативной документацией [21]:

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = 1. \quad (5)$$

Наиболее лучшую сходимость с экспериментом имеет гипотеза Пальмгрена-Майнера [19, 20] (рис. 4), в соответствии с которой можно получить выражение [22, 23]:

$$\frac{N}{N_G} = \frac{1}{n_p^m \sum \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}} \right)^m p_i}, \quad (6)$$

где N_G – количество циклов, соответствующее перелому кривой усталости;

$\frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}}$ – амплитуды напряжений в относительных единицах;

p_i – вероятность появления амплитуды σ_i ;

n_p – коэффициент перегрузки.



Рис. 4. Схема оценки срока службы

Основным недостатком линейной гипотезы суммирования повреждений является невозможность учета истории нагружения. Многочисленные данные, полученные в соответствии с гипотезой Палмгрена–Майнера, показывают существенные отклонения от единицы накопленной повреждаемости в момент разрыва образцов (5), как в меньшую, так и в большую сторону. Так, для большинства конструкционных материалов эта величина находится в пределах 0,5...2 [12, 19, 20] и зависит от статистического разброса опытных данных и ширины доверительного интервала оценки величины накопленных повреждений. В некоторых модификациях линейной гипотезы есть возможность некоторого учета влияния на повреждаемость истории нагружения и наследственных свойств [24].

В настоящее время вместо вероятностных методов оценки ресурса, основанного на статистике отказов, все большее значение приобретает тенденция оценки индивидуального ресурса оборудования на основе комплексного подхода, сочетающего результаты разрушающего и неразрушающих методов контроля с проверочными расчетами на прочность, например, расчетно-экспериментальный метод [25, 26].

Влияние гигацикловой усталости на долговечность реальных железнодорожных конст-

рукций сопряжено с учетом:

- сложной геометрии детали и связанной с ней местной концентрации напряжений,
- неопределенности реального блока нагружений,

- величины имеющихся полей остаточных напряжений,

- изменения физических свойств металла в процессе эксплуатации.

Иллюстрацией такой работы является оценка усталостной прочности рам тележек скоростного электропоезда ЭР-200.

Исходя из данных, указанных в паспортах тележек, было рассчитано число циклов нагружения, которым подверглись рамы тележки электропоезда. Так, на момент проведения в ТЧ-10 ТР-2 в феврале 2006 г. пробег тележки вагона № 105 составил 1294888 км, тележки вагона № 107 – 1372980 км. Зная частоту галопирования рамы тележки (по данным ВНИИЖТ и ВНИКТИ – порядка 7 Гц) определили количество циклов нагружения, которое составило более $2 \cdot 10^8$ циклов нагружения.

Результаты исследования состояния тележек вагонов № 105 и 107, проведенного в период с 19 по 21 апреля 2007 года в процессе капитального ремонта (КР-2) показали наличие большого количества дефектов сварки и трещин. При этом в одной из боковин рамы тележки были обнаружены продольные трещины в основном металле, которые полностью не удалось удалить зачисткой на глубину до 1 мм.

Рамы тележек были изготовлены на Рижском вагоностроительном заводе, после сварки был выполнен высокотемпературный отпуск для снятия термических напряжений. При последующих ремонтах (ТР-2, ТР-3 выполненных в депо и КР-1, КР-2 выполненных на ОЭВРЗ) снятие остаточных напряжений не проводилось.

Результаты исследований остаточных напряжений в рамах тележек, проведенное специалистами ИМАШ АН РФ, показали, что остаточные напряжения в зоне ремонтных сварных швов достигают значительных величин, сопоставимых с пределом текучести. Остаточные напряжения в швах, выполненных на Рижском заводе при изготовлении рам, составляют около 10 МПа, что соизмеримо с погрешностью измерений. Исследования остаточных напряжений проводилось методом цифровой спекл интерферометрии, основные положения и методика которого представлена в [27].

В заключении можно отметить, что актуальность исследований прочностных свойств

материалов при больших количествах нагружений сложно переоценить. В настоящее время в ОАО «ВНИКТИ» начаты работы по исследованию поведения сталей в области гигацикловой усталости. Были проведены испытания стандартных лабораторных образцов, поставлена на испытания рама тележки электропоезда ЭР-200, совместно с ИМАШ проводятся теоретические изыскания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 25.502-79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость.
- Bathias C. There is no infinite fatigue life in metallic materials // *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. - Vol. 22. - 1999. - № 7.
- Wang Q. Y. Subsurface crack initiation due to ultra-high cycle fatigue / Q. Y. Wang, G. Baydry, C. Bathias, O. H. Berard // *Advances in Mechanical Behavior. Plasticity and Damage: Proceeding of EUROMAT-2000*. - Elsevier. - Vol. 1. - 2000. - № 2.
- Marines, X. Bin and C. Bathias. An understanding of very high cycle fatigue of metals // *International Journal of Fatigue*. - Vol. 25. - 2003. - №№ 9-11.
- Махутов Н. А. Усталость металлов в широком диапазоне числа циклов // *Заводская лаборатория*. - 2004. - № 4.
- Терентьев В. Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов - М.: Интермет инжиниринг, 2002.
- Петрова И. М. Оценка циклической прочности конструкционных сталей в области длительной долговечности / И. М. Петрова, И. В. Гадолина // *Вестник машиностроения*. - 2005. - № 10.
- Ботвина Л. Р. Гигацикловая усталость - новая проблема физики и механики разрушения // *Заводская лаборатория*. - 2004. - №4.
- Ochi Y. In: *Proceedings of the Internat. / Y. Ochi, T. Matsumura, K. Masaki, S. Yoshida // Conf. on Fatigue in Very High Cycle Regime*, - Vienna, Austria. 2001.
- Zhang J. M. Influence of inclusion size on fatigue behavior of high strength steels in the gigacycle fatigue regime / J. M. Zhang and others // *Internat. Journal of Fatigue*. - 2006.
- Wang Q. Y. Effect of inclusions on subsurface crack initiation and gigacycle fatigue strength / Q. Y. Wang, C. Bathias, N. Kowagoishi Q. Chen // *Internat. Journal of Fatigue*. - V. 24. - 2002. - № 12.
- Трощенко В. Т., Сосновский Л. А. Сопротивление усталости металлов и сплавов: Справочник в 2х ч. - К.: Наук. думка, 1987.
- Miller K. J. *Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct.* / K. J. Miller, W. J. O'Donnell. - V. 22. - 1999. - № 7.
- Золоторевский В. С. Механические свойства металлов. - М.: МИСИС, 1998.
- Матохнюк Л. Е. Сопротивление усталости ма-

- териалов на больших базах нагружения / Л. Е. Матохнюк, А. В. Войналович, Т. Ю. Яковлева. // *Заводская лаборатория*. - 2004. - № 4.
- Терентьев В. Ф. Зарождение усталостных трещин в высокопрочных сталях при гигацикловой усталости // *Сб. мат. конф. «Деформация и разрушение материалов»* - М.: ИМЕТ им. А. А. Байкова РАН, 2006. - С. 307-310.
 - Терентьев В.Ф. Усталость высокопрочных сталей // *Деформация и разрушение материалов*. - 2006. - № 8.
 - ГОСТ 25.504-82. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости.
 - Fisher G. Versagen von Radsatzwellen und dessen Ursachen / G. Fisher, V. Grubisic // *ZEVrail Glasers Annalen*. - vol. 130. - 2006. - № 3.
 - Fisher G. Betriebfeste Bemessung von Radsatzwellen / G. Fisher, V. Grubisic // *ETR*, - Vol. 55. - № 3. - 2006.
 - ГОСТ 25.507-85. Методы испытаний на усталость при эксплуатационных режимах нагружения (общие требования).
 - Когаев В. П. Прочность и износостойкость деталей машин / В. П. Когаев, Ю. Н. Дроздов. - М.: Высш. шк., 1991.
 - Серенсен С. В. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность / С. В. Серенсен, В. П. Когаев, Р. М. Шнейдерович. - М.: Машиностроение, 1975.
 - Багмутов В. П. Функциональная схема оценки усталостной долговечности конструкционного материала при нестационарном нагружении / В. П. Багмутов, А. Н. Савкин // *Труды конф. «Деформация и разрушение материалов»*, М.: ИМЕТ им. А. А. Байкова РАН. - 2006. - С. 548-550.
 - Милешкин М. Б. Новый подход к оценке остаточного ресурса элементов конструкций / М. Б. Милешкин, И. В. Библик. // *Тр. конф. «Деформация и разрушение материалов»*. - М.: ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН. - 2006. - С. 771-773.
 - Северинова Т. П. Расчетно-теоретическое обоснование живучести боковых рам и надрессорных балок с допустимыми дефектами // *Вестник ВНИИЖТ*. - 2002. - № 5.
 - Апальков А. А. Исследование остаточных напряжений в элементах конструкций ЯЭУ методом сверлений отверстий и цифровой спекл интерферометрии: Автореф. дис... канд. техн. наук. - М., 2005.

Поступила в редколлегию 24.09.07.

А. Б. КУЗЬМИН, В. С. КОССОВ, А. Л. ПРОТОПОПОВ, Н. Ф. КРАСЮКОВ, Б. Б. БУНИН,
Э. С. ОГАНЬЯН (ОАО ВНИКТИ, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ АВТОСЦЕПКИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗКАХ

Одним з найчастіших пошкоджень автозчепного пристрою СА-3 є руйнування корпусу автозчепу. В статті проведено дослідження напружено-деформованого стану автозчепного пристрою при експлуатаційних навантаженнях, виявлені зони, в яких можливе зародження і ріст тріщин від втоми, отримані оцінки довговічності автозчепи з урахуванням його живучості.

Одним из наиболее частых повреждений автосцепного устройства СА-3 является разрушение корпуса автосцепки. В данной статье проведено исследование напряженно-деформированного состояния автосцепного устройства при эксплуатационных нагрузках, выявлены зоны, в которых возможно зарождение и рост усталостных трещин, и получены оценки долговечности автосцепки с учетом ее живучести.

One of the most frequent failures of the coupling mechanism CA-3 is the coupler body damage. In this article the investigation of the stress-strain state of the coupling mechanism under service loads is fulfilled, the areas are detected where formation and growth of the fatigue cracks is possible and assessments of the coupler durability considering its survivability are obtained.

Рост грузооборота железнодорожного транспорта, повышенные скорости маневровых соударений вагонов, увеличение средней по сети и максимальной массы поездов обусловили более интенсивную нагруженность автосцепных устройств продольными силами [1].

Повреждения автосцепок в значительной степени происходят при маневровых работах. Основной причиной этого является повышенная скорость соударения вагонов. Правилами технической эксплуатации предусмотрены скорости соударения вагонов до 5 км/ч, однако их фактические величины значительно выше: количество соударения со скоростями выше 5 км/ч – составляет более 80 %, выше 7,5 км/ч – более 17 % и выше 10 км/ч достигает 11 % [2]. Вероятность соударений с повышенными скоростями постоянно возрастает из-за роста числа механизированных горок. С увеличением веса и скоростей движения поездов возрастают продольные усилия на автосцепке, достигающие максимальных значений на переходных режимах движения. В связи с этим представляет интерес оценка влияния блока эксплуатационных нагрузок, включающего нагрузки от соударения вагонов при формировании поезда, трогания поезда, торможении и т. д. – и на повреждение автосцепки. Данные об эксплуатационной нагруженности автосцепного устройства являются необходимой основой для расчетов его долговечности.

Наибольшую опасность представляет разрушение головной части и хвостовика авто-

сцепки по проушине, т.к. связанное с этим падение фрагментов устройства на полотно пути способно привести к сходу состава.

Согласно ГОСТ 22703-91 («Общие технические условия. Детали литые автосцепного устройства подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм») автосцепка должна обеспечивать восприятие продольной силы растяжения не менее 250 тс (2450 кН), сжатия 350 тс со смещением продольных осей на 50 мм. При этом наибольшие расчетные напряжения не должны превышать предела текучести (σ_T) материала. Кроме того регламентируется срок службы автосцепного устройства между постройкой и первым деповским ремонтом – 4 года, срок службы между постройкой и первым капитальным ремонтом – 16 лет, срок службы до списания – 32 года.

По статистическим данным появления растягивающих и сжимающих сил различного уровня, при разных режимах работы, был построен блок нагрузок действующий на вагон через автосцепку за год [3] (табл. 1).

По имеющимся данным, из общего числа повреждений автосцепного устройства в течение 2006 г. около 74,3 % составили повреждения корпуса автосцепки, примерно 16,3 % клина тягового хомута и 9,4 % тягового хомута.

Места наиболее частых повреждений корпуса автосцепки показаны на рис. 1. Цифры, стоящие рядом с зоной повреждения, указывают долю таких повреждений в процентах, по данным Департамента вагонного хозяйства за

2006 г. В скобках указаны данные за 1970 г., т. е. до проведения мероприятий по увеличению площади наиболее нагруженного сечения хвостовика корпуса автосцепки (на 43 %), а также внедрения в производство низколегированных сталей повышенной прочности марок 20ГФЛ (20Г1ФЛ) и 20 ГТЛ, взамен ранее применявшейся стали 20Л [1]. Как видно из рис. 1, наиболее нагруженными являются указанные зоны перемычки хвостовика.

Таблица 1

Статистические данные растягивающих и сжимающих сил в автосцепке за год эксплуатации

Нагрузка, тс	Число растяжений	Число сжатий
15	1799	3087
35	3182	4050
55	2568	1489
75	2024	1012
95	1305	624
115	816	288
135	412	146
155	91	125
175	55	110
195	14	86
215	3	58
235	2	38
255	1	25
275	-	14
295	-	9
315	-	6

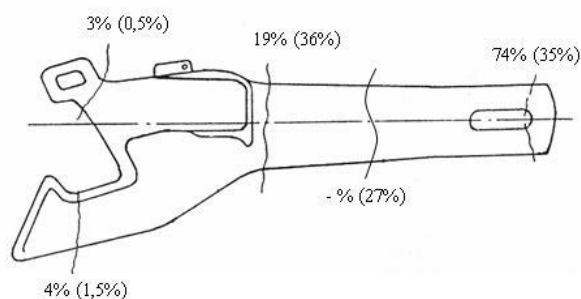


Рис. 1. Распределение отказов по сечениям корпуса автосцепки

Целью данной работы является подробное исследование напряженно-деформированного состояния автосцепного устройства при эксплуатационных нагрузках, выявление зон, в которых возможно зарождение и рост усталостных трещин, и получение оценки долговечности автосцепки с учетом ее живучести.

В ранее выполненных работах по исследованию долговечности автосцепного устройства расчеты её напряженно-деформированного состояния (НДС) проводились по упрощенным расчетным схемам. В данной работе расчеты

НДС выполнялись на объемных конечно-элементных моделях. Задача решалась в нелинейной постановке, учитывалась физическая нелинейность, связанная с упруго-пластическим поведением материала, и геометрическая, обусловленная большими деформациями и контактным взаимодействием деталей конструкции. Расчеты проводились с помощью программного комплекса MSC.Marc.

Корпус автосцепки изготовлен из стали 20ГФЛ (20Г1ФЛ) (механические свойства по ГОСТ 22703-91 $\sigma_T = 350$ МПа, $\sigma_B = 540$ МПа, $\psi_f = 25\%$, $\delta = 18\%$, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа).

Клин тягового хомута изготовлен из стали 38ХС (механические свойства по ГОСТ 4543-71 $\sigma_T = 735$ МПа, $\sigma_B = 931$ МПа, $\psi_f = 40\%$, $\delta = 12\%$, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа).

В качестве расчетной схемы на растяжение (рис. 2) и сжатие (рис. 3), была принята схема, содержащая два сцепленных корпуса автосцепки СА-3. В одном из корпусов установлен клин тягового хомута, а к хвостовику другого приложена распределенная сила. Конечно-элементная модель построена на базе четырех-узловых объемных конечных элементов, общее количество элементов 155084, узлов 41056. Для более точного описания распределения контактных напряжений в зоне взаимодействия хвостовика с клином тягового хомута, и зоне контакта автосцепок по контуру их зацепления, сделано необходимое сгущение конечно-элементных сеток. Корпуса автосцепок и клин тягового хомута рассматривались как деформируемые тела. Поверхность тягового хомута в зоне контакта с клином и поверхность упорной плиты считались абсолютно жесткими.

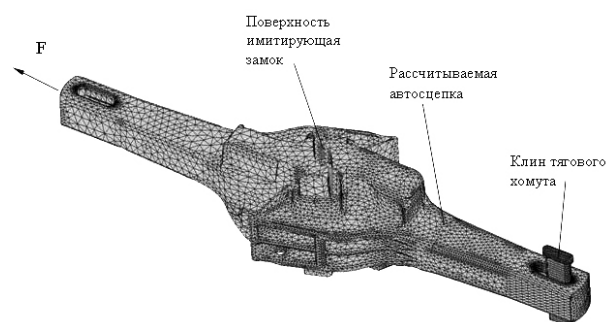


Рис. 2. Расчетная модель на растяжение с усилием 255 тс

Напряженно-деформируемое состояние корпусов автосцепок определялось при действии центральной статической нагрузки на растяжение 255 тс и сжатие 315 тс (данные о максимальных силах в автосцепке за 1 год эксплуатации представленные ниже), также с учетом

предельного допустимого вертикального смещения продольных осей относительно друг друга (100 мм, по 50 мм каждая, т.е. одна вверх, другая вниз).

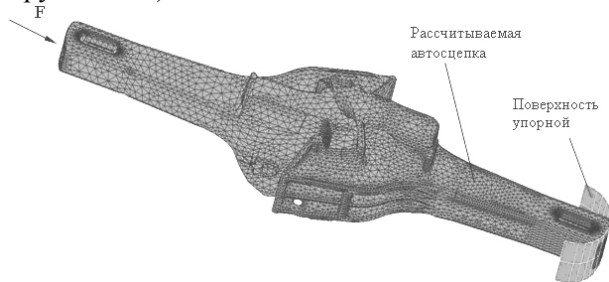


Рис. 3. Расчетная модель на сжатие с усилием 315 тс

Распределение эквивалентных (по Мизесу) напряжений (σ_3) в корпусе автоцепки при центральном растяжении силой 255 тс представлены на рис. 4, 5. Наибольшие напряжения, (761 МПа) возникают в краевых зонах контакта хвостовика с клином по цилиндрической части отверстия ($R=18$), в зоне перехода большого зуба к голове автоцепки ($\sigma_3 = 370$ МПа), в средней части хвостовика и зоне перехода хвостовика к голове автоцепки ($\sigma_3 = 350$ МПа).

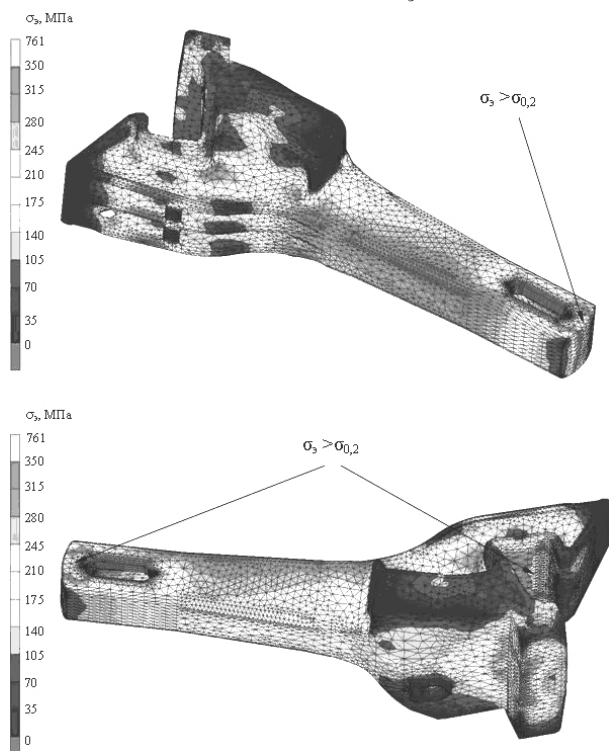


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений (σ_3 , σ_s) в корпусе автоцепки при центральном растяжении с усилием 255 тс

Распределение эквивалентных напряжений (σ_3) в корпусе автоцепки при центральном сжатии силой 315 тс показано на рис. 6. Най-

большие эквивалентные напряжения, (472 МПа) возникают в контактных зонах зацепления, а также в зоне перехода хвостовика к голове автоцепки ($\sigma_3 = 370$ МПа), в средней части хвостовика ($\sigma_3 = 350$ МПа) и, в зоне перехода малого зуба к голове автоцепки ($\sigma_3 = 350$ МПа).

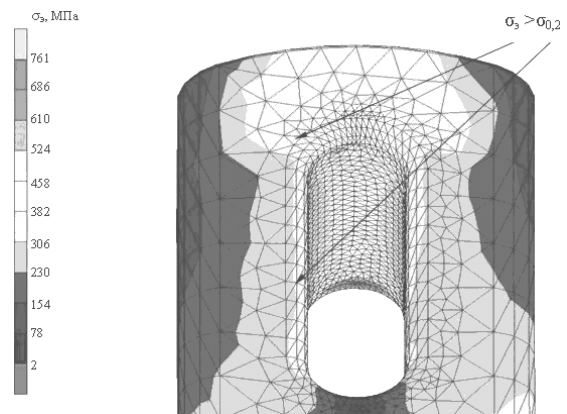


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений (σ_3) в зоне контакта хвостовика и клина упорного хомута при центральном растяжении с усилием 255 тс

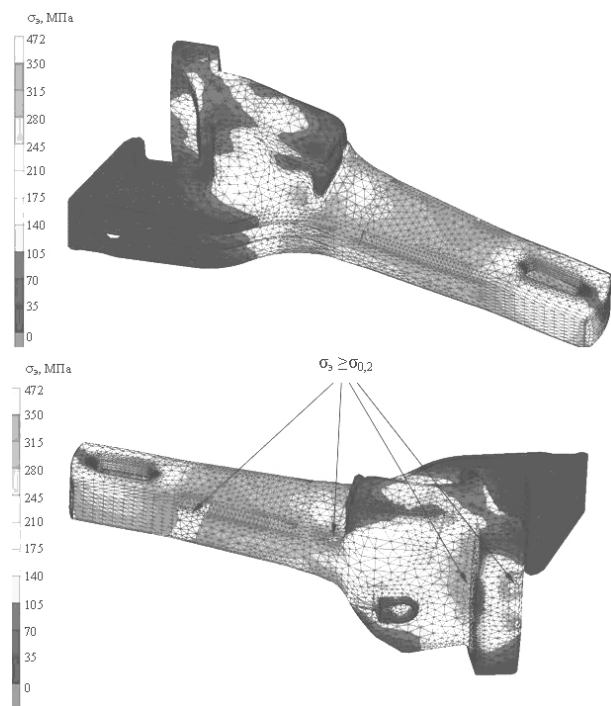


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений (σ_3) в корпусе автоцепки при центральном сжатии с усилием 315 тс

Распределение эквивалентных напряжений (σ_3) при растяжении силой 255 тс, приложенной при вертикальном смещении осей автоцепок на 100 мм представлено на рис. 7, 8. Най-

большие напряжения растяжения, (757 МПа), возникают в краевых зонах контакта по цилиндрической части отверстия ($R=18$), в зоне перехода большого зуба к голове достигают ($\sigma_3 = 370$ МПа), в средней части хвостовика и зоне перехода хвостовика к голове автосцепки ($\sigma_3 = 350$ МПа).

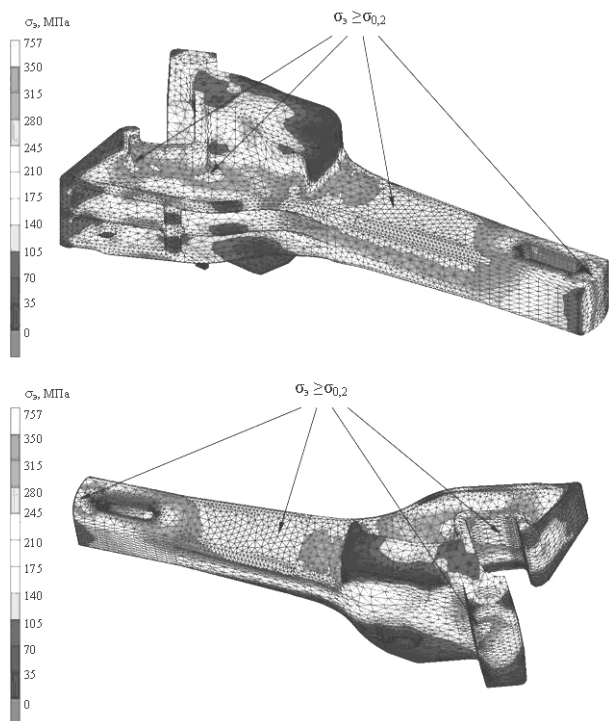


Рис. 7. Распределение эквивалентных напряжений (σ_3) в корпусе автосцепки при растяжении с эксцентриситетом 100 мм усилием 255 тс

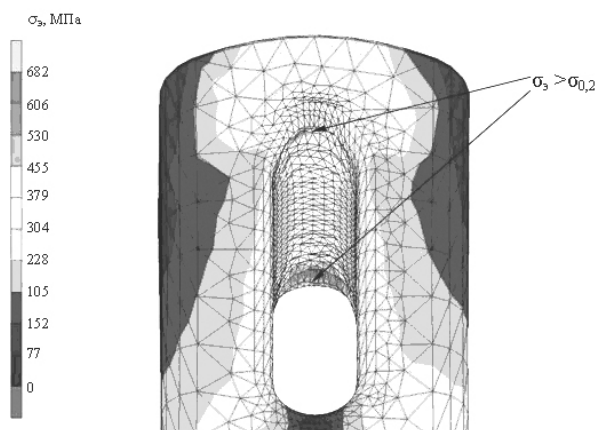


Рис. 8. Распределение эквивалентных напряжений (σ_3) в зоне контакта хвостовика и клина упорного хомута при растяжении с эксцентриситетом 100 мм усилием 255 тс

При сжатии со смещением осей на 100 мм (рис. 9), наибольшие эквивалентные напряжения, (495 МПа) возникают в контактных зонах зацепления, а также в зоне перехода хвостовика к головной части автосцепки ($\sigma_3 = 370$ МПа), в

средней части хвостовика ($\sigma_3 = 365$ МПа) и в зоне перехода малого зуба к голове автосцепки ($\sigma_3 = 350$ МПа).

Расчетами выявлено, что наиболее нагруженными является зоны проушины хвостовика, средней части, перехода хвостовика к голове авто сцепки и зоны перехода большого и малого зубьев к голове корпуса автосцепки, в которых напряжения достигают и даже превышают предел текучести.

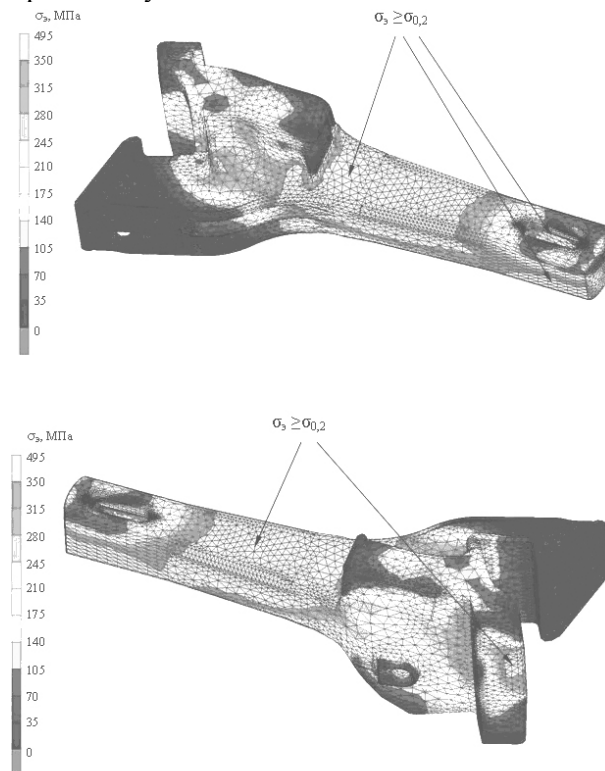


Рис. 9. Распределение эквивалентных напряжений (σ_3) в корпусе автосцепки при сжатии с эксцентриситетом 100 мм с усилием 315 тс

Расчетами установлено, что зоны с наибольшими напряжениями хорошо согласуются со статистическими данными по расположению мест повреждения корпуса автосцепки.

Оценка долговечности выполнялась с помощью программного комплекса MSC.Fatigue.

Расчеты выполнялись по методу зарождения трещины с использованием кривой усталости в деформациях. По этому методу долговечность рассчитывалась до момента появления трещины.

Поскольку при приложении к автосцепке растягивающих и сжимающих усилий реактивные силы возникают в различных местах, при растяжении это взаимодействие «проушина – клин», при сжатии «хвостовик – упорная плита», были выполнены два соответствующих ва-

рианта статического расчёта, учитывавшихся при расчёте долговечности одновременно. В расчёте использованы статистические данные по нагруженности автосцепок в эксплуатации, приведенные в табл. 1.

В соответствии с этой таблицей были построены две отдельные истории нагружения в течении одного года эксплуатации: для растяжения и для сжатия. Эти истории имеют разные длины, но, согласно требованиям программы, при одновременном использовании нескольких вариантов нагружения истории на грузения должны иметь одинаковую длину. Поэтому в более короткую историю нагружения при сжатии было добавлено необходимое количество нулевых точек. На рисунке 10 приведены эти истории нагружения.

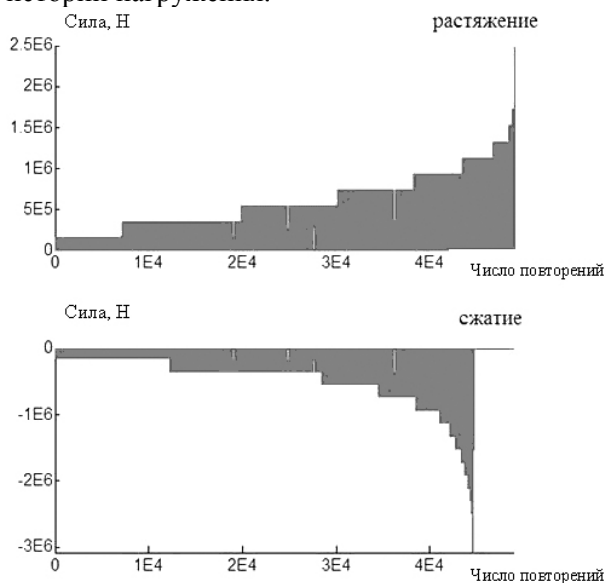


Рис. 10. Истории нагружения

На рис. 11 приведён фрагмент истории нагружения, показывающий последовательность приложения растягивающих и сжимающих нагрузок.

Расчет долговечности проводился для зон с наибольшими напряжениями представленных на рис. 12. Расчёты выполнены при вероятности разрушения не более 4 %, принятого блока продольной силы, соответствующего реальным условиям знакопеременного случайного нагружения. Оценка долговечности выполнена для двух вариантов литья: хорошего качества и низкого качества. Для хорошего качества литья эффективный коэффициент концентрации, принят равным 1,2, для низкого – 1,8. Эти коэффициенты определены путем согласования расчетной долговечности литых деталей (литая боковая рама грузового вагона), с результатами стендовых усталостных испытаний, выполнен-

ных ВНИКТИ (отчёт И-30-06). Результаты расчета представлены в табл. 2.

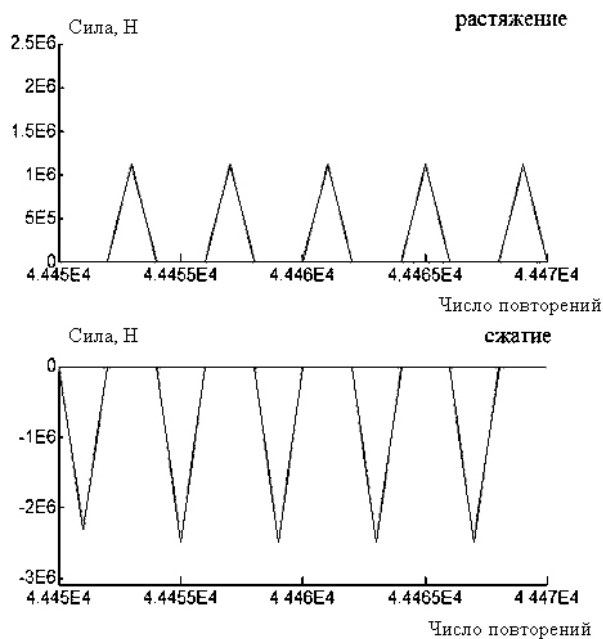


Рис. 11. Последовательность приложений растягивающих и сжимающих нагрузок

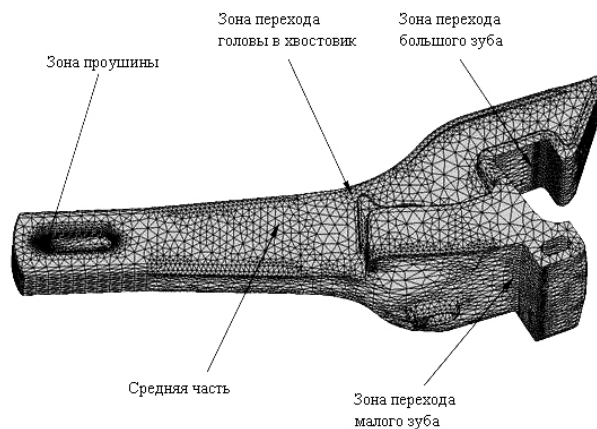


Рис. 12. Зоны оценки долговечности

Из полученных результатов выполненного расчета автосцепки СА-3 следует, что рабочие напряжения для некоторых областей превышают не только предел текучести но и предел прочности, что как показывает эксплуатация, является причиной образования трещин надрыва при однократном приложении максимальной продольной силы, так и появления пластических деформаций, способствующих интенсивному зарождению трещин малоциклового усталости.

Расчеты и осмотры в эксплуатации подтверждают, что наиболее опасным является сечение проушины хвостовика. При хорошем качестве литья долговечность корпуса автосцепки по проушине составляет примерно 10 лет, с учетом смещения осей до 100 мм долговеч-

ность уменьшается до 6 лет. По другим зонам долговечность с учетом смещения осей уменьшается в 3-4 раза (кроме зоны перехода малого зуба). При низком качестве литья долговечность корпуса автосцепки по всем зонам уменьшается примерно в 2 раза.

Таблица 2

**Оценка долговечности корпуса автосцепки
по областям высоких напряжений,
в годах эксплуатации**

Центральное растяжение-сжатие			Растяжение-сжатие с эксцентриситетом 100 мм	
	Хорошее качество литья	Низкое качество литья	Хорошее качество литья	Низкое качество литья
Зона проушины	10	5	6	3
Средняя часть	205	70	30	15
Зона перехода головы в хвостовик	79	32	15	8
Зона перехода большого зуба	23	11	7	4
Зона перехода малого зуба	38	17	33	16

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крайзгур Г. Б. Исследование и пути повышения надежности автосцепного устройства // Тр. ВНИИ вагоностроения, 1987.
2. Болдырев А. П. Научные основы совершенствования поглощающих аппаратов автосцепки: Дис... д-ра техн. наук. – 2006.
3. Костина Н. А. Уточнение характеристик нагруженности вагона продольными силами через автосцепку // Вестник ВНИИЖТ. – 1981. – № 4.

Поступила в редколлегию 02.09.07.

СТАН ВАГОННОГО ПАРКУ ТА ВАГОНОРЕМОНТНОЇ БАЗИ В УКРАЇНІ

В даній роботі зроблено аналіз стану парку пасажирських вагонів та вагоноремонтної бази. Представлено потужність окремих вагонних депо та потрібна програма ремонту Укрзалізниці

В настоящей работе представлен анализ парка пассажирских вагонов и вагоноремонтной базы. Представлены мощность отдельных вагонных депо и необходимая программа ремонта Укрзализныцы.

In-process real the analysis of park of passenger carriages and base for repair of carriages is represented. Power of separate carhouses and required program of repair of Ukrzaliznitsja is represented.

Вступ. Залізничний транспорт країни працює досить стабільно і в цілому задовольняє попит на пасажирські перевезення. Водночас висока вартість пасажирських перевезень, яка значною мірою зумовлюється незадовільним станом інфраструктури та рухомого складу, є досить вагомою складовою витрат для малозабезпечених верств населення. Подальше ефективне функціонування пасажирського господарства пов'язано з удосконаленням його організаційної структури управління; оновленням основних фондів і рухомого складу; впровадженням новітніх технологій і швидкісного руху; наданням нових видів послуг й захопленням нових секторів транспортного ринку; зменшенням збитковості перевезень пасажирів та інтегруванням до європейської транспортної системи. Нестача власних коштів та відсутність бюджетного фінансування унеможливають вирішення цієї проблеми і призводять до збільшення фізичного зносу та морального старіння основних фондів, втрати частки перевезень у дальньому сполученні. Для забезпечення розвитку й модернізації залізничної інфраструктури та рухомого складу потрібно залучення приватних коштів. Тому впровадження на залізничному транспорті структурної реформи є надзвичайно важливим фактором реалізації стратегічних завдань розвитку галузі [4, 11].

Але починати реформування пасажирських перевезень не можливо без впровадження антикризових заходів, які стосуються оновлення парку пасажирських вагонів за рахунок капітально-відновлювальних ремонтів, закупівлі нових вагонів, та аналізу потужності існуючої ремонтної бази Укрзалізниці

Постановка задачі. Дослідити структуру і стан пасажирських вагонів в Україні, проаналізувати потребу і потужність ремонтної бази, визначити шляхи оновлення рухомого складу.

Результати. Нижче в табл. 1-3 наведені існуючі структури парку пасажирських вагонів

за типами та за віком [6]. З табл. 1 випливає, що на 1 червня 2007 року парк інвентарний парк пасажирських вагонів налічував 7705 одиниць, основними типами пасажирських вагонів є вагони відкритого типу – 3788 од. та купейні – 2523 од.

Парк пасажирських вагонів розподілено між залізницями пропорційно існуючому плану формування поїздів. Найбільшу кількість пасажирських вагонів має Придніпровська – 1976 одиниць та Південно-Західна – 1608 одиниць залізниці. Проте якщо порівняти кількість пасажирських вагонів з середньою населеністю, то можна зробити висновок про те, що Львівська і Донецька залізниці мають надлишок вагонів, а Південно-Західна і Південна – дефіцит рухомого складу. Аналізуючи вікову структуру парку (табл. 2) [2] видно, що 2760 вагонів або 35,9 % вже вичерпала свій термін служби (28 років), але не виключаються з експлуатації, оскільки рухомого складу не вистачає для формування повноскладних поїздів.

З рис. 1 випливає, що вагонів віком до 10 років в пасажирському парку всього 250 од. або 3,3 %, віком від 11 до 20 років 1889 од. або 24,5 %, і віком від 21 до 28 років 2790 од. або 36,3 %. До кінця 2010 року вичерпають свій ресурс ще 1391 вагон. Таке старіння парку пасажирських вагонів пояснюється відсутністю необхідних коштів на придбання нових вагонів (табл. 3).

Для обслуговування пасажирських вагонів плановими видами ремонту Укрзалізниця має 19 вагонних депо, які виконують деповський, капітальний 1-го, 2-го об'єму та капітально-відновлювальний ремонти. За даними Головного пасажирського управління Укрзалізниці потреба в ремонті на 2007 рік та відповідна максимальна потужність ремонтної бази становить (табл. 4, 5) [5]:

Таблиця 1

**Наявність інвентарного парку пасажирських вагонів залізниць України
станом на 01.06.2007 року**

Підприємства	Типи вагонів														
	РІЦ	СВ	ЦМК	ЦМО	ЦМО обл.	ЦМР	ЦМБ	ЦМБ-П	Службові	Службовотехн.	Вагони дизель-електростанції	ЗАК	Спецвагони	Автомобі-левоз.	Всього
Донецька	4	39	310	547	31	37	13	0	3	4	0	6	0	0	994
Львівська	25	22	411	539	61	38	12	13	3	4	0	9	0	0	1137
Придніпровська	11	73	570	958	186	33	21	1	2	8	0	9	0	4	1876
Одеська	11	27	294	519	51	22	12	0	4	0	0	4	0	0	944
Південно-Західна	82	72	636	670	95	25	28	1	13	4	0	7	0	1	1608
Південна	14	23	302	555	179	24	20	0	3	2	9	8	4	3	1146
Укрзалізниця	147	256	2523	3788	603	179	106	15	28	22	9	43	4	8	7705

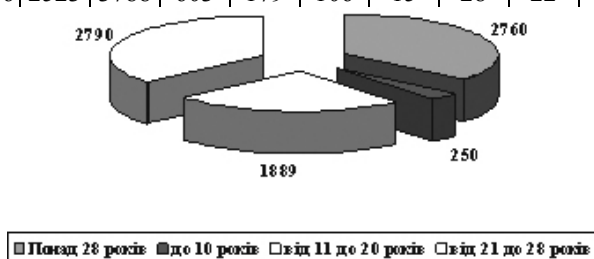


Рис. 1. Структура інвентарного парку пасажирських вагонів за віковими групами на 01.01.2007 р.
(за винятком спеціальних вагонів)

Таблиця 2

**Вікова структура пасажирських вагонів станом на 01.01.2007 р.
(за винятком спеціальних вагонів)**

Рік побудови	Тип вагонів								Всього
	РІЦ	СВ	ЦМК	ЦМО	ЦМО обл.	ЦМР	ЦМБ	ЦМП-Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1963	0	0	0	0	5	0	11	3	19
1964	0	0	0	0	3	0	0	1	4
1965	0	0	0	0	6	0	0	1	7
1966	0	0	1	3	10	0	1	0	15
1967	0	0	13	12	6	0	10	0	41
1968	0	5	31	17	13	0	10	2	78
1969	2	2	18	5	29	0	16	1	73
1970	5	1	38	33	31	0	11	0	119
1971	0	6	78	51	32	0	4	0	171
1972	2	10	79	57	63	0	8	0	219
1973	16	14	49	118	50	0	0	0	247
1974	17	4	131	160	102	0	1	0	415
1975	7	5	137	211	89	2	2	0	453
1976	14	20	98	140	48	6	4	0	330
1977	3	9	86	138	28	1	7	5	277
1978	2	16	100	155	6	12	0	1	292
1963-1978	68	92	859	1100	521	21	85	14	2760
1979	1	13	51	225	16	5	5	1	317
1980	11	10	70	222	8	7	1	0	329
1981	37	10	90	195	11	13	3	0	359
1982	24	21	137	180	8	15	1	0	386

Таблиця 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1983	5	3	119	201	0	2	3	0	333
1984	0	2	103	240	2	36	2	0	385
1985	0	3	81	223	0	30	5	0	342
1986	0	20	102	209	1	4	3	0	339
1987	0	0	124	155	0	19	0	0	298
1988	0	28	121	223	24	8	0	0	404
1989	0	23	160	253	2	13	0	0	451
1990	0	0	176	130	0	0	0	1	307
1991	0	7	206	147	0	11	0	0	371
1992	0	0	23	0	0	0	0	0	23
1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	4	4	0	0	0	0	8
1995	0	0	11	13	0	0	0	0	24
1996	3	0	0	0	0	0	0	0	3
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	11	0	0	0	0	11
1999	0	0	0	25	0	0	0	0	25
2000	0	0	0	23	0	0	0	0	23
2001	0	1	7	22	0	0	0	0	30
2002	0	0	4	9	14	0	0	0	27
2003	0	3	11	0	16	0	0	0	30
2004	0	4	16	0	0	0	0	0	20
2005	0	8	15	0	0	1	0	0	24
2006	0	6	38	0	14	2	0	0	60
1979-2006	81	162	1669	2710	116	166	23	2	4929
Разом	149	254	2528	3810	637	187	108	16	7689

Таблиця 3

Придбання пасажирських вагонів Укрзалізницею з 1992 по 2006 роки [2]

Рік поставки	Придбано вагонів	
	нових	б/у
1992	22	0
1993	8	0
1994	4	12
1995	17	23
1996	8	0
1997	0	37
1998	5	5
1999	22	0
2000	24	0
2001	37	2
2002	28	8
2003	31	2
2004	20	4
2005	24	0
2006	62	0
Всього	312	93

Таблиця 4

**Загальна потреба в планових видах ремонту пасажирських вагонів
на 2007 рік, максимальна потужність ремонтної бази та її використання**

Вид ремонту	Потреба в ремонті вагонів на 2007 р., од.	Максимальна потужність ремонтної бази, од.	Використання ремонтної бази Укрзалізниці, %
Деповський ремонт	3951	4626	85,41
Капітальний ремонт 1-го об'єму	645	904	71,35
Капітальний ремонт 2-го об'єму	110	222	49,55
Капітально-відновлювальний ремонт	76	92	82,61

З табл. 4 випливає, що потужність ремонтної бази по всіх видах ремонту не тільки задовольняє

потребі на 2007 рік, але й перевищує її по окремим видам ремонту в два або півтора рази.

Таблиця 5

Потреба в ремонтах на 2007 рік та максимальна потужність вагонних депо

Залізниця	План на 2007 рік та максимальна потужність вагонних депо за видами планових ремонтів, од.							
	ДР		КР-1		КР-2		КВР	
	план на 2007 р.	максимальна потужність	план на 2007 р.	максимальна потужність	план на 2007 р.	максимальна потужність	план на 2007 р.	максимальна потужність
Донецька	707	852	77	168	12	12	0	0
Львівська	600	936	80	108	20	60	12	12
Одеська	515	684	82	96	42	96	24	24
Південна	437	416	79	100	0	0	4	4
Південно-Західна	725	770	194	200	0	0	20	36
Придніпровська	967	968	142	142	36	54	16	16
Всього по УЗ	3951	4626	654	814	110	222	76	92

Нижче (табл. 6) наведені данні з ремонту пасажирських вагонів на вагоноремонтних заводах та в депо [2], з якої випливає, що за 2006

рік Укрзалізницею було відремонтовано 5436 вагонів, в тому числі на заводі 297 одиниць та в депо 5139 одиниць.

Таблиця 6

Виконання планових видів ремонту вагонів у 2006 році

Найменування виду ремонту	План		Звіт	
	кількість, од.	собівартість, тис. грн.	кількість, од.	собівартість, тис. грн.
Ремонт вагонів на заводі:				
КР-2	170	226,0	210	215,6
КРП	86	308,7	87	276,7
Разом	256		297	
Ремонт вагонів в депо:				
КР-1	720	59,9	720	66,5
КР-2	188	173,3	194	192,1
КРП	58	366,8	44	240,0
ДР	4036		4181	
Разом	5002	28,1	5139	27,9
Всього	5258		5436	

На всі види ремонту пасажирських вагонів у 2006 році Укрзалізниця витратила близько 360 млн грн. При цьому середня собівартість ремонту складала 66,2 тис. грн.

Якщо поділити загальну кількість пасажирських вагонів, відремонтованих у 2006 році, на інвентарних парк, то можна зробити висновок, що кожен сім вагонів з десяти були відремонтовані одним з планових видів ремонту.

Зі зростанням конкуренції на транспортно-му ринку відсутність необхідних фінансів на придбання нового рухомого складу змушує залізницю використовувати різні шляхи продовження терміну експлуатації пасажирського рухомого складу, що відпрацював нормативний строк, шукати можливості зменшення витрат на його обслуговування.

Одним із основних способів, що дозволяють

знижити витрати на відновлення вагонного парку й одночасно забезпечити комфортність пасажирських перевезень, є модернізація вагонів шляхом капітально-відновлювального ремонту з продовженням терміну служби (КРП).

Останнім часом з'явилося багато наукових праць, у яких розглядається питання виконання капітально-відновлювального ремонту КВР і КРП та його необхідності.

Наприклад, у роботі [12] автори зробили аналіз модернізації пасажирського рухомого складу, що відпрацював нормативний термін служби, шляхом капітально-відновлювального ремонту з продовженням терміну служби (КРП) в країнах Європи й Америки. Велика увага приділена питанню відновлення рухомого складу шляхом модернізації в країнах СНД, зокрема в Росії та Україні.

Світовий досвід експлуатації пасажирських вагонів показав, що після закінчення нормативного терміну служби їх списують в основному через вихід з ладу технічних вузлів, їх елементів, устаткування, а також унаслідок корозійних руйнувань металоконструкції кузова й ходових частин. Ушкодження останніх, як правило, незначні. Результати здійснюваних в різних країнах обстежень працездатності металоконструкцій вагонів, які мали різний термін експлуатації, свідчать про те, що каркас вагонного кузова здатний служити не менш 50 років. Замінне внутрішнє устаткування повинне відповідати сучасному рівню вимог пасажирів. Як відзначають автори статті, проведення КВР передбачає попередню оцінку залишкового ресурсу вагона й подальше повне чи часткове відновлення ресурсу шляхом заміни чи ремонту тих чи інших елементів кузова й ходових частин.

На основі даних, отриманих у процесі досліджень [9, 10] концепцію продовження терміну служби пасажирського вагона можна сформулювати так:

1. Можливість подальшої експлуатації пасажирського вагона визначається станом основних його тримальних конструкцій, візків, надресорних балок і кузова.
2. Критерієм продовження терміну служби вагона після КВР є наявність достатнього ресурсу його основних тримальних конструкцій.
3. Міцність вагонів після КВР повинна відповідати вимогам, запропонованим нормативним документом до нових та модернізованих конструкцій.

В Україні КВР пасажирських вагонів виконується вже протягом 9 років. Для цього була

закуплена іспанська технологія подовження терміну служби вагонів.

У 2005 році Державний науково-дослідний центр Укрзалізниці разом з Головними управліннями Укрзалізниці та ДПТом [15] розробив Державну програму розвитку рухомого складу до 2010 року, де була визначена потреба залізниць України в рухомому складі за кожним його видом. Ця програма враховувала обмежені кошти залізниці та проблематичне інвестування залізниць Урядом для закупівлі нових пасажирських вагонів. Було запропоновано й надалі вилучати пасажирські вагони після закінчення їх нормативного терміну служби (28 років) тільки після проведення першої та другої технічної діагностики, а також після 41 року загального терміну служби. Ці заходи вже призвели до зносу пасажирських вагонів на 86 % (дані на 01 січня 2005 року) та далі погіршують стан пасажирського вагонного парку. У програмі запропоновано на прогностичні роки закуповувати щорічно 5 000 піввагонів та 150 пасажирських вагонів нового покоління.

У табл. 7 наведені дані про виконання капітально-відновлювального ремонту пасажирських вагонів з 1998 року по 01 січня 2007 року вагонними депо та вагоноремонтними заводами України. Ці дані свідчать про те, що за дев'ять років відремонтовано та подовжено термін служби 1005 пасажирським вагонам, основну частину з яких складають вагони відкритого типу – 67,7 % та купейні – 16,1 %. Лідером з оновлення свого парку вагонів є Південно-Західна залізниця, на якій подовжено термін служби 306 одиницям рухомого складу або 19,03 %. В той же час парк Придніпровської залізниці оновлено за рахунок КВР всього на 8,85 %, що вказує на нерівномірний розподіл нових вагонів між залізницями у попередніх роках.

Рухомий склад, який в основному використовує Укрзалізниця, застарів не тільки фізично, а й морально. Ширина купе, система пожежна безпека, система вентиляції, туалети, плавність руху та інше не відповідають європейським стандартам. Україна та Росія почали виготовляти нові вагони (табл. 8) [17].

З наведених пасажирських вагонів найбільшої уваги заслуговує рухомий склад, який виробляє Крюківський вагонобудівний завод. Пасажирські вагони цього заводу повністю відповідають європейським санітарним нормам, мають покращений дизайн та комфортність (особливо Україна – 2). Їх доцільно закупляти для формування поїздів, які курсують за кордон та у внутрішньому сполученні.

Таблиця 7

**Виконання залізницями України КВР/КРП в депо і на ВРЗ за 1998- 2007 рр
станом на 01.07.07р.**

Залізниця	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	6 міс 2007	Всього
Донецька	0	25	41	30	13	9	20	25	38	0	201
Львівська	0	0	54	27	0	6	9	5	17	0	118
Одеська	0	0	0	10	27	12	7	8	17	2	83
Південна	0	0	8	10	14	14	28	24	33	0	131
Півд.-Зах.	18	0	34	65	54	39	38	28	27	3	306
Придніпр.	0	0	45	19	20	15	20	31	15	1	166
УЗ	18	25	182	161	128	95	122	121	147	6	1005
Типи вагонів	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	6 міс 2007	Всього
РІЦ	0	0	3	16	0	4	2	4	2	0	31
СВ	0	4	19	6	4	12	0	0	0	0	45
ЦМК	0	12	66	44	33	4	2	1	0	0	162
ЦМО	18	9	94	86	60	59	101	108	139	6	680
ЦМО обл.	0	0	0	0	0	3	16	2	2	0	23
ЦМР	0	0	0	7	13	8	0	2	1	0	31
ЦМБ	0	0	0	2	17	5	1	2	2	0	29
ЗАК	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3
Сл.- техн.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
УЗ	18	25	182	161	128	95	122	121	147	6	1005

Таблиця 8

**Порівняльна характеристика параметрів пасажирських вагонів
виробництва ВАТ «КВСЗ» та ТОВ «ТВЗ»**

Параметри	Купейні вагони		Вагони відкритого типу з місцями для сидіння		Купейні вагони з місцями для сидін- ня		Вагони типу "СВ"	
	КВСЗ мод. 61-779	ТВЗ мод. 61-4179	КВСЗ мод. 61-779 Д	ТВЗ мод. 61-4178	КВСЗ мод. 61-779 Б	ТВЗ мод. 61-4179	КВСЗ мод. 61-788 Б	ТВЗ мод. 61-4443
Маса тари вагону, т	62	56,7 без екіпір.	57,8	48 без екіпір.	59,16	57 без екіпір.	59	59,6
Довжина по осях автозчепу, мм	26696	24537	26696	24537	26696	25500	26696	25500
Кількість пасажирів, чол.	40	36	68	60	45	48	18	16
Тип візка	68-4065 68-4066	68-4065 68-4066	68-4065 68-4066	68-4071 68-4072	68-4065 68-4066	68-4075 68-4076	68-7007 68-7012	68-4095 68-4096
Кількість провідників, чол.	2	2	1	2	1	1		
Термін служби вагону, рік	30	28	30	28	30	28	30	40
Наявність екологічного туалету	так	ні	так	ні	так	так	так	ні
Наявність кондиціонеру	так	так	так	ні	так	так	так	так
Наявність інформаційної системи	так	ні	так	ні	так	так	так	так
Наявність телебачення	так	ні	так	ні	так	так	так	так
Наявність мікропроцесорного пристрою для управління роботою електрообладнання та кліматичною установкою	так	ні	так	ні	так	так		
Показники плавності руху	2,84 2,71	3,1 3,1	2,95 2,80	3,1 3,1	2,96 2,78	2,8 2,8		
Конструктивна швидкість, км/год	160	160	160	160	160	200	160	160
Кількість вагонів для перевезення 400 пасажирів, од.	10	11	6	7	9	8		

Тверський вагонобудівний завод може виробляти вагони, які хоча мають нижчу вартість, але не відповідають європейським санітарним нормам, а саме: ширина купе, відсутній екологічний туалет та інше. Виключенням є лише модель 61-4443 типу «СВ» на 16 місць, які мають термін служби 40 років та високу вартість. Ці вагони можливо закупляти лише для поїздів внутрішнього сполучення на окремих напрямках.

Всі наведені вагони запроектовані на конструктивну швидкість 160 км/год.

Враховуючи те, що Крюковський вагонобудівний завод має велику потужність, необхідну культуру виробництва і є українським заводом, нами рекомендовано закупляти нові вагони на ньому. Інколи висока ціна пасажирських вагонів на цьому заводі пояснюється виконанням усіх умов європейських стандартів.

Висновки. На основі проведених досліджень можна констатувати:

Аналізуючи вікову структуру парку видно, що 2760 вагонів або 35,9 % вже вичерпала свій термін служби (28 років), але не виключаються з експлуатації, оскільки рухомого складу не вистачає для формування повноскладних поїздів. Середній вік пасажирського вагону становить близько 25 років, що відповідає 89 % зношеності.

Потужність деповської ремонтної бази по всіх видах ремонту не тільки задовольняє потреби на 2007 рік, але й перевищує її по окремим видам ремонту в два або півтора рази.

На всі види планового ремонту пасажирських вагонів у 2006 році Укрзалізниця витратила близько 360 млн грн. При цьому середня собівартість ремонту склала 66,2 тис. грн. Якщо поділити загальну кількість пасажирських вагонів, відремонтованих у 2006 році, на інвентарних парк, то можна зробити висновок, що кожен сім вагонів з десяти були відремонтовані одним з планових видів ремонту.

За останні дев'ять років відремонтовано та подовжено термін служби 1005 пасажирським вагонам, основну частину з яких складають вагони відкритого типу – 67,7 % та купейні – 16,1 %.

Вагонобудівні заводи України та Росії пропонують для експлуатації нові вагони з конструктивною швидкістю 160 км/год. Найбільшої уваги заслуговує рухомий склад, який виробляє Крюковський вагонобудівний завод, вагони якого повністю відповідають європейським санітарним нормам, мають покращений дизайн та комфортність.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Амелин В. М. Капитальный ремонт электропое-

- здов с продлением срока службы // Ж.-д. трансп. – 2001. – № 6. – С. 52-56.
2. Аналіз роботи залізниць України по пасажирських перевезеннях за результатами роботи за 2006 рік / Укрзалізниця. – К., 2007.
3. Гапеев С. Н. Пассажирские вагоны, электро- и дизель-поезда // Ж.-д. трансп. – 2001. – № 3. – С. 17-21.
4. Державна програма реформування залізничного транспорту (проект) / Лист Укрзалізниці від 23.04.2007 р. № ЦЗ-1-Ф-11/260.
5. Довідка щодо планів ремонту, потужності та собівартості проведення планових видів ремонту в умовах депо по окремим залізницям України / Матеріали Укрзалізниці 2007 року.
6. Довідка щодо наявності інвентарного парку пасажирських вагонів залізниць України станом на 01.06.2007 року / Матеріали Укрзалізниці 2007 року.
7. Довідка щодо вартості ремонту пасажирських вагонів на ВРЗ країн СНД, ПДВ / Матеріали Укрзалізниці 2007 року.
8. Дослідження та науково-технологічне обґрунтування життєвого циклу пасажирських вагонів / Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна; № ДР 0104 У006659. – Д. 2004.
9. Комплексная оценка ресурса пассажирских вагонов после капитально-восстановительного ремонта. Ч. 1 / Е. П. Блохин, О. М. Савчук, В. Л. Горобец и др. // Залізничний трансп. України. – 2002. – № 6. – С. 24-29.
10. Комплексная оценка ресурса пассажирских вагонов после капитально-восстановительного ремонта. Ч. 2 / Е. П. Блохин, О. М. Савчук, В. Л. Горобец и др. // Залізничний трансп. України. – 2003. – № 3. – С. 23-17.
11. Концепція державної програми реформування залізничного транспорту // Магістраль. – 2007. – № 1 (1179), 10-16 січ.
12. Марко В. В. Обновление пассажирского вагонного парка путем капитально-восстановительного ремонта / В. В. Марко, И. В. Мариненко, О. М. Савчук // Заліз. трансп. України. – 2000. – № 3. – С. 14-17.
13. Модернизация пассажирского подвижного состава – действенный путь его обновления / Б. Г. Цыган, Л. И. Пирогов, А. В. Донченко, Ю. А. Трубочев // Заліз. трансп. України. – 2003. – № 2. – С. 21-27.
14. Наявність пасажирських вагонів на Укрзалізниці станом на 01.01.07 р. / Матеріали Укрзалізниці 2007 року.
15. Програма розвитку рухомого складу Укрзалізниці / Держ. наук.-дослід. центр заліз. трансп. України. – К., 2005.
16. Службовий розклад руху пасажирських поїздів 2007-2008 рр. – К., 2007. – 1025 с.
17. Сравнительные характеристики параметров пассажирских вагонов производства АО «УВЗС», ОАО «ТВЗ» и ДВА. Матеріали АТ «КВЗС».

Надійшла до редакції 11.11.2007.

РАЦИОНАЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА

Обґрунтована доцільність зсуву парадигми реалізації моделей руху динамічних систем у бік розв'язання їхньої зворотної задачі. Вказану парадигму розроблено для моделі руху магнітолевитуемого поїзда.

Обоснована целесообразность сдвига парадигмы реализации моделей движения динамических систем в сторону решения их обратной задачи. Указанная парадигма разработана для модели движения МЛП.

The expediency of dynamic systems motion models realization paradigm shift aside of their return problem decision is proved. The specified paradigm is developed for magnetic levitated train motion model.

Основная функциональная цель создания транспортных систем с магнитолевитирующими поездами (МЛП) – радикальная интенсификация пассажирских и грузовых потоков. Эксплуатационные скорости движения таких поездов экстремально высоки для наземного транспорта. Это, в свою очередь, делает проблему обеспечения высокого качества этого движения приоритетной среди всех иных, подлежащих решению при создании комплексов с МЛП. Упомянутое качество должно гарантированно обеспечиваться во всех принципиально возможных эксплуатационных режимах.

МЛП представляют собой весьма дорогостоящие, уникальные артефакты. Натурный эксперимент над ними во всей должной его полноте дорог, долог, опасен, а часто и вовсе невозможен. Обычные теоретические методы также мало эффективны при исследовании протекающих в них процессов. Исходя из этого, возможно большую часть указанных исследований следует выполнять с использованием математического моделирования [1], сочетающего в себе, как известно, многие достоинства как теоретических, так и экспериментальных методов. В то же время [2], в частности, вследствие упомянутой специфики МЛП, в качестве их расчетных схем принимаются сложные большие во многом существенно нелинейные динамические системы, а математическими моделями, адекватно описывающими их реальные эксплуатационные движения, являются большие сложные системы нелинейных дифференциальных уравнений. Конечные выражения их компонентов, как правило, чрезвычайно громоздки, сложны и трудно обозримы. Помимо того, на современном уровне развития теории дифференциальных уравнений, аналитическое решение указанного их вида является возможным лишь в простейших

случаях, как правило, не соответствующих реальным эксплуатационным ситуациям. В общем же случае, указанные уравнения допускают лишь численное решение.

Отмеченный приоритет проблемы качества движения МЛП требует, при её решении, не только значительного повышения полноты, адекватности и системности отражения в математических моделях структурно-параметрических особенностей поезда, но и подъёма уровня результирующих функциональных возможностей таких моделей. Дальнейшее наращивание, в рамках традиционного пути реализации – решения прямой задачи динамики системы, их размерностей и сложности ведёт к лавинообразному росту объёма и быстрому падению точности информационных преобразований моделирования.

При использовании упомянутого традиционного пути реализации модели движения МЛП – интегрировании уравнений такого движения – эта реализация носит предсказательно-констатирующий, чисто аналитический, не конструктивный характер и принципиально не может гарантировать достижение требуемого качества этого движения. В тоже время, как отмечалось, такое гарантированное достижение является совершенно необходимым во всех реальных режимах эксплуатации МЛП.

Рациональное разрешение возникающей, таким образом, коллизии может быть найдено в смене парадигмы реализации модели движения МЛП на обладающую непосредственно-креативными, эвристическими свойствами, достигаемыми при решении обратной задачи динамики исследуемой системы.

В самом начале развития динамики, как науки о движении материальных систем, концепция обратной задачи этого раздела физики

была первоначально сформулирована и применена [3] для определения значений и направлений усилий, вызывающих реальные движения планет Солнечной системы в соответствии с законами Кеплера. Затем, однако, весьма продолжительное время приоритетные задачи развития производительных сил общества удовлетворялись, в основном, за счёт описания и предсказания движений (в широком смысле) исходя из свойств изучаемых систем, а также действующих на них естественных возмущений [4]. Иными словами, – путём решения прямой задачи динамики. Дальнейший прогресс в области как утилитарных, так и познавательных потребностей человечества привёл к необходимости всё более часто и полно [5...10] формулировать и решать задачу, качественно противоположную указанной. А именно – определять те свойства систем (параметры элементов и структуру их сопряжения), а также их управляющие принуждения, которые бы порождали, в общем случае, требуемые результирующие движения таких систем. Особую актуальность обратная задача динамики приобрела с развитием техники и вооружений [11...14].

На современном этапе дальнейший прогресс практически во всех областях цивилизации невозможен без использования всё более мощной и быстродействующей компьютерной техники. Но, несмотря на бурное развитие как аппаратного, так и программно-информационного её компонентов, решение актуальных задач динамических систем (во всех областях) с использованием концепций в основном прямой их задачи практически не реально [15]. Даже в случае относительно простых расчётных схем исследуемых систем, модели их естественной динамики чрезвычайно громоздки. Выражения коэффициентов их уравнений слабо обозримы. Приведение этих уравнений к нормальной форме Коши, чего требует традиционная – путём численного интегрирования этих уравнений – реализация таких моделей, крайне затруднено. Опережающий, прогнозный, многовариантный тип такой реализации – практически не реализуем не только на бортовых, но и на подавляющем большинстве стационарных компьютеров. Результат же этой реализации носит лишь констатирующий, не конструктивный характер и принципиально не может, как отмечалось, гарантировать требуемое результирующее качество движения системы.

Сдвиг парадигмы реализации той же модели в сторону решения, с её помощью, обратной задачи динамики системы радикально меняет ситуацию. Сама такая реализация становится несравненно

менее ресурсоёмкой, а осуществление её результатов позволяет гарантировать требуемое качество движения МЛП. При этом такая реализация модели обретает непосредственно-креативный, эвристический характер, не присущий традиционному пути её применения. Использование результатов такой её конструктивной реализации позволяет придать исследуемой системе весьма важное свойство грубости [16] а сама эта реализация становится возможной непосредственно в процессе управления движением МЛП – на бортовых компьютерах. Наконец, если тот же тип реализации модели сочетать с принципом управления поездом по обобщённым ускорениям, то, дополнительно к отмеченному, появляется возможность автоматического обеспечения свойства адаптивности его движения к обстановке [17]. По отношению к столь сложным, большим и разнородным по физической природе элементов системам, какими являются МЛП, отмеченное тем более актуально, особенно – с учётом свойства эмерджентности таких систем [18].

Исходя из изложенного, целью настоящей работы является разработка парадигмы рациональной реализации математической модели движения МЛП, свободной от отмеченных несовершенств (неизбежных при использовании традиционного способа такой реализации). Парадигма должна быть ориентирована на обеспечение возможности достижения максимально высокого (исходя из принимаемых критериев оценки) уровня качества результирующего движения системы, а также его приспособляемости к окружающей обстановке и, благодаря этому, позволять существенно облегчать процесс и усовершенствовать результат синтеза желательной управляемой динамики рассматриваемого поезда.

В качестве основы создаваемой парадигмы рациональной реализации математической модели движения МЛП примем концепцию обратной задачи динамики систем, свободную от указанных недостатков традиционного пути такой реализации [10] и, кроме того, обладающую рядом дополнительных положительных свойств [19].

Выполнение требуемых движений поезда в целом должно обеспечиваться во взаимодействии всех его подсистем. Среди них – механическая (МП), электромагнитная (ЭМП), аэродинамическая (АДП), термодинамическая (ТДП) и многие иные. Основными из них являются первые две. Но на качество реального движения МП МЛП, являющееся определяю-

щим критерием при глобальной оценке результирующей эффективности рассматриваемой транспортной технологии, влияние, в определённой степени, оказывает функционирование всех слагающих её компонентов.

Модель естественного движения МП МЛП в координатах $\eta^\lambda \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$, удобных для описания этого движения относительно направляющего его пути, может быть записана в виде [20]

$$c_{\lambda\mu} \cdot \ddot{\eta}^\mu + C_{\lambda,\mu\nu} \cdot \dot{\eta}^\mu \cdot \dot{\eta}^\nu = Y_\lambda \quad \forall \lambda, \mu, \nu \in [\overline{1, L}], \quad (1)$$

где $c_{\lambda\mu}, C_{\lambda,\mu\nu}, Y_\lambda \quad \forall \lambda, \mu, \nu \in [\overline{1, L}]$ – ковариантный метрический тензор агрегата, являющегося расчётной схемой указанной подсистемы, его трёхиндексный символ Кристоффеля 1-го рода в координатах $\eta^\lambda \quad \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$, а также обобщённые силы им соответствующие.

На текущие значения $Y_\lambda \quad \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$ влияние оказывают все компоненты МЛП как единой системы.

Основными функциональными элементами ЭМП МЛП являются тяговый, левитационный, а также боковой стабилизации. Смыслом функционирования этой подсистемы является дозированный отбор энергии из питающей электрической сети, а также её преобразование в энергию парциальных движений МП поезда. В полной мере и с требуемым качеством указанные функции (дозированный отбор и электромеханическое преобразование энергии) ЭМП должны осуществляться в управляемых режимах движений МЛП. Построение же любого из таких движений, как известно, невозможно без описания функционирования МЛП как единой системы. Поэтому, в дополнение к модели (1) естественного движения МП, должно быть описано функционирование иных, значимых для его механического движения, компонент поезда. В первую очередь это относится к ЭМП МЛП.

Мерой взаимодействия электромагнитной и механической подсистем каждого j -го экипажа МЛП являются тяговое F_{Tj} , левитационное F_{Lj} и, стабилизирующее его поперечные колебания, направляющее F_{Gj} усилия, а также усилие его электродинамического торможения F_{Dj} . Мгновенные значения указанных усилий могут быть определены согласно выражениям [21]:

$$f_{Tj} = \sum_{v=1}^K i_s^v \cdot \sum_{\kappa=1}^{N_{ac}} i_{ac}^\kappa \cdot \frac{\partial \mu_{v\kappa}}{\partial \xi}; \quad (2)$$

$$f_{Lj} = \sum_{v=1}^K i_s^v \cdot \sum_{\lambda=\chi_v-E}^{\chi_v+E} i_{wc}^\lambda \cdot \frac{\partial m_{v\lambda}}{\partial \xi}; \quad (3)$$

$$f_{Gj} = \sum_{v=1}^K i_s^v \cdot \sum_{\lambda=\chi_v-E}^{\chi_v+E} i_{wc}^\lambda \cdot \frac{\partial m_{v\lambda}}{\partial \eta}; \quad (4)$$

$$f_{Dj} = \sum_{v=1}^K i_s^v \cdot \sum_{\lambda=\chi_v-E}^{\chi_v+E} i_{wc}^\lambda \cdot \frac{\partial m_{v\lambda}}{\partial \xi}, \quad (5)$$

где i_s^v , K – мгновенное значение тока цепи в v -ого сверхпроводящего экипажного контура (СЭК), а также число таких контуров, установленных на экипаже;

$i_{ac}^\kappa, i_{wc}^\lambda$ – текущие значения токов в цепях κ -ой якорной катушки линейного синхронного двигателя (ЛСД) и λ -го короткозамкнутого путевого контура (КПК);

N_{ac} – число катушек якорной обмотки ЛСД, взаимодействие с которыми ежесекундно учитывается для каждого СЭК;

χ_v – порядковый номер (считая от начала участка трассы, вдоль которого происходит движение МЛП, с учётом направления этого движения) последнего КПК, поперечную осевую линию которого миновала поперечная осевая линия v -го СЭК;

E – половина числа КПК, с которыми, при любом текущем положении СЭК, учитывается его электромагнитное взаимодействие

$\mu_{v\kappa}, m_{v\lambda}$ – взаимные индуктивности между магнитной цепью v -го СЭК, а также соответственно цепями κ -ой якорной катушки и λ -го КПК;

$Q\xi\eta\zeta$ – путевой триэдр рассматриваемого экипажа МЛП.

Токи $i_s^v \quad \forall v \in [\overline{1, K}]$, с достаточной для практических целей точностью, могут считаться имеющими постоянные значения. Мгновенные же значения токов

$$\forall \lambda \in [(\chi_v - E), (\chi_v + E)], \quad v \in [\overline{1, K}] \text{ и } i_{ac}^\zeta \\ \forall \zeta = \xi + 3 \cdot \sigma, \quad \xi \in [\overline{1, 3}], \quad \sigma \in [\overline{1, (K_s - 1)}] \quad (\text{где}$$

K_s – число триад якорных катушек, включённых в секцию статора ЛСД) а также величин $\frac{\partial \mu_{v\kappa}}{\partial \xi}, \frac{\partial m_{v\lambda}}{\partial \xi}, \frac{\partial m_{v\lambda}}{\partial \eta}, \frac{\partial m_{v\lambda}}{\partial \xi} \quad \forall v \in [\overline{1, K}]$,

$K \in [\overline{1, N_{ac}}], \quad \lambda \in [(\chi_v - E), (\chi_v + E)]$ определяются динамическим взаимодействием МП и ЭМП МЛП.

Традиционная реализация модели движения МЛП предполагает, как известно, численное интегрирование описывающих это движение диффе-

ренциальных уравнений. При этом, с учётом изложенного, интегрированию, в общем случае, подлежит совокупность уравнений, описывающих динамику всех компонентов МЛП, или, по крайней мере, – наиболее значимых (для движения МП) из них. Последними, безусловно, являются МП и ЭМП. Но, даже их динамика описывается системами существенно нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка, число которых (при исследовании реальных движений МЛП) может исчисляться десятками и даже сотнями, а конечные выражения для определения значений элементов таких уравнений являются, как правило, весьма громоздкими. При этом решение прямой задачи динамики поезда предполагает, как известно, предварительное разрешение подлежащих интегрированию уравнений относительно старших производных. А это, в свою очередь, требует обращения матриц высокой размерности. Если учитывается параметрическая, и (или) структурная нестационарность исследуемой системы, то такое обращение должно производиться на каждом шаге интегрирования. В случае, если реализация модели предполагается непосредственно в процессе движения МЛП (то есть должна носить прогнозирующий, многовариантный характер), то её (такой реализации) осуществление становится вовсе не реальным. Но даже в случае, если использование построенной модели предполагается для поверочных расчётов в стационарных (не «бортовых») условиях, а система, принимаемая в качестве расчётной схемы МЛП, предполагается полностью стационарной, осуществление традиционного пути реализации описывающих движение уравнений сопряжено с большими, ни чем не оправданными временными, финансовыми и иными затратами. При этом, как отмечалось, лавинообразно растёт объём и катастрофически быстро падает точность информационных преобразований моделирования. Ситуация ещё более усугубляется тем обстоятельством, что результат решения прямой задачи динамики системы носит предсказательно-констатирующий, чисто аналитический, не конструктивный характер и принципиально не может гарантировать достижение требуемого качества изучаемого движения.

Реализация модели движения МЛП может быть радикально рационализирована сдвигом парадигмы такой реализации в сторону решения обратной задачи динамики исследуемой системы. Детализация постановки этой задачи, в каждом конкретном случае, зависит, в частности, от конкретных особенностей условий её решения, а также качеств, которые желательно придать реальному движению поезда. Однако,

глобальный стратегический смысл указанной задачи заключается, как известно [10, 22, 23], в следующем. Движение поезда под действием его естественных возмущений, описываемое соответствующими уравнениями, в подавляющем большинстве случаев не обладает желательными свойствами. В свою очередь, эти свойства определяют качество указанных движений и могут быть каким-либо удобным образом описаны, благодаря чему, – становятся доступными для использования. Чтобы реальное движение МЛП обладало упомянутыми свойствами, следует любым способом, не противоречащим объективным физическим законам, изменить моделирующие это движение уравнения так, чтобы они были совместны с описанием желательных свойств. Способ преобразования модели принципиально не ограничен и определяется, в основном, удобством натурной реализации влекомых им изменений исследуемой системы или (и) воздействий на неё. На практике, однако, наиболее распространённым является введение в модель движения аддитивных управляющих воздействий на систему.

С целью конкретизации рассмотрения, примем один из наиболее гибких и приемлемых для МЛП способ реализации его желаемого движения – терминальное управление им [24, 25]. Тогда задачей движения поезда считается его приведение к назначенным моментам времени в априорно заданную последовательность состояний, а на пространства фазовых координат, естественных возмущений и управлений накладываются реальные ограничения $\Omega_x(t)$, $\Omega_w(t)$ и $\Omega_u(t)$ соответственно. В зависимости от целей и задач исследования, эти множества могут быть различно физически интерпретированы.

Исходя из модели (1) естественной динамики МП МЛП, в случае терминального управления им, модель управляемого движения этой подсистемы имеет вид

$$\dot{x}(t) = f[x(t), u(t), w(t), t] \forall t \in [t_s, \theta];$$

$$x(t_s) = x_s, \quad (6)$$

где $x(t), u(t), w(t) \forall t \in [t_s, \theta]$ – векторы состояния подсистемы, а также управляющих и возмущающих воздействий на неё;

t – удобная для проведения исследования независимая переменная, например, время;

$[t_s, \theta]$ – интервал построения движения;

x_s – его начальные условия.

Цель движения поезда формализуем программой

$$x(\tau) = x_f, \quad (7)$$

где τ, 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 соотношения

$$x(t) \in \Omega_x(t), u(t) \in \Omega_u(t) \quad \forall t \in [t_s, \tau] \quad (8)$$

и, кроме того, известна некоторая априорная информация

$$w(t) \in \Omega_w(t) \quad \forall t \in [t_s, \tau]. \quad (9)$$

Программа (7) накладывает ограничение лишь на конечное (на интервале $[t_s, \tau]$) состояние МП поезда. Поэтому моделью (6), совместно с условиями (7)–(9), определяется ансамбль фазовых траекторий изображающей точки подсистемы в пространстве её состояний

$$\begin{aligned} X[u(\bullet), w(\bullet), x_s, x_f] = \\ \{x[\bullet, u(\bullet), w(\bullet), x_s, x_f] \in \Omega_x(t) : \\ u(\bullet) \in \Omega_u(t), \quad w(\bullet) \in \Omega_w(t), \quad t \in [t_s, \tau]\}; \\ u(\bullet) = \{u(t) \forall t \in [t_s, \tau]\}; \\ w(\bullet) = \{w(t) \forall t \in [t_s, \tau]\}; \\ \{x[\bullet, u(\bullet), w(\bullet), x_s, x_f] = \\ \{x[t, u(\bullet), w(\bullet), x_s, x_f] \forall t \in [t_s, \tau]\} \end{aligned} \quad (10)$$

каждая из которых удовлетворяет краевым условиям

$$x(t_s) = x_s, \quad x(\tau) = x_f. \quad (11)$$

Если, помимо удовлетворения этих условий, к движению МП МЛП не предъявляется никаких иных требований, то управление ею синтезируется в чисто терминальной постановке, предполагающей, в зависимости от конкретных значений возмущений (9), возможность реализации любой траектории из ансамбля (10). 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 до-

полнительных полезных свойств. Например, если потребовать, чтобы, помимо удовлетворения условий (8) и (11), на реализуемой фазовой траектории подсистемы имело место соотношение

$$I = \inf_{u(\bullet)} \sup_{w(\bullet)} \left\{ \int_{t_s}^{\tau} \lambda[u(\bullet), w(\bullet)] \cdot dt : \right.$$

$$\left. u(\bullet) \in \Omega_u(t), \quad w(\bullet) \in \Omega_w(t), \quad t \in [t_s, \tau] \right\}, \quad (12)$$

где I – интегральный показатель качества управления;

λ – заданная функция своих аргументов, то задача синтеза управления носит игровой минимаксный характер, базирующийся на концепции гарантированного результата [26]. При этом упомянутое управление приобретает свойства, оптимальные по критерию I , а из ансамбля (10) реализуется единственная траектория, экстремальная по этому критерию. Целенаправленное движение МП МЛП определено однозначно и гарантированно обладает оптимальностью в указанном смысле при любых возможных возмущениях. Такой подход позволяет, в зависимости от необходимости, в различных эксплуатационных режимах оптимизировать требуемые характеристики указанного движения.

Итак, путем классификации и параметризации обстановки, в которой происходит движение МП МЛП [26], а также построения для каждой типовой ситуации оптимального, в требуемом смысле, управления этим движением, может быть решена задача синтеза абстрактного разомкнутого [27] 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, состоящих каждый из ряда вторичных критериев, которым одновременно должно удовлетворять движение МП поезда.

Исполнительным органом, реализующим возникновение компонент управляющих воздействий $u(t) \quad \forall t \in [t_s, \tau]$ на продольное движение МП МЛП, является, как отмечалось, ЛСД. Поэтому для реализации желаемого движения поезда, с использованием соотношений (2), а также тех, которые описывают динамику

ЭМП МЛП, могут быть определены рациональные диапазоны параметров ЛСД и их соотношений, а также требуемые законы (совместного, взаимоувязанного) изменения характеристик питающего его фазную якорную обмотку напряжения, необходимые для реализации соответствующего компонента синтезируемого $u(t)$ $\forall t \in [t_s, \tau]$. Такое определение, для его реализации, требует выполнения лишь операций алгебры матриц. Таким образом, ресурсоёмкость реализации модели движения, по сравнению с традиционным вариантом, радикально снижается.

Поскольку практически все компоненты управляющих воздействий на поезд неизбежно реализуются с ошибками, то и порождаемые ими движения отличаются от желательных. Поэтому, в дополнение к синтезу, программных составляющих упомянутых компонентов $u(t)$ $\forall t \in [t_s, \tau]$, должна решаться задача «замыкания» управления МЛП [27], состоящая в нахождении корректирующих принуждений системы, гасящих ошибки её движения по сравнению с желаемым.

Для синтеза как программных, так и корректирующих составляющих компонентов принуждений поезда принципиально возможным является использование различных представлений его желательных и фактически реализуемых движений [13, 14]. В то же время, при наличии такой возможности, целесообразным является [17] использование в алгоритмах такого синтеза обобщённых ускорений системы. В этом случае она приобретает свойство автоматической адаптации к обстановке движения.

Приведенная схема решения обратной задачи динамики МЛП свидетельствует о том, что, основанная на этом решении, разработанная парадигма реализации модели движения, свободна от несовершенств, неизбежных при использовании традиционного способа такой реализации. Она несравненно более ресурсно-экономична по сравнению с традиционной, а осуществление её результатов позволяет гарантировать требуемое качество движения поезда. В то же время, как отмечалось, такая реализация модели, в отличие от традиционной, имеет креативный, эвристический характер, использование её результатов позволяет придать исследуемой системе весьма важное свойство грубости, а сама эта реализация становится возможной непосредственно в процессе управления движением МЛП – на бортовых компьютерах. Кроме того, если в основу замыкания синтезированного управления

$u(t)$ $\forall t \in [t_s, \tau]$ будет положен принцип отработки обобщённых ускорений системы, то она автоматически обретает свойство адаптивности движения к обстановке. Благодаря всему этому, разработанная парадигма позволяет существенно облегчать процесс и усовершенствовать результат синтеза желательной управляемой динамики рассматриваемого поезда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дзензерский В. А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / В. А. Дзензерский, В. И. Омеляненко, С. В. Васильев, В. И. Матин, С. А. Сергеев - К.: Наук. думка, 2001.
2. Дзензерский В. А. Некоторые вопросы математического моделирования левитационного движения электродинамических транспортных средств / В. А. Дзензерский, А. А. Зевин, Н. А. Радченко, Н. М. Хачапуридзе // Математическое моделирование в образовании, науке и промышленности: Сб. научн. трудов. СПб.: Санкт-Петербургское отделение МАН ВШ, 2000.
3. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. Собр. соч. А. Н. Крылова. – М.-Л.: Из-во АН СССР, 1936.
4. Динамика // Математическая энциклопедия. – М.: Сов. Энциклопедия, 1979.
5. Суслов Г. К. О силовой функции, допускающей данные интегралы. – К., 1890.
6. Мещерский И. В. Динамика точки переменной массы. – СПб: 1897.
7. Bertrand M. J. Theoreme relatif au mouvement d'un point attire vers un centre fixe // Comptes Rendus – 1873. – V. 77.
8. Жуковский Н. Е. Определение силовой функции по данному семейству траекторий. Собр. соч. Т. 1. – М.-Л.: Гостехиздат, 1948.
9. Аппель П. А. Теоретическая механика. Т. 1, 2. – М.: Физматгиз, 1960.
10. Галиуллин А. С. Аналитическая динамика. – М.: Высшая школа, 1989.
11. Космодемьянский И. В. Экстремальные задачи для точки переменной массы // ДАН СССР. – 1946. Т. 53, № 1.
12. Космодемьянский А. А. Лекции по механике тел переменной массы // Уч. Зап. МГУ. 1951. Т. IV. Вып. 154.
13. Охочимский Д. Е. К теории движения ракет // ПММ. – 1946. Т. X. Вып. 3.
14. Воробьев Л. М. К теории полёта реактивных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1979.
15. Величенко В. В. Матрично-геометрические методы в механике с приложениями к задачам робототехники. – М.: Наука, 1988.
16. Крутько П. Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: Линейные модели. – М.: Наука, 1987.

17. Крутько П. Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: Нелинейные модели. – М.: Наука, 1988.
18. Перегудов Ф. И. Введение в системный анализ / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М.: Высш. шк., 1989.
19. Джозл Баркер Парадигмы мышления: Как увидеть новое и преуспеть в изменяющемся мире. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007.
20. Поляков В. А. Моделирование относительного движения магнитолевитирующего поезда / В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. В. Лазаряна. Вип. 14 – Д.: ДПТ, 2007.
21. Исследования и разработки в области создания магнитолевитирующих транспортных систем и модулей бортового энергообеспечения. Разработки и исследования в области динамики левитирующего транспорта на электродинамическом подвесе (заключительный). Отчёт о НИР. Институт транспортных систем и технологий НАН Украины. - Д., 2005.
22. Берёзкин Е. Н. Курс теоретической механики. – М.: Из-во МГУ, 1974.
23. Корнев Г. В. Основы механики целенаправленного движения. – М.: Наука, 1980.
24. Bellman R. Adaptive control processes. – Princeton Univ. press, 1961.
25. Matthews M. V., Steeg C. W. Terminal controller synthesis. – MIT. Rep., 1955, Nov. 4, № 55 – 272.
26. Поляков В. А. Приспособляемость движения железнодорожного поезда // Динамика поезда и подвижного состава железных дорог: Межвуз. сб. научн. тр. - Д.: ДИИТ, 1990.
27. Блохин Е. П. Целенаправленное движение железнодорожного поезда / Е. П. Блохин, В. А. Поляков // Нагруженность и надёжность механических систем: Сб. научн. тр. – К.: Наук. думка, 1987. С. 76-83.

Надійшла до редколегії 25.09.07

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ КОМУТАЦІЇ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ

В статті показано вплив зміни повітряних зазорів під додатковими полюсами на положення середньої лінії зони безіскрової роботи. Запропоновано спосіб прогнозування положення середньої лінії зони безіскрової роботи залежно від відхилень геометричних параметрів магнітного кола додаткових полюсів.

В статье показано влияние изменения воздушных зазоров под дополнительными полюсами на положение средней линии зоны безыскровой работы. Предложен способ прогнозирования положения средней линии зоны безыскровой работы в зависимости от отклонений геометрических параметров магнитной цепи добавочных полюсов.

Influence of the change air clearance under additional pole on position of the centerline of the area of without sparks work are shown in article. The way of the forecasting of the position to centerline of the zone безіскрової роботи depending on deflections geometric parameter magnetic chain additional pole are offered.

При проведенні кваліфікаційних і періодичних випробувань тягових електричних машин у них визначають зону найкращої комутації шляхом зміни струму в обмотці додаткових полюсів. Ця зона дозволяє оцінити комутаційні можливості машини та настроїти додаткові полюси (ДП), змінюючи або число витків їхньої обмотки, або значення повітряних зазорів [1]. Умовимось називати «першим» повітряний зазор між наконечником додаткового полюса і якорем, а «другим» – діаманітну прокладку між сердечником додаткового полюса та остовом машини. При таких змінах параметрів додаткових полюсів змінюється індукція B_k в зоні комутації, комутаційна ЕРС e_k , що дозволяє максимально наблизитися до умов безіскрової комутації, коли комутаційна ЕРС дорівнює і протилежно спрямована стосовно реактивного ЕРС e_p , тобто виконується рівність $e_k = e_p$.

Таким чином, змінюючи ЕРС додаткових полюсів, визначають зону безіскрової роботи. В обидва боки за межами цієї зони безіскрова робота машини виявляється неможливою.

Положення середньої лінії, що лежить між верхньою та нижньою границями безіскрової зони, які отримані позитивним і негативним підживленнями обмотки додаткових полюсів, характеризують якість виконання цих полюсів. Ідеальним є збіг середньої лінії з віссю абсцис.

Аналізуючи виробничі відхилення від креслярських розмірів, у припустимих або неприпустимих межах, можна помітити, що вони спричиняють зміни МРС додаткових полюсів та індукції B_k . Останнє, в свою чергу, приводить до зміни положення середньої лінії безіскрової зо-

ни, сильне відхилення якої від осі абсцис збільшує комутаційну напруженість машини.

Як відомо, на процес комутації великий вплив роблять МРС якоря, компенсаційної обмотки та головних полюсів, магнітний потік яких за певних умов може проникати в зону комутації [1]. Поряд з іншими факторами, останнє можливо в результаті технологічних і виробничих відхилень у розмірах деталей при виготовленні і ремонті тягових двигунів. Тому, становить інтерес виявити вплив таких відхилень на положення середньої лінії зони безіскрової роботи.

Вплив повітряних зазорів під ДП на середню лінію безіскрової роботи машини визначається формулою, запропонованою В.Т. Касьяновим [2], по якій новий повітряний зазор може бути визначений як:

$$\delta_{\text{нов}} = \frac{\delta}{1 + \frac{\Delta I}{I_a} \cdot \frac{\Theta}{\Theta - 1}} \quad (1)$$

де I_a – струм навантаження, для якого потрібно відрегулювати додаткові полюси; ΔI – відповідному цьому струму відхилення середньої лінії області безіскрової роботи від осі абсцис; δ – колишнє значення повітряного зазору; Θ – відношення МРС додаткових полюсів і компенсаційної обмотки до МРС реакції якоря, що дорівнює:

$$\Theta = \frac{2p(w_{\text{дп}} + w_{\text{ко}})I}{\frac{N}{4a} \cdot I \cdot a_d} = \frac{8pa(w_{\text{дп}} + w_{\text{ко}})}{N \cdot a_d} \quad (2)$$

У вираженні (2) p і a відповідно числа пар паралельних галузей і обмотки якоря; $w_{\text{дп}}$ і $w_{\text{ко}}$ – числа витків додаткових полюсів і компенсаційної обмотки; N – число провідників якоря; $a_{\text{д}}$ – число паралельних гілок обмотки ДП. У досліджуваних нами тягових двигунах завжди $a_{\text{д}} = 1$.

Варто відзначити, що формула (2) дає правильний результат тільки при відносно невеликих змінах зазору, приблизно на $\pm 20\%$. Однак, як показали випробування деяких тягових двигунів, формула (2) має деякі розбіжності з отриманими даними.

Як відомо, повітряний зазор під ДП містить у собі «перший» повітряний зазор між ДП та якорем, і «другий» повітряний зазор між ДП і станиною. Оскільки в другому повітряному зазорі має місце велике падіння МРС, а також у ньому замикаються лінії розсіювання потоку ДП, то дію «другого» повітряного зазору можна вважати вдвічі більш сильнішою, ніж дію «першого» зазору.

Звідси

$$\delta = \delta_1 + 2 \cdot \delta_2. \quad (3)$$

В результаті наявних відхилень розмірних ділянок магнітного кола ДП, коефіцієнт, що враховує значення цих відхилень на зміну фактичного повітряного зазору під ДП

$$K_{\delta} = 1 \pm \sigma_{\delta}, \quad (4)$$

де σ_{δ} – відносне відхилення повітряного зазору через виробничі допуски.

Отже, загальний вид формули, що показує залежність середньої лінії безіскрової роботи від впливу відхилень параметрів геометричних розмірів магнітного кола ДП, має вигляд:

$$\Delta I = (\delta \cdot K_{\delta} - \delta) \cdot \frac{I_{\text{я}}}{\delta \cdot K_{\delta}} \cdot \frac{\Theta - 1}{\Theta} \cdot K_I \quad (5)$$

Присутній у формулі (5) емпіричний коефіцієнт K_I , враховує вплив різних факторів на зміну значень ΔI . Аналіз результатів експериментів тягових двигунів показав, що, з достатнім ступенем точності, можна прийняти $K_I = 0,6$. На підставі викладеного простежимо, яким же чином виробничі відхилення вплинуть на положення середньої лінії зони безіскрової роботи тягового двигуна НБ-514, у якого $\delta_1 = 5,5$ мм, а $\delta_2 = 4,5$ мм.

Відповідно до технічної документації допускаються відхилення по висоті сердечника ДП

на $\pm 0,15$ мм. Допуск на розточення остова під полюсами становить $\pm 0,2$ мм, допуск на діаметр якоря $\pm 0,2$ мм. Для виконання «другого» повітряного зазору застосовуються діелектричні прокладки, які, відповідно до ГОСТ 12652-74Е [4], мають відповідні відхилення від креслярських розмірів $\pm 0,5$ мм. З огляду на ці фактори, «перший» повітряний зазор може змінитись в межах $5,5 \pm 1,05$ мм, а «другий» – в межах $4,5 \pm 0,5$ мм. Однак, як показують статистичні дані, ці значення можуть змінюватись в більш широких межах.

На підставі випробувань була отримана зона безіскрової роботи тягового двигуна НБ-514, середня лінія якої при значеннях $\delta = 14,5$ мм представлена на рис. 1.

При номінальних розмірах фактичний повітряний зазор, згідно (3), дорівнює:

$$\delta = 5,5 + 2 \cdot 4,5 = 14,5 \text{ мм.} \quad (6)$$

Згідно (3), з урахуванням відхилень, ця величина еквівалентного зазору може дорівнювати

$$\text{від } \delta' = (5,5 + 1,05) + 2 \cdot (4,5 + 0,5) = 16,55 \text{ мм}$$

$$\text{до } \delta'' = (5,5 - 1,05) + 2 \cdot (4,5 - 0,5) = 12,45 \text{ мм.}$$

Тоді, згідно (4)

$$K_{\delta'} = 1 + \sigma_{\delta} = 1,14,$$

$$K_{\delta''} = 1 - \sigma_{\delta} = 0,86.$$

Наприклад, при еквівалентному зазорі δ' та струмі якоря 900 А відхилення середньої лінії складе:

$$\Delta I = (14,5 \cdot 1,14 - 14,5) \cdot \frac{900}{14,5 \cdot 1,14} \times \frac{1,24 - 1}{1,24} \cdot 0,6 = 12,8 \text{ А}$$

Дані, отримані в результаті обчислень, при різних струмах навантаження та різних відхиленнях повітряних зазорів, представлені в табл. 1.

Таким чином, в результаті виробничих відхилень, положення середньої лінії зони безіскрової роботи зміщується в ту або іншу сторону. Це свідчить про те, що додаткові полюси стають «слабкими» або «сильними» і, як наслідок, погіршуються комутаційні властивості машини, що може привести до інтенсивного іскріння. Представлені в таблиці 1 розрахункові параметри кореспондуються з експериментальними даними, наведеними в [3]. Аналогічні результати отримані при проведенні випробувань нових тягових двигунів СТК520 та СТК800, виготов-

лених «НВП СЕМЗ» (Смілянським електро-
механічним заводом). За результатами таблиці 1
побудовані графіки (рис.1), які показують по-
ложення середніх ліній при різних значеннях
зазорів.

Таблиця 1

Струм на- вантаження, А	Зміна положення середньої лінії безіскрової зони ΔI , А	
	$\delta' = 16,55$ мм	$\delta'' = 12,45$ мм
900	13	-17,3
1000	14,45	-19,2
1200	17,34	-23
1400	20,23	-26,9
	$\delta' = 17$ мм	$\delta'' = 12$ мм
900	15,44	-21,9
1000	17,16	-24,3
1200	20,6	-29,17
1400	24	-34
	$\delta' = 17,5$ мм	$\delta'' = 11,5$ мм
900	18	-27,4
1000	20	-30,4
1200	24	-36,5
1400	28	-42,6

Висновок. Запропонований у даній роботі
спосіб прогнозування положення середньої лі-
нії зони безіскрової роботи, залежно від відхи-
лень геометричних параметрів магнітного кола
додаткових полюсів, знайшов своє експеримен-
тальне підтвердження і може бути рекомендо-
ваний при проектуванні та випробуванні тяго-
вих двигунів електрорухомого складу.

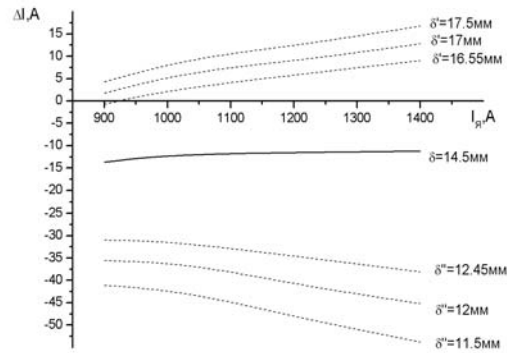


Рис. 1

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Безрученко В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу. / – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
2. Жерве Г. К. Промышленное испытание электрических машин. / – М.: Энергия, 1959. – 463 с.
3. Тяговые электрические двигатели электропоездов, под ред. В. Г. Щербакова – / Новочеркаськ: Наутилус, 1998. – 672 с.
4. ГОСТ 12652-74Е. Стеклотекстолит электротехнический листовой.

Надійшла до редакції 25.09.2007.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С ОСЕВОЙ НАГРУЗКОЙ 25 ТС

Приведены результаты расчетных исследований тормозной эффективности грузовых вагонов с осевой нагрузкой 25 тс с различными значениями массы тары и запаса по юзу. Построены номограммы по выбору передаточного числа при изменении запаса по юзу от 0 % до 10 %. Получены аналитические зависимости для определения передаточного числа грузового вагона и расчетного коэффициента силы нажатия колодок на колеса. Показано, что наибольшую тормозную эффективность имеют грузовые вагоны с массой тары 25 и 26 тс.

Приведені результати розрахункових досліджень гальмової ефективності вантажних вагонів з осьовим навантаженням 25 тс із різними значеннями маси тари і запасу по юзу. Побудовані номограми по вибору передаточного числа при зміні запасу по юзу від 0 % до 10 %. Отримано аналітичні залежності для визначення передаточного числа вантажного вагона і розрахункового коефіцієнта сили натиснення колодок на колеса. Показано, що найбільшу гальмову ефективність мають вантажні вагони з масою тари 25 і 26 тс.

Results of design researches of brake efficiency of the freight cars with an axial load 25 ton-force with various values of tare weight and a skid margin are cited. Nomographs for choice a gear ratio at change of a skid margin from 0 % up to 10 % are built. Analytical dependences for definition of a gear ratio of the freight car and design factor of brake shoe pressure force on wheels are received. It is shown, that the freight cars with tare weight 25 and 26 ton-force have the greatest brake efficiency.

Основной характеристикой существующих тормозных систем грузовых вагонов является передаточное число тормозной рычажной передачи, от величины которого зависит тормозная эффективность (расчетный коэффициент силы нажатия колодок). Максимальное значение передаточного числа ограничивается расчетным предельным коэффициентом сцепления колеса с рельсом при торможении.

Для четырехосных грузовых вагонов при композиционных тормозных колодках передаточное число принимается в зависимости от типа вагона [1], так, например, для полувагона передаточное число составляет 5,72.

В качестве основного критерия по выбору передаточного числа тормозной рычажной передачи вагонов принимается условие отсутствия юза [2]:

$$\delta_p \cdot \phi_{кр} \leq [\Psi_k]. \quad (1)$$

Рекомендуется, чтобы выполнялось условие (10 % запас по юзу):

$$\delta_p \cdot \phi_{кр} \leq 0,9 \cdot [\Psi_k]. \quad (2)$$

где δ_p - расчетный коэффициент сил нажатия колодок;

$\phi_{кр}$ - расчетный коэффициент трения тормозных композиционных колодок, определяемый по формуле (2)

$$\phi_{кр} = 0,36 \cdot \frac{V + 150}{2 \cdot V + 150}, \quad (3)$$

где $[\Psi_k]$ - расчетный предельный коэффициент сцепления колеса с рельсом при торможении:

$$[\Psi_k] = \Psi(q_0) \cdot \Psi(V), \quad (4)$$

где $\Psi(q_0)$ - коэффициент, зависящий от осевой нагрузки на колесную пару:

$$\Psi(q_0) = 0,17 - 0,0015 \cdot (q_0 - 5), \quad (5)$$

где $\Psi(V)$ - коэффициент, зависящий от скорости движения:

$$\Psi(V) = \frac{V + 81}{2,4 \cdot V + 81}, \quad (6)$$

где q_0 - нагрузка на колесную пару (осевая нагрузка) вагона, тс;

V - скорость, км/ч.

Предельное значение расчетного коэффициента силы нажатия колодок определяется из равенства (1)

$$[\delta_p] = \frac{[\Psi_k]}{\phi_{кр}}. \quad (7)$$

Дальнейшие расчеты проводились к полувагону с осевой нагрузкой 25 тс и тарой соответственно 23 тс, 24 тс, 25 тс и 26 тс.

Предельная расчетная сила нажатия колодки на колесо для порожнего вагона определялась из уравнения 9.1 [3] с учетом формулы (7)

$$[K_p] = \frac{Q \cdot [\Psi_k]}{n \cdot \phi_{кр}}, \quad (8)$$

где n - число тормозных колодок.

Разрешающее уравнение для определения предельно допустимой действительной силы нажатия колодки на колесо ($[K]$), с учетом формул 9.3 [3] и (8), имеет вид:

$$Q \cdot \frac{[\Psi_k]}{\Phi_{кр}} = 1,22 \cdot [K] \cdot \frac{[K] + 20}{4 \cdot [K] + 20}. \quad (9)$$

Расчет действительной силы нажатия выполнен в диапазоне скоростей 20...120 км/ч для двух вариантов: без запаса по юзу (рис. 1) и с рекомендуемым (Памятка ОСЖД Р 549/33) 10 % запасом по юзу (рис. 2).

Предельно допустимые значения передаточного числа тормозной рычажной передачи опре-

делялись делением предельно допустимой действительной силы нажатия, определяемой по формуле (9) на величину действительной силы нажатия при передаточном отношении рычажной передачи равным 1, при этом использовались типовые расчетные зависимости для тормозов грузовых вагонов и условия проверки отсутствия юза [3] (усилие авторегулятора не учитывалось, а давления в тормозном цилиндре для порожнего вагона принималось равным 0,16 МПа). Расчеты выполнены как по предельным значениям действительной силы нажатия колодки без запаса по юзу (рис. 3), так и с 10 % запасом (рис. 4) в диапазоне скоростей 20...120 км/ч.

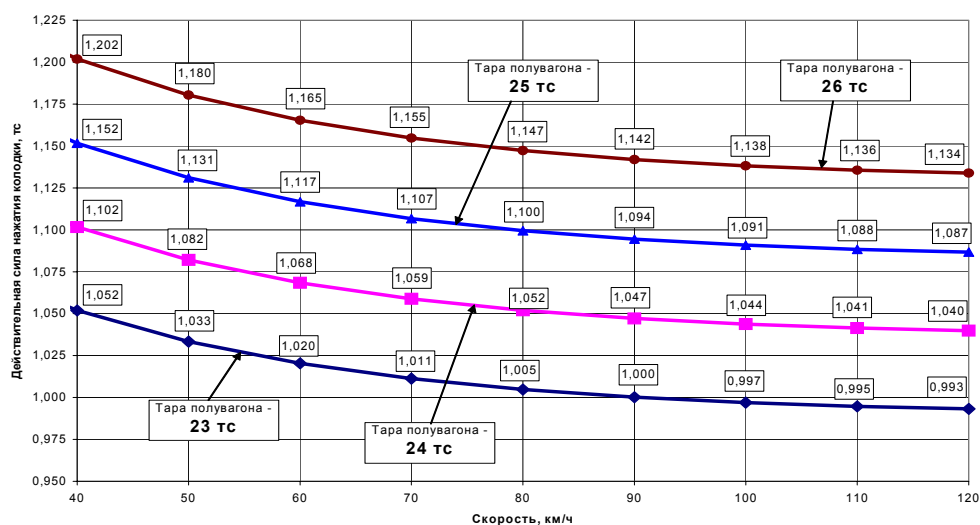


Рис. 1. Номограмма распределения предельных (при отсутствии запаса по юзу) значений действительных сил нажатия композиционной колодки на колесо

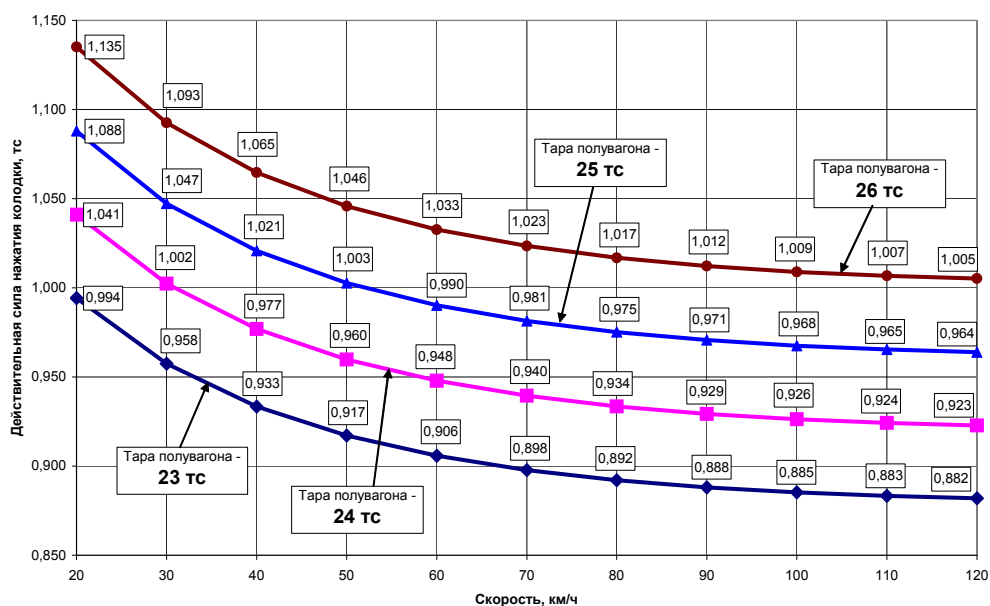


Рис. 2. Номограмма распределения значений действительных сил нажатия композиционной колодки на колесо при рекомендуемом запасе по юзу 10 %

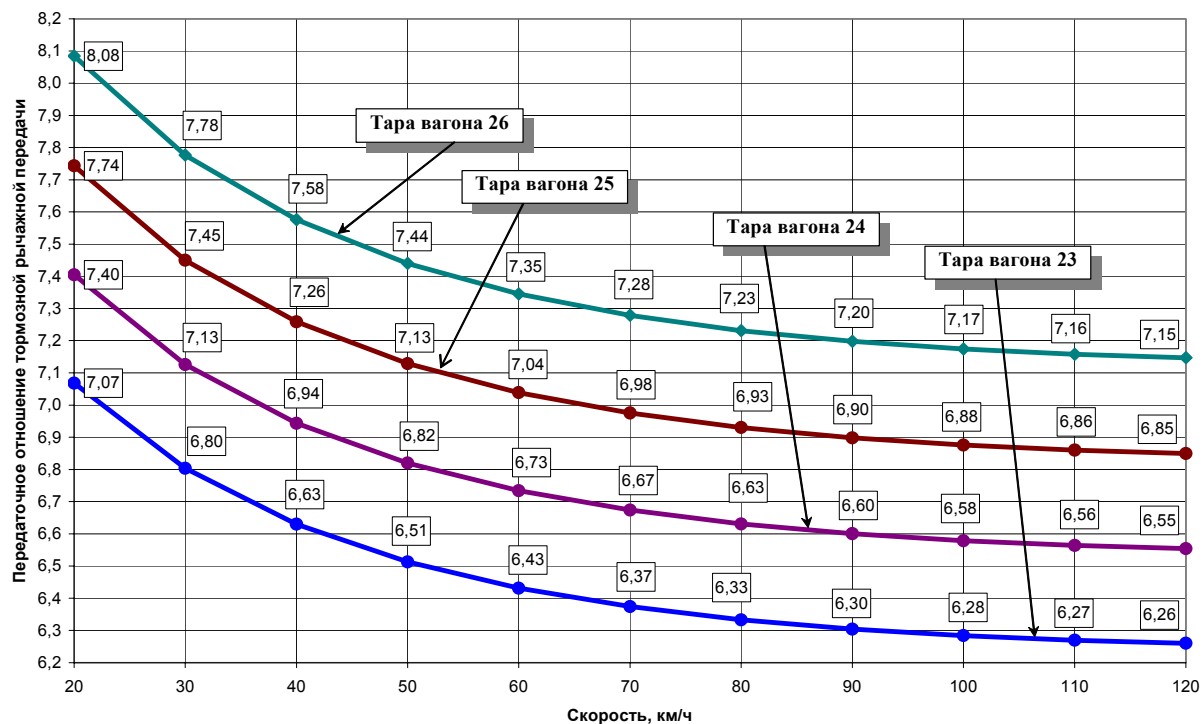


Рис. 3. Номограмма предельных (при отсутствии запаса по юзу) значений передаточных чисел тормозной рычажной передачи

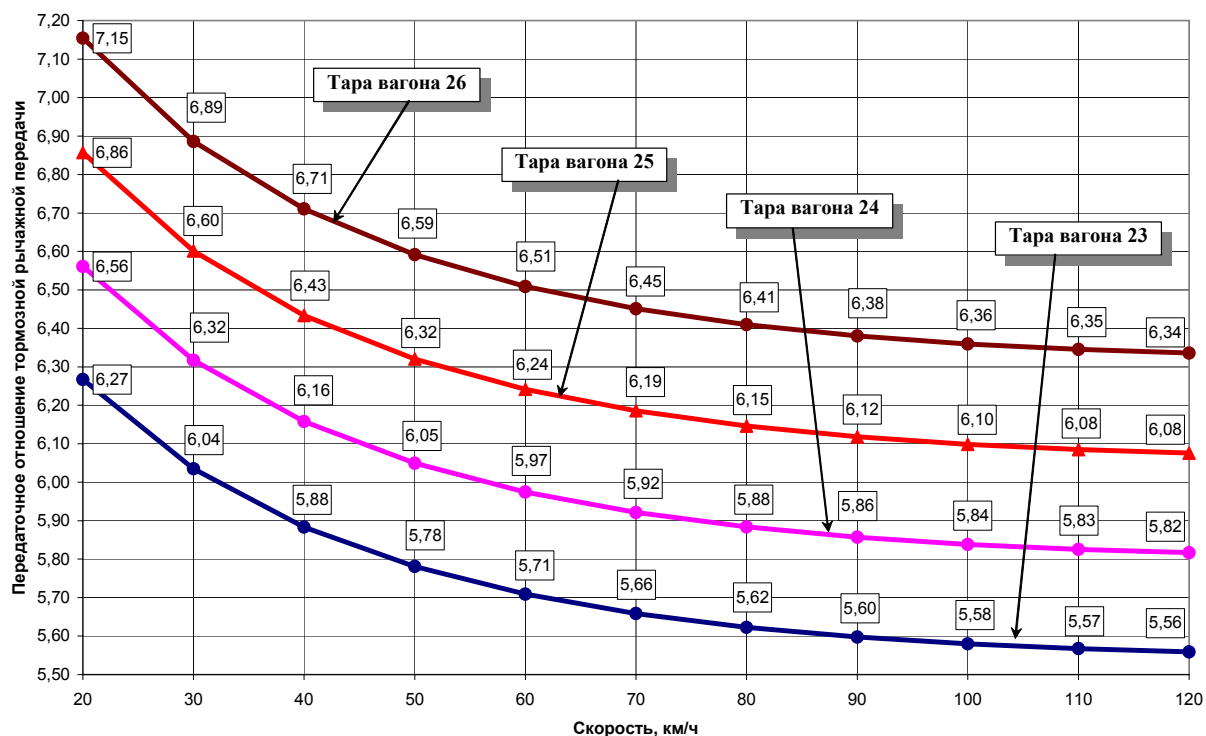


Рис. 4. Номограмма значений передаточных чисел тормозной рычажной передачи при рекомендуемом запасе по юзу 10 %

Характерной особенностью изменения передаточного отношения является незначительное понижение ее величины (на 2,8 %) в диапазоне скоростей 60...120 км/ч, поэтому даль-

нейшие расчетные исследования проводились для скорости 120 км/ч, для которой передаточные отношения тормозной рычажной передач представлены на рис. 5.

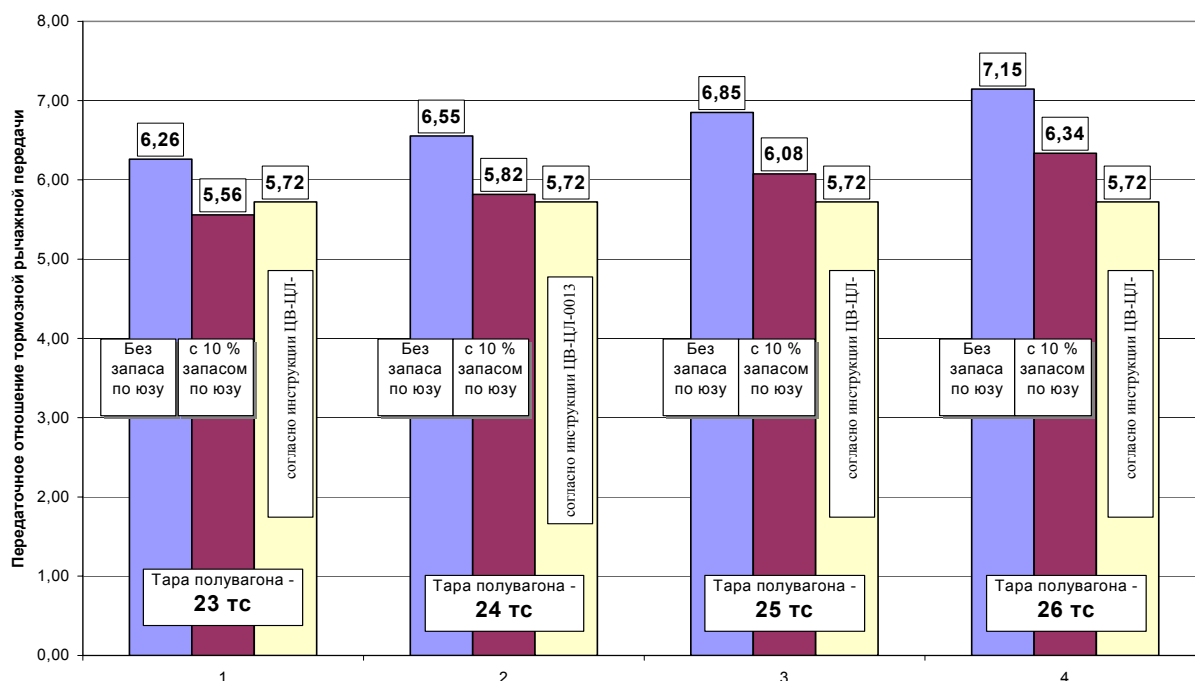


Рис. 5. Величины передаточных чисел тормозной рычажной передачи для максимальной скорости движения вагона 120 км/ч

Тормозная эффективность груженого полувагона определялась для давления в тормозном цилиндре 0,3 МПа.

Распределение величин расчетных коэффициентов нажатия колодок в зависимости от тары вагона (рис. 6) свидетельствует, что при та-

ре вагоне 23 тс и 10 % запасе по юзу расчетный коэффициент составляет 0,1357 и меньше минимально допустимого значения равного 0,14, а для передаточного отношения 5,72 (ЦВ-ЦЛ-0013) меньше для рассматриваемого диапазона изменения тары вагона.

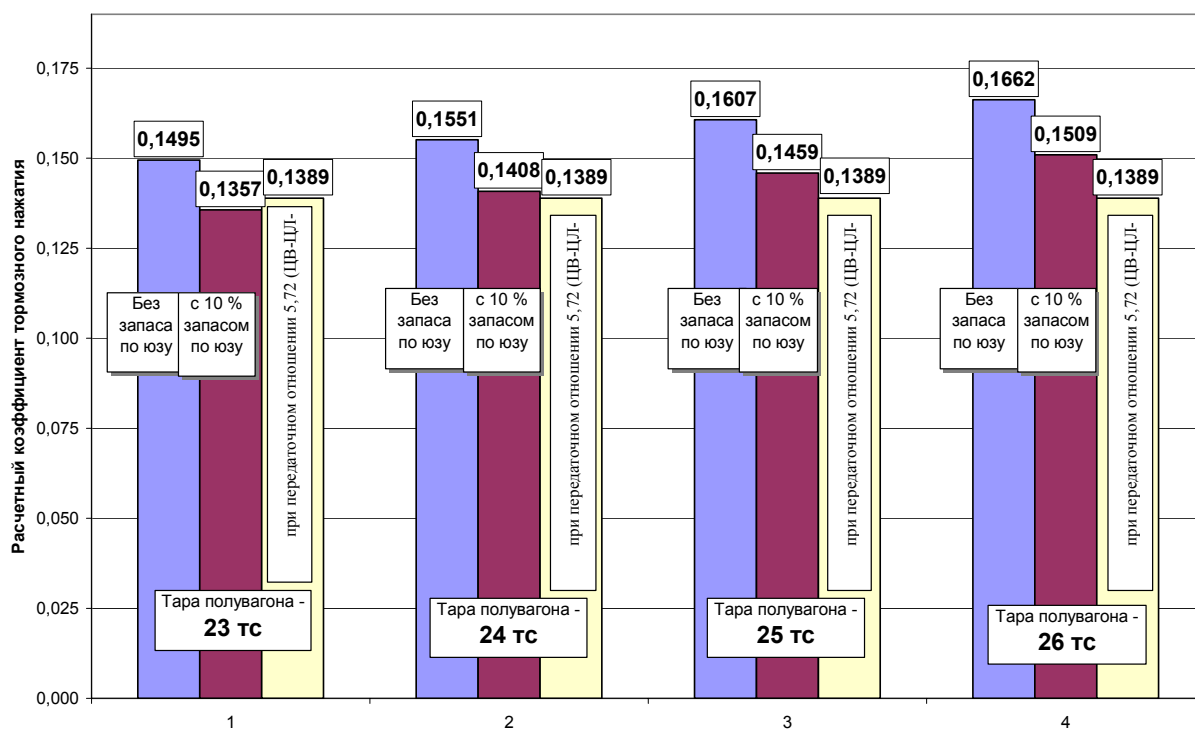


Рис. 6. Расчетные коэффициенты силы нажатия тормозных композиционных колодок на колеса, полученные по типовым зависимостям

Расчеты тормозного пути грузового поезда длиной 800 м на площадке для скорости 120 км/ч, выполненные методом численного интегрирования [4] показали (рис. 7), что при массе тары вагона 23 тс и 24 тс расчетные коэффициенты силы нажатия колодок меньше допустимого 0,14 и составляют соответственно 0,134 и 0,139 при запасе по юзу 10 % (рис. 8).

Для повышения тормозной эффективности грузового поезда необходимо увеличить передаточное число рычажной передачи до величины 5,91, при этом запас по юзу для массы тары 23 тс снижается до 5 %, для массы тары 24 тс – до 8,9 %. Для сохранения 10 % запаса по юзу масса тары должна быть не менее 24,35 тс.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- при 10 % запасе по юзу масса тары вагона с осевой нагрузкой 25 тс должна быть не менее 24,35 тс;

- максимальная величина передаточного отношения для рекомендуемого запаса по юзу 10% составляет: для массы тары 24,35 т - 5,91; для массы тары 25 т - 6,08 и 6,34 для массы тары 26 т;

- сила нажатия композиционных колодок на колесную пару в пересчете на чугунные при скорости грузового поезда длиной 800 м 120 км/ч и 10 % запасе по юзу составляет не менее 9,3 тс;

- наибольшая тормозная эффективность вагона с осевой нагрузкой 25 тс соответствует массе тары 25 т и 26 т.

Для более гибкого выбора характеристик тормозной рычажной передачи полувагона с осевой нагрузкой 25 тс построены номограммы, которые представлены на рис. 9 и 10, а обобщенные расчетные зависимости - в табл. 1.

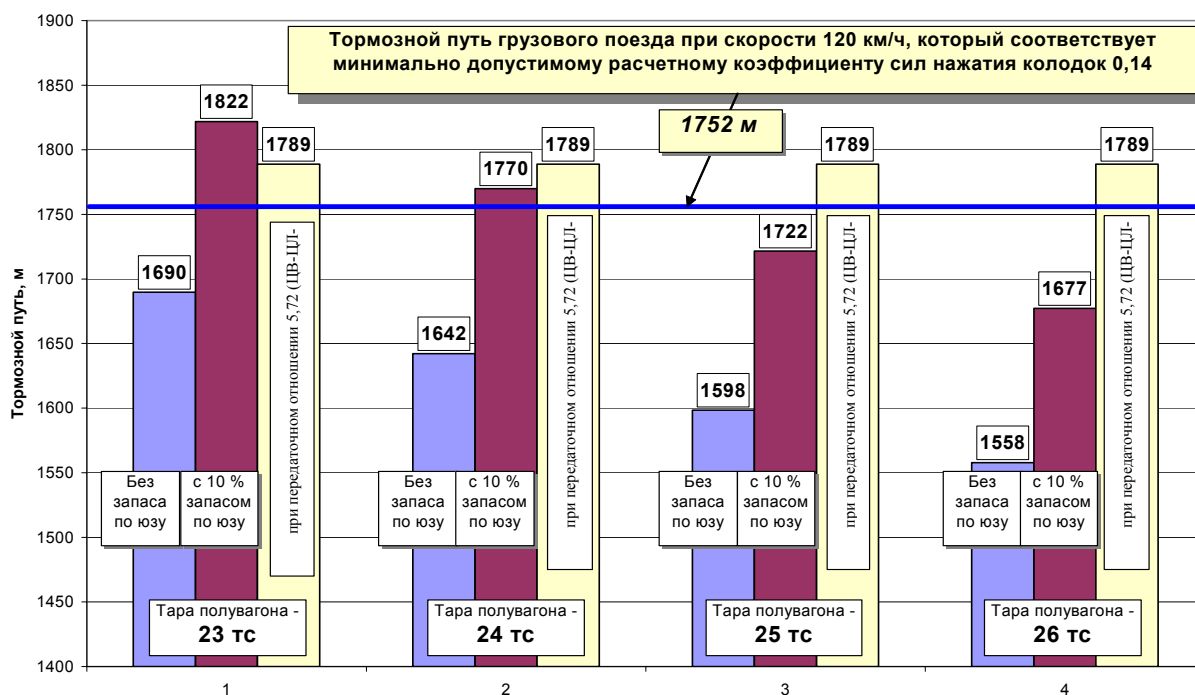


Рис. 7. Тормозные пути грузового поезда длиной 800 м на площадке при скорости в начале торможения 120 км/ч

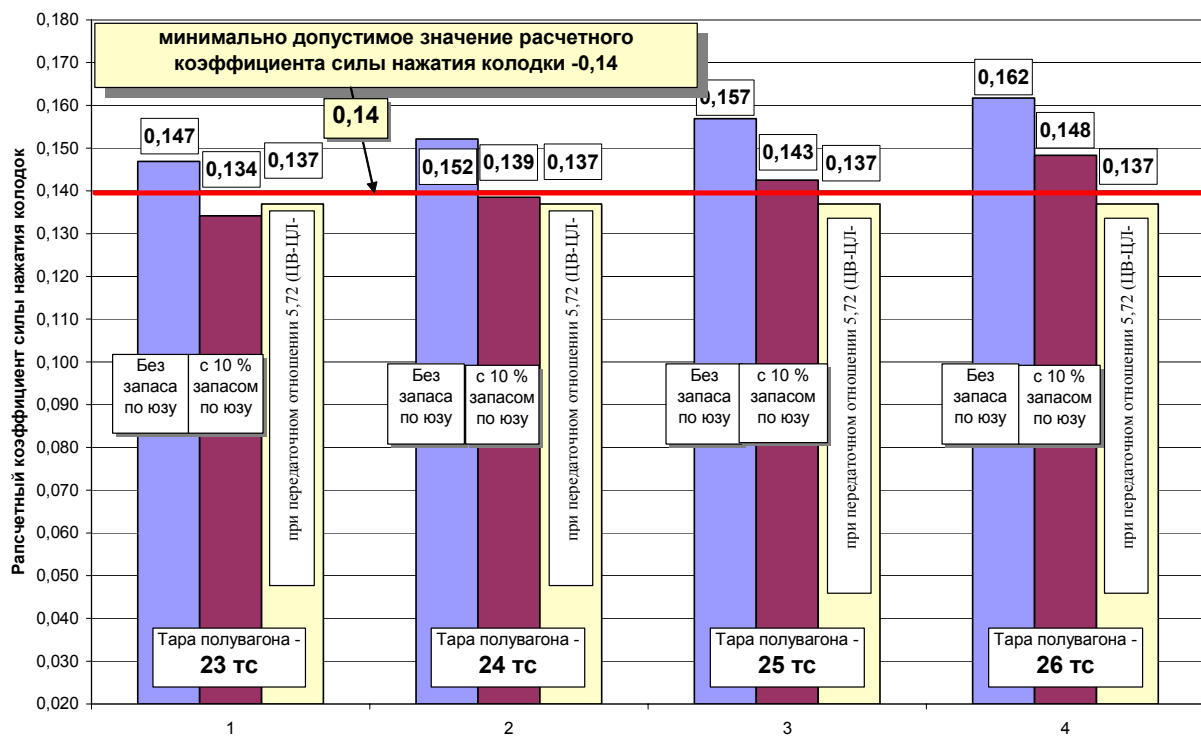


Рис. 8. Расчетные коэффициенты силы нажатия тормозных композиционных колодок на колеса для поезда длиной 800 м

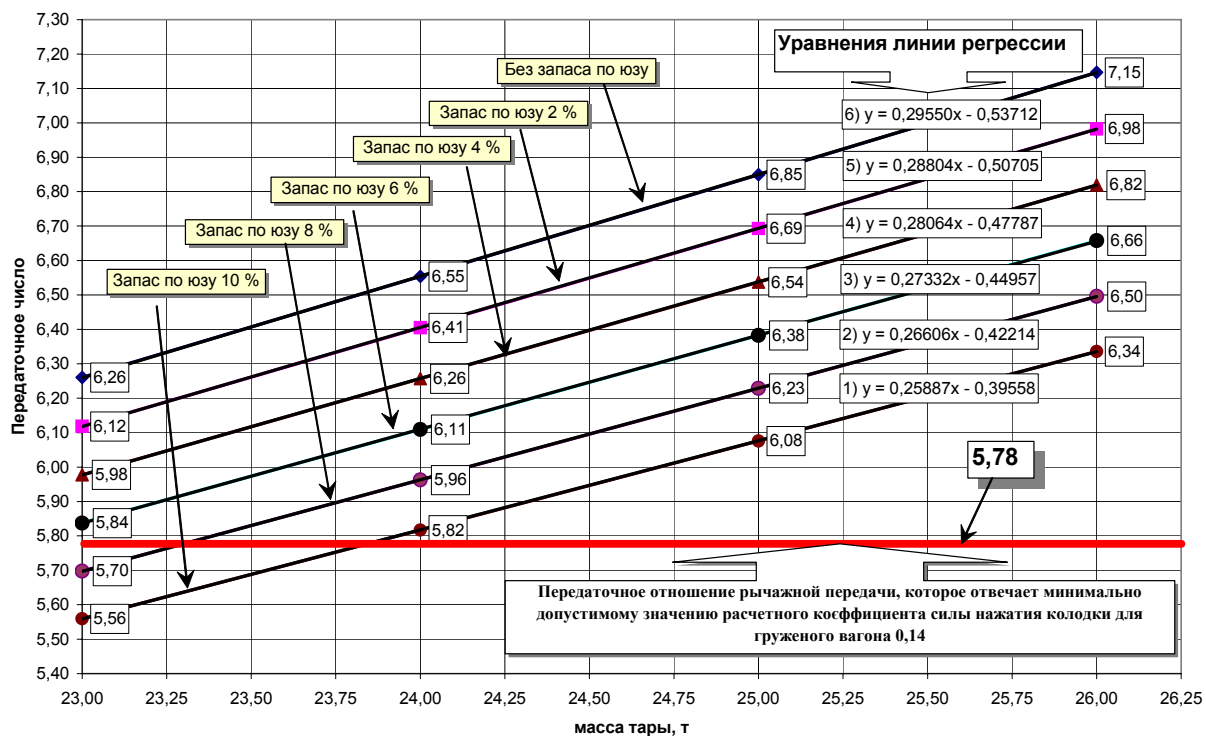


Рис. 9. Номограмма для определения передаточного числа рычажной передачи для полувагона с осевой 25 тс по заданной величине массы тары

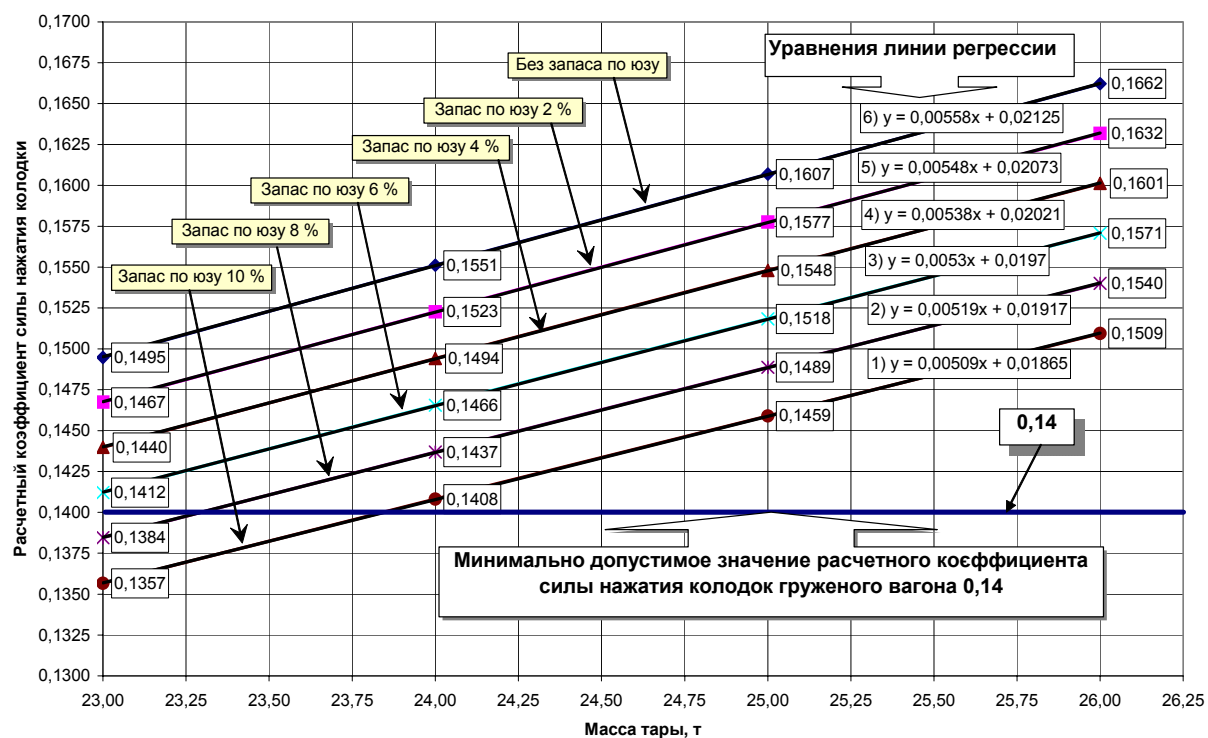


Рис. 10. Номограмма для определения расчетного коэффициента силы нажатия колодки для полувагона с осевой 25 тс по заданной величине массы тары

Таблица 1

Обобщенные аналитические зависимости для определения тормозных характеристик

Пор. №	Назначение формулы	Аналитическая зависимость
1	Формула для определения величины передаточного числа (n) при заданном значении массы тары T (т) и принятом значении запаса по юзу ($Z_{ю}$, %)	$n = (0,2955 - 0,003663 \cdot Z_{ю}) \cdot T - 0,53712 + 0,0141154 \cdot Z_{ю}$
2	Формула для определения расчетного коэффициента силы нажатия колодок (δ_p) при заданном значении массы тары T (т) и принятом значении запаса по юзу ($Z_{ю}$, %)	$\delta_p = (0,00558 - 0,0000049 \cdot Z_{ю}) \cdot T + 0,02125 - 0,00026 \cdot Z_{ю}$
3	Формула для определения расчетного коэффициента силы нажатия колодок (δ_p) для полученной величины передаточного числа (n) и принятом значении запаса по юзу ($Z_{ю}$, %)	$\delta_p = (0,0189 - 0,00008 \cdot Z_{ю}) \cdot n + 0,0314 - 0,005 \cdot Z_{ю}$
4	Формула для определения величины передаточного числа (n) при заданном значении расчетного коэффициента силы нажатия колодок (δ_p) и принятом значении запаса по юзу ($Z_{ю}$, %)	$n = (52,992 - 0,2121 \cdot Z_{ю}) \cdot \delta_p + 0,03189 \cdot Z_{ю} - 1,6632$
5	Формула для определения величины массы тары T (т) при заданном значении передаточного числа (n) и принятом значении запаса по юзу ($Z_{ю}$, %)	$T = \frac{n - 0,0141154 \cdot Z_{ю} + 0,537125}{-0,003663 \cdot Z_{ю} + 0,2955}$

Для определения характеристик решается прямая и обратная задачи.

Прямая задача состоит в определении передаточного числа рычажной тормозной передачи по заданной массе тары и принятому процент-

ному запасу по юзу: например, по результатам расчетных прочностных исследований получена масса тары полувагона 24,2 т и принят запас по юзу 8 %, определение характеристик производится в следующей последовательности с

использованием аналитических зависимостей таблицы 1: по обобщенной формуле (уравн. 1 табл. 1) определяется передаточное число:

$$n = (0.2955 - 0.003663 \cdot 8) \cdot 24.2 - 0.053712 + 0.0141154 \cdot 8 = 6.018055.$$

При использовании более точной формулы (рис. 9), получим

$$n = 0.26606 \cdot 24.2 \cdot 0.42214 = 6.016051,$$

отклонение составляет 0,03 %).

Расчетный коэффициент силы нажатия определяется по обобщенной формуле (уравн. 2 табл. 1):

$$\delta_p = (0.00558 - 0.0000049 \cdot 8) \cdot 24.2 + 0.02125 - 0.00026 \cdot 8 = 0.14472.$$

При использовании более точной формулы (рис. 10), получим:

$$\delta_p = 0.00519 \cdot 24.2 + 0.01917 = 0.144768,$$

то отклонение составляет 0,03 %.

Расчетный коэффициент силы нажатия колодок также может быть определен по величине передаточного числа с использованием обобщенной формулы (уравн. 3. табл. 1):

$$\delta_p = (0.0189 - 0.00008 \cdot 8) \cdot 6.018 + 0.0314 - 0.0005 \cdot 8 = 0.14992.$$

При использовании более точной формулы (рис. 10), получим:

$$\delta_p = 0.0195 \cdot 6.017 + 0.0274 = 0.144751,$$

отклонение составляет 0,17 %).

Обратная задача состоит в определении массы тары и передаточного числа рычажной передачи при заданном значении расчетного коэффициента силы нажатия колодки и принятой величине запаса по юзу (%). Например, требуется определить характеристики рычажной передачи, которые соответствуют расчет-

ному коэффициенту 0,1447 и 8 % запаса по юзу. Расчет производится в следующей последовательности:

– по обобщенной формуле 4 табл. 1 определяется передаточное число:

$$n = (52.992 - 0.21218) \cdot 0.145 + 0.03189 \cdot 8 - 0.6632 = 6.014.$$

– по обобщенной формуле (5) табл. 1 определяется масса тары вагона:

$$T = \frac{6.014 - 0.0141154 \cdot 8 + 0.537125}{-0.003663 \cdot 8 + 0.2955} = 24.186.$$

В заключении следует отметить, что при окончательном выборе передаточного отношения тормозной рычажной передачи грузового вагона необходимо учитывать особенности процессов при торможении, к которым в первую очередь следует отнести:

– неравномерное распределения сил тормозного нажатия колодок на колесные пары, максимальные величины нажатий приходятся на внутренние колесные пары;

– реализуемые давления в тормозных цилиндрах при торможении в процессе движения более высокие по сравнению со стационарными условиями как для порожнего, так и для груженого вагонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ЦВ-ЦЛ-0013 Інструкція з ремонту гальмівного обладнання вагонів. - К., 2005. - 160 с.
2. Иноземцев В. Г. Нормы и методы расчета авто-тормозов. / В. Г. Иноземцев, П. Гребенюк. – М.: «Транспорт», 1971. - 57 с.
3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) - М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996.
4. Гребенюк П. Т. Правила тормозных расчетов. - М.: Интекст, 2004. - С 112.

Поступила в редакцию 11.11.2007.

А. В. ДОНЧЕНКО, М. В. ТРОЦЬКИЙ, А. Г. КРУПА (ДП «УкрНДІВ»),
Ю. В. ДЬОМІН (КУЕТТ)

БАЗОВІ ВИМОГИ ДО РУХОМОГО СКЛАДУ ДЛЯ БЕЗПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

В статті висвітлені передумови та підходи, що формують базові технічні вимоги до створення рухомого складу для безперевантажувальних перевезень у сполученні «Схід–Захід». Спираючись на нормативну базу, чинну на залізницях держав колишнього СРСР та держав з залізницями колій 1435 мм (передусім європейських), визначені коло вимог щодо забезпечення технічної сумісності вантажних вагонів та підходи до проектування рухомого складу вказаного призначення.

В статье освещены предпосылки и подходы, формирующие базовые технические требования к созданию подвижного состава для бесперегрузочных перевозок в сообщении «Восток–Запад». Основываясь на нормативной базе, действующей на железных дорогах государств бывшего СССР и государств с железными дорогами колеи 1435 мм (прежде всего европейских), определены круг требований относительно обеспечения технической совместимости грузовых вагонов и подходы к проектированию подвижного состава указанного назначения.

Preconditions and the approaches which form the base technical requirements for the creation of the rolling stock for nonoverloading transportation in the communication «the East – the West» are stated in the article. Being based on the normative base acting on the railroads of the of former USSR states and the states with railroads of 1435 mm track gauge (first of all European), are determined a circle of requirements relative to the providing of technical compatibility of freight cars and approaches to designing the specified purpose rolling stock.

Поглиблення інтеграційних процесів у економіках розвинутих країн вимагає відповідної трансформації транспортної сфери, значення якої у розширенні господарських зв'язків та міжнародної кооперації дедалі зростає. Визначена роль у цих процесах відводиться залізничному транспорту. Однак розвиток міжнародних залізничних перевезень на євразійському полігоні стримується наявністю чисельних особливостей в технологічній реалізації перевезень кожної з країн, технічними та інфраструктурними відмінностями, що склалися історично.

На даний час в Україні та країнах СНД відсутній рухомий склад, який би міг без обмежень експлуатуватись на залізницях як колії 1520 мм, так і колії 1435 мм. Перевезення за традиційними технологіями, що передбачають операції перевантаження, завдають залізничному транспорту збитків через пошкодження вантажів і рухомого складу, призводять до значних витрат часу та праці. Практика будування вантажних вагонів для внутрішніх перевезень в окремих країнах, в силу певних обмежувальних причин, не може бути в чистому вигляді розповсюджена на створення вагонів нового типу. Тому одним із актуальних завдань, що стоять нині перед залізничним транспортом, є зосередження зусиль науки й практики на розробці, виготовленні та випробуванні вагонів, призначених для вантажних перевезень за напрямками «Схід–Захід».

Таким чином створення парку спеціалізованих вагонів типу «Схід–Захід» стає чи не найва-

жливішою складовою у розв'язанні програмного завдання інтеграції залізниць України у міжнародну залізничну мережу. Вагони вказаного типу повинні здійснювати якомога найменш витратний перетин кордонів, особливо на стиках колій 1520/1435 мм, та «всюдихідне» курсування залізницями інших держав. Специфіка створення вагонів, які б одночасно відповідали вимогам чинним на залізницях як колії 1520 мм, так і колії 1435 мм, обумовлюється, в першу чергу, значним розширенням полігону обертання з перетином різних кліматичних зон, а також необхідністю відповідати експлуатаційним нормам залізниць кожної з кран-учасниць перевезень. Тому до вагонів типу «Схід–Захід» висуваються додаткові вимоги. Частково такі вимоги вже визначені відповідними пам'ятками УІС і ОСЖД, разом з тим, ряд принципових позицій ще залишаються неврегульованими.

Виходячи з цього, початковим етапом проекту слід вважати формування певної базової основи щодо створення вагонів для інтермодальних (здійснюваних послідовно двома чи більше видами транспорту в одній і тій же вантажній одиниці) та, особливо, для безперевантажувальних (інтероперабельних) перевезень. Такою основою для створення парку вантажних вагонів вітчизняної побудови для інтермодальних та інтероперабельних перевезень слід вважати визначений їх типаж та основні технічні вимоги до конструкцій.

Створені та створювані в даний час конструкції вантажних вагонів для внутрішніх перевезень в різних країнах вказують на розмаїття відмінностей у нормах проектування, використанні габаритних обмежень, оснащенні зчепними та гальмівними пристроями, застосуванні різноманітних матеріалів у несучих елементах конструкцій, виконанні вагонів за статичними осьовими навантаженнями, конструкціями ходових частин тощо.

Відтак, очевидною постає актуальність питання щодо реалізації заходів, які забезпечують найповнішу технічну сумісність вагонів при перетині ними державних кордонів. У дещо вирашному положенні в цьому плані є вагони для інтермодальних перевезень, оскільки, перевезення контейнерів у більшості випадків не потребують переходу рухомого складу з колії однієї ширини на колію іншої – на прикордонних переходах за наявності високооснащених терміналів здебільшого здійснюється перевантаження контейнерів на рухомий склад приймаючої сторони. Практика ж побудови спеціалізованих вагонів-платформ для контейнерно-контрейлерних перевезень свідчить про достатньо високий технічний рівень вітчизняних моделей таких вагонів, які освоєні всіма вагонобудівними підприємствами України в ринкових умовах господарювання.

Особливості у створенні вагонів для сполучення «Схід–Захід» визначаються, зокрема, значно ширшим полігоном обертання в порівнянні з внутрішніми перевезеннями, забезпеченням курсування міжнародними транспортними коридорами, значно збільшеними (не менше 1000 км за добу) середньодобовими пробігами та перетином різних кліматичних зон. Зростають також вимоги до збереженості вантажів у процесі транспортування та найоптимальнішої відповідності рухомого складу структурі вантажів, призначених для перевезень, з урахуванням їх транспортабельності. Разом з тим, рухомий склад в сучасних умовах є складовою логістичного технологічного ланцюжка, що є проявом єдиної комплексної технології – від вироблення, складування продукції, до терміну та місця доставки.

Загалом, при створенні вітчизняних вагонів для здійснення безперевантажувальних вантажних перевезень у міжнародному залізничному сполученні коліями 1435 і 1520 мм слід керуватись запровадженням підходу, що властивий створенню вагонів нового покоління [1]. Такий рухомий склад повинен вирізнятись економічністю, підвищеною експлуатаційною надійністю, високим рівнем загальної та екологічної безпеки, подовженим терміном служби, забезпеченням максимальної збереженості вантажів та продуктивності при здійсненні вантажно-розвантажувальних операцій, а також формуванні-розформуванні поїздів.

Технічні вимоги до вагонів для інтермодальних та інтероперабельних перевезень, ґрунтуючись на взаємно гармонізованих нормативах UIC та ОСЖД, обумовлюють низку базових положень наведених нижче.

1. Забезпечення єдності норм розрахунку та проектування вагонів

До питань, які тісно пов'язані з технічною сумісністю вагонів, відносяться питання сумісності підходів до розрахункових норм, критеріїв відповідності встановленим показникам та забезпечення необхідних динаміко-міцнісних характеристик створюваних вагонів для сполучення «Схід–Захід». На залізницях країн СНД стосовно вагонів колії 1520 мм діють Норми для розрахунку та проектування вагонів (несамохідних) [2]. Вимогам цих Норм повинні відповідати також вагони інших країн (в тому числі і інших колій, наприклад, 1435 мм), якщо передбачається їх експлуатація на коліях 1520 мм. Принциповим положенням щодо побудови вагонів для безперевантажувальних перевезень залізницями колій 1435 і 1520 мм є необхідність одночасної їх відповідності вимогам вказаних норм та пам'яток UIC і ОСЖД. Пріоритет при цьому офіційно надається найбільш жорстким вимогам. Відтак, на практиці слід користуватись Нормами з урахуванням вимог Пам'ятки ОСЖД О+Р 516 [3].

Остання пам'ятка, безумовно, забезпечує розробників нормативними підходами при проектуванні вагонів вантажного парку для інтероперабельних перевезень коліями 1520/1435 мм. Однак, і вона на даний час не охоплює низки суттєвих положень. Зазначене, зокрема, вказує на необхідність роботи з подальшої уніфікації підходів до проектування рухомого складу названого призначення, спираючись як на вимоги чинних пам'яток UIC та ОСЖД, так і на аналіз результатів експлуатації таких вагонів, що будуть з'являтись на залізничному транспорті країн-учасниць перевезень.

2. Дотримання габаритних обмежень

Як відомо, згідно з ГОСТ 9238-83 та «Інструкцією з застосування габаритів (ЦВ 4422)», універсальним габаритом є 03-ВМ. Однак, не слід вважати досконалим підхід, який би однозначно декларував прагнення створювати весь рухомий склад в одному уніфікованому універсальному габариті, що забезпечував би «всюдихідність» вагонів на всьому полігоні колій 1520 і 1435 мм. Доцільною вбачається диференціація вагонів за габаритною ознакою, полігон обертання яких хоч і може бути в певній мірі обмеженим, однак з техніко-економічних міркувань виявиться найбільш доцільним (визначальним фактором є інтенсивність сталих вантажопотоків в локалі-

зованому географічному регіоні). При цьому слід зважати, що в межах ОСЖД чинним є також габарит 2-ВМ, а в межах УІС – габарити GA, GB та GC, які дозволяють проходження вагонів також коліями 1520 мм. Крім того, сучасні норми як УІС, так і ОСЖД встановлюють перехід від статичних до кінематичних габаритів. Тому визначення габариту при проектуванні вагонів є творчою інженерною задачею, яка повинна вирішуватись з позицій найбільшої економічної доцільності при створенні конкретних типів вагонів, виходячи з визначених маршрутів сполучень та обсягів перевезень.

3. Перехід з колії 1520 мм на колію 1435 мм та у зворотному напрямку

Згідно з пам'яткою ОСЖД О+Р 516 та ППВ (Правила користування вагонами у міжнародному сполученні) вантажні вагони, які використовуються у сполученні між залізницями колій 1520 та 1435 мм, повинні мати тільки візкову конструкцію. Технічну сумісність при переході вагонів з колії на колію забезпечує використання наступних технологій: заміна візків; заміна колісних пар; використання розсувних колісних пар.

З інженерних позицій найбільш ефективним вирішенням проблеми є використання розсувних колісних пар, наприклад, на основі системи SUW 2000 [4]. Однак, як і у випадку з габаритами, це не може бути єдиною рекомендацією для створюваного рухомого складу, оскільки подібні системи є досить дорогими, і економічна доцільність їх використання може підтверджуватись тільки частим перетином кордонів з коліями різної ширини, а, відтак, відносно незначною (середньою) дальністю пробігу колією одного типорозміру. При цьому обґрунтованість використання таких систем повинна пов'язуватись також з інтенсивністю вантажопотоків, здійснюваних в обох напрямках, або у використанні для кільцевих маршрутів.

Заміна візків у вагонах існуючих нині конструкцій також не є технічно досконалим способом, оскільки пристрої спирання кузовів на стандартні для колії 1435 мм візки типу Y25 несумісні з опорними пристроями візків моделі 18-100, які найбільш поширені на залізницях СНД [5]. Для вагонів типу «Схід–Захід» прийнятним слід вважати уніфіковане вирішення приєднувального вузла в спеціально розробленій конструкції нового візка, яка, до того ж, забезпечує обпирання кузова на пружні бокові ковзуни надресорної балки.

Прототипом запроваджуваної конструкції може бути візок вітчизняної розробки типу ДК2000 [5]. Реалізація вказаного підходу суттєво скорочує втрату часу, пов'язану з підняттям вагонів та наступним їх опусканням на візки іншого типорозмі-

ру з відповідним приєднанням елементів механічної частини гальма в порівнянні, зокрема, з варіантом заміни колісних пар чи заміною візків зі встановленням адаптерних пристроїв.

4. Забезпечення зчеплення рухомого складу різних колій

В межах євразійського простору вантажний вагонний парк використовує різні типи та схеми зчеплення, серед яких найпоширенішими є: гвинтова стяжка і бічні буфери; ударно-тяговий автозчеп з центральним поглинальним апаратом, тяговий автозчеп і бічні буфери. Зчеплення вантажних вагонів на стиках ліній з різною шириною колії може здійснюватися за одним з нижченаведених варіантів:

а) застосування проміжних вагонів або кінцевих вагонів в складі поїзда;

б) повна або часткова заміна ударно-тягових вузлів;

в) застосування універсального автозчепу за типом, створеним фірмою LAF, який дозволяє пряме з'єднання з автозчепом СА-3.

Принцип зчеплення за варіантом «а» показано на рис. 1 [6]. Цей принцип стосується організації перевезень і реалізується в групах вагонів (без можливості їхнього роз'єднання), що призводить до певних утруднень в експлуатації. Суть даного варіанта полягає в тому, щоб ввести в групу вагонів так званий проміжний (перехідний) вагон або обладнати кінцеві вагони автозчепом СА-3 на одному з буферних брусів, а на іншому – гвинтовим зчепом УІС з буферами. Застосування проміжного вагона дещо збільшує довжину і масу поїзда.

У випадку застосування варіанта «б» потрібне спеціальне оснащення пунктів перестановки, що дозволяє швидко заміну вузла. Застосування цього рішення вимагає згоди залізничних управлінь на приймання вагона з нестандартними деталями.

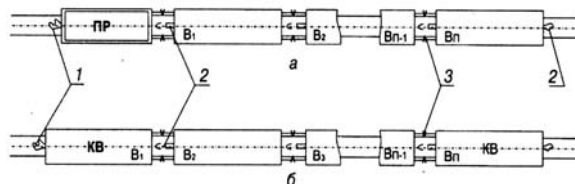


Рис. 1. Зчеплення групи вагонів шляхом включення до складу: а – проміжного вагона ПР; б – кінцевих вагонів КВ, оснащених на одному буферному брусі зчепом СА-3, а на іншому – гвинтовим зчепом (1 – автозчеп СА-3; 2 – гвинтовий зчеп УІС; 3 – буфери)

Оптимальним рішенням для новостворюваних вагонів слід вважати нормативно закріплений у Пам'ятках УІС 430-4 ОР та ОСЖД О+Р

516 варіант оснащення вагонів автозчепом СА-3 напівжорсткого типу в поєднанні з центральним поглинальним апаратом та бічними буферами, здатними займати два положення – висунуте та утоплене (рис. 2).

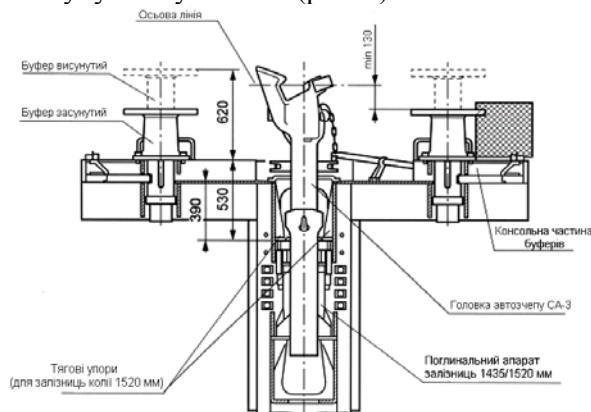


Рис. 2. Виконання ударно-тягового пристрою для вантажних вагонів

Для взаємодії з гвинтовою стяжкою пристрій обладнується так званим змішаним тяговим зчепом типу LAF (рис. 3).



Рис. 3. Змішаний тяговий зчеп - одна з модифікацій автозчепу LAF (Les Appareils Ferroviaires, Франція)

5. Сумісність гальмівних систем

Нормативні вимоги до гальмівного обладнання вантажних вагонів сполучення між залізницями колії 1435 мм та колії 1520 мм найбільш повно зосереджені у Пам'ятці ОСЖД О+Р 516. Згідно з цим, гальмівне обладнання вагонів повинне відповідати технічним вимогам щодо гальм як залізниць колії 1520 мм, так і залізниць колії 1435 мм. Гальмівне обладнання має надійно функціонувати в діапазоні робочих температур від +55 °С до -55 °С, якщо його деталі відносяться до активних елементів залізниць колії 1520 мм. В частині оснащення повітророзподільниками, передбачаються, зокрема, наступні варіанти:

а) встановлення на вагоні двох повітророзподільників з перемикаючим пристроєм – для колії 1435 мм вмикається повітророзподільник прийнятий UIC, а для колії 1520 мм – повітро-

розподільник типу 483;

б) встановлення на вагоні одного уніфікованого повітророзподільника або допущеної комбінації повітророзподільників UIC/483, що відповідають вимогам експлуатації гальм на залізницях колії 1435 мм і колії 1520 мм з перемикаючим пристроєм, який забезпечує переключення на відповідний режим роботи.

В першому варіанті вагон повинен мати по одному перемикачу «гальмо включене–виключене» і «пасажирський–вантажний», а також «порожній – навантажений» за відсутності вантажного авторежиму або по одному перемикачу «гальмо включене–виключене» і «порожній–середній–навантажений» згідно з Нормами [1], а також технічними вимогами до гальмівного обладнання вантажних вагонів побудови заводів РФ. Кожен повітророзподільник повинен мати власний випускний клапан з відпускним тросом, рукоятки якого повинні виводитися на обидві сторони вагона.

В другому варіанті виконання гальмівного обладнання більш прийнятним є використання повітророзподільника в комбінації з вантажним авторежимом. У випадку ручного переключення режимів гальма по завантаженню повітророзподільник повинен мати не менше двох фіксованих режимів за тиском у гальмівному циліндрі.

Гальмо вагона повинно забезпечувати встановлені нормативи гальмової маси (ваги) і розрахункового коефіцієнта гальмового натиснення для руху коліями відповідно 1435 мм і 1520 мм при заданій максимальній швидкості руху.

6. Додаткові вимоги

Слід зауважити, що міжнародні залізничні нормативи встановлюють також окремі специфічні вимоги до вантажного рухомого складу, які при створенні вагонів у сполученні «Схід-Захід» належить сприйняти й вітчизняному вагонобудуванню. Це стосується, зокрема, того, що конструкції вагонів, призначених для руху коліями 1435 та 1520 мм, повинні усувати можливість накопичення статичної електрики та гарантувати електропровідність на випадок падіння контактної підвіски електрифікованої лінії. В зв'язку з цим необхідно передбачити відповідне заземлення.

На вагонах, що мають колодкові гальма та підлогу з горючих матеріалів, слід забезпечити встановлення іскрозахисних щитів. Ця вимога поширюється також на платформи без підлоги або з несучільною підлогою в зоні гальмівних колодок за винятком вагонів, призначених виключно для перевезень металур-

гійної продукції.

Вагони колії 1520/1435 мм повинні бути придатними для перевезення на залізничних поромках з шириною колії, характерною для поромів. Для закріплення на поромках вагони повинні мати з кожного боку не менше як чотири кріпильних кільця. Крім того, такі вагони оснащуються також канатними гаками, які передбачено для переміщення за допомогою каната та відкаточної лебідки.

7. Дозвільні умови

Застосування вантажних вагонів для безперевантажувальних перевезень у міжнародному сполученні повинне здійснюватись на основі дотримання вимог встановленої дозвільної системи. Для цього вагони повинні відповідати міжнародним нормам безпеки та експлуатаційним нормам залізниць держав, якими будуть здійснюватись перевезення. Для допуску до експлуатації вагони колії 1520/1435 мм повинні пройти випробування за нормами як залізниць колії 1520 мм, так і залізниць колії 1435 мм. Експлуатація таких вагонів на залізницях кількох країн може також ґрунтуватись на міжнародних домовленостях залізничних адміністрацій.

Висновки

Головні завдання щодо створення вантажного рухомого складу для транспортних коридорів за напрямками Схід–Захід впливають з необхідності вирішення проблем ефективної інтеграції залізничного транспорту України у міжнародну транспортну мережу. Технічний сектор цих проблем визначають чинники, які безпосередньо пов'язані з принциповою відмінністю стандартів та інших нормативних документів, які регламентують правила щодо будови та утримання рухомого складу та інфраструктури на коліях 1520 мм і 1435 мм. Тому рухомий склад для комбінованих та безперевантажувальних перевезень – це спеціалізовані вагони нового покоління, які повинні відповідати вимогам, чинним для залізниць країн СНГ та Балтії, з одного боку, і країн Європейського Союзу, з другого. Таким чином, ці вагони можна визначати як вагони колії 1520/1435 мм.

Основні умови щодо вантажних вагонів колії 1520/1435 мм такі:

- вагони повинні бути візкової конструкції;
- вагони повинні допускати максимальну швидкість як у порожньому, так і в завантаженому стані не меншу, ніж 120 км/год;

- осьове навантаження повинно бути не меншим за 22,5 тс/вісь;

- як зчіпні прилади можуть використовуватись автозчеми типу СА-3 напівжорсткого типу або змішаний тяговий зчеп з буферними приладами;

- пневматичні гальма повинні мати або один уніфікований повітророзподільник, або два – один згідно з Пам'яткою UIC № 540 і другий – умовний № 483 з перемикачем.

Для можливості експлуатації на залізницях України західноєвропейських вагонів доцільно на прикордонних перестановочних пунктах мати запас візків колії 1520 мм, які є взаємозамінними з візками колії 1435 мм і відповідають нормам експлуатації УЗ (до таких візків відносяться візки типу ДК2000.) Завдання на виготовлення таких візків та умови фінансування мають вирішуватись зацікавленими сторонами.

Реалізація вимог, як уже сформованих на нормативному рівні міжнародними залізничними організаціями, так і додаткових чи специфічних, що визначаються на передпроектних та проектних стадіях роботи над конкретними конструкціями, є технічно здійсненною, і цілком може бути забезпеченою можливостями вітчизняної вагонобудівної індустрії.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Донченко А. В. Перспективи розвитку вагонобудування. Зб. наук. пр. КУЕТТ. Серія «Транспортні системи і технології». - Вип. 9. К.: КУЕТТ, - 2006. – С.54-61.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). - М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ. - 1996.
3. Памятка ОСЖД № О+Р 516. Грузовые вагоны сообщения между железными дорогами колеи 1435 мм и железными дорогами колеи 1520 мм. Технические предписания и технические условия для допуска вагонов. – Варшава, 1998. – 52 с.
4. Suwalski R.M. SUW 2000: Wozki towarowe i osobowe w awtomatycznym ruchu przestawczym 1435/1520 mm // Technika transportu szynowego. – 2000. – № 7/8. – S. 32-44.
5. Дьомін Ю. В. Залізнична техніка міжнародних транспортних систем (вантажні перевезення). – К.: Юнікон-Прес, 2001. – 342 с.
6. Веселка Я. Устройства сцепления железнодорожных транспортных средств, предназначенных для перевозок в направлении «Восток–Запад» // Бюллетень ОСЖД. – 2002. - № 6. – С. 15-17.

Надійшла до редакції 11.11.2007.

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОБОТИ ПРИКОРДОННИХ ПУНКТІВ ПЕРЕХОДУ ОДЕСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ

Виконано аналіз динаміки вагонопотоків, що перетинають прикордонні переходи Одеської залізниці. Запропоновано заходи, що спрямовані на розвиток її транзитного потенціалу.

Выполнен анализ динамики вагонопотоков, которые пересекают пограничные переходы Одесской железной дороги. Предложены мероприятия, направленные на развитие ее транзитного потенциала.

There has been executed analysis of dynamics of the car flows which cross the boundary transitions points of the Odessa railway. There also have been offered the measures directed towards the development of its transit potential.

Приоритетним завданням України є реалізація свого вигідного географічного положення і транзитного потенціалу транспортної системи [1]. Ряд країн (Голландія, Литва, Латвія та інші) навчилися успішно використовувати власне вигідне географічне положення і давно перетворили транзит на суттєву статтю своїх бюджетних доходів. Це сприяє соціально-економічному розвитку та покращує умови для внутрішнього і зовнішньоторгівельного сполучення регіонів, територією яких проходять транспортні коридори. На основі сучасних комунікацій в цих країнах створюються логістичні системи, що охоплюють увесь ланцюг просування товарів від постачальників до споживачів і сприяють оптимізації матеріальних та інформаційних потоків з урахуванням ситуації на ринках. В умовах гострої конкуренції за вантажопотоки на світовому транспортному ринку Україна повинна повністю використати свої величезні транспортні можливості та вигідне геополітичне положення і стати транспортним мостом між Європою та Азією.

Важливою складовою транспортної системи України є Одеська залізниця, характерною особливістю якої є приморське і прикордонне розташування. Територією Одеської залізниці проходять важливі міжнародні транспортні лінії:

- ділянка Одеської залізниці Вапнярка–Слободка–Роздільна–Кучурган і відгалуження Роздільна–Одеса є частиною Дев'ятого (Критського) транспортного коридору, що встановлений в якості пріоритетного напрямку трансєвропейської транспортної мережі;
- ділянка Вапнярка–Слободка–Роздільна–Одеса/Іллічівськ також є частиною міжнародного транспортного коридору ОСЖД №7;
- залізнична лінія Роздільна–Бендери–Рені–Джурджулешть–Галац (Румунія) є ділянкою міжнародної лінії E-560;

– ділянка Одеса/Іллічівськ–поромна переправа є частиною євразійського транспортного коридору *TRACECA*.

Залізничні лінії Одеської залізниці в одинадцяти точках перетинають державний кордон України та Республіки Молдова (РМ). При цьому на п'ятьох переходах (Слободка–Колбасая (РМ), Кучурган–Новосавицька (РМ), Кучурган–Лівада(РМ), Етулія РМ)–Фрікацей та Рені–Джурджулешть(РМ)–Галац (Румунія)) організовано повний цикл передачі вагонів, контейнерів та вантажів з прикордонним, митним та іншими видами державного контролю, а на шести інших поїзди прослідують без зупинки і процедура передачі вагонів, контейнерів і вантажів, а також прикордонний, митний і інші види контролю не проводяться. Динаміка зміни загального вагонопотоку N по прикордонним переходам наведена на рис. 1. Як видно з рис. 1 до 2003 року спостерігалось суттєве зростання обсягів передачі вагонів (близько 425 вагонів на рік) з практично лінійною залежністю (коефіцієнт регресії складає $R = 0,998$)

$$N_t = 425,1(t - 1999) + 733,8,$$

де t – рік.

За 4 роки передача вагонів збільшилась більше ніж в три рази. Далі почалося падіння обсягів передачі вагонів з залежністю також близькою до лінійної (коефіцієнт регресії складає $R = 0,978$)

$$N_t = -329,5(t - 2003) + 2421,5.$$

Враховуючи, що доля імпорту та транзиту з країн Південно-Східної Європи є незначною, то для вивчення причин цього явища необхідно проаналізувати структуру експорту та транзиту на Румунію. На рис. 2 наведено структуру експорту вантажопотоку на Румунію.

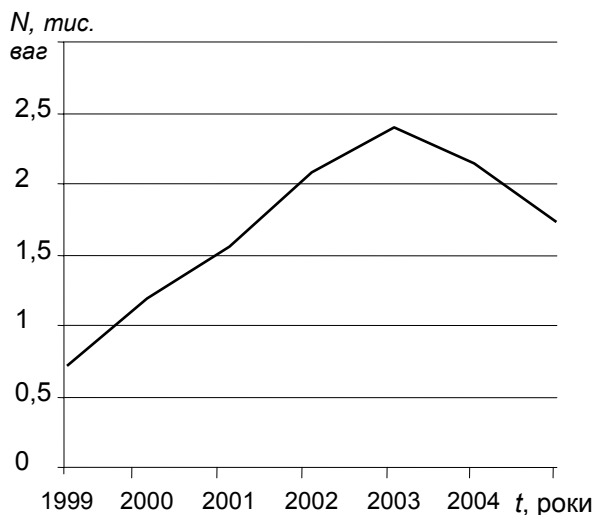


Рис. 1. Зміна вагонопотоку за прикордонними переходами Одеської залізниці

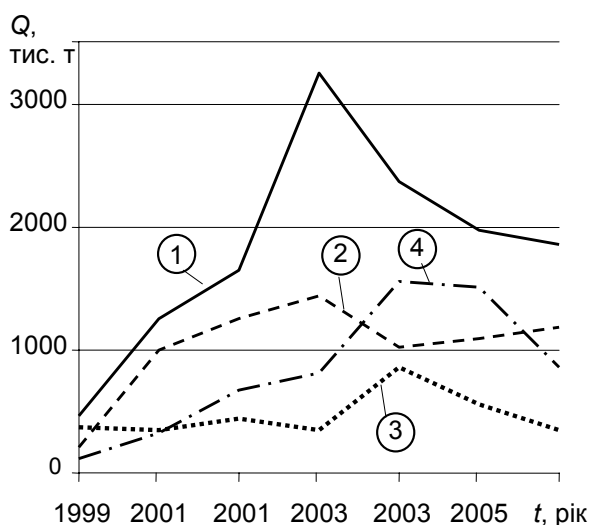


Рис. 2. Зміна вантажопотоку на Румунію за видами вантажів:

1 – вугілля; 2 – руда; 3 – нафтовантажі; 4 – інші вантажі

Аналіз динаміки зміни вантажопотоку показує, що падіння обсягів перевезень спостерігається практично по всім вантажам. Найбільше падіння спостерігається по вугіллю. Причиною цього є обвал ринку металу і, як наслідок, зменшення споживання сировини Галацьким металургійним комбінатом компанії «Sidex» і його купівля компанією «Mittal Steels». Досить негативною стороною цього скорочення є те, що воно обумовлюється в основному скороченням експорту саме української продукції (див. рис. 3), яка являє собою або сировину або продукцію первинної переробки.

У таких умовах для Укрзалізниці питання утримання транзитного вантажопотоку набуває особливої гостроти.

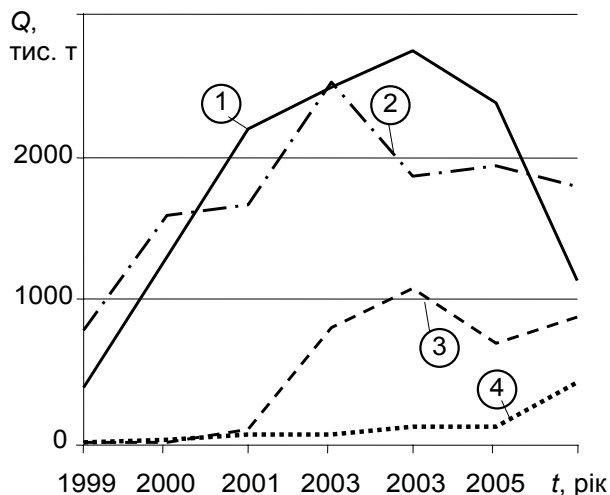


Рис. 3. Зміна вантажопотоку на Румунію за країнами-експортерами:

1 – Україна; 2 – Росія; 3 – Казахстан; 4 – інші країни

Одними з основних причин, що можуть призвести до втрат транзитних вантажопотоків, відповідно до [2], є відставання у приєднанні до міжнародних угод у галузі транзиту низька швидкість руху транзитних вантажів спільно з дією таких факторів як низька пропускна спроможність прикордонних пунктів, відставання у розвитку інформаційних технологій, значні втрати часу на оформлення документів на кордоні, відсутність спеціальних технологій для транзиту та єдиного оператора на міжнародному транспортному коридорі.

Порівняння вимог до міжнародних транспортних коридорів та реального стану залізничного транспорту України свідчить про те, що вітчизняні залізниці в основному відповідають встановленим стандартам за винятком найважливішого – швидкості руху, яка, згідно з вимогами Міжнародного союзу залізниць, становить 100 км/год для вантажних поїздів та 120 км/год – для пасажирських. Долаючи на окремих ділянках залізниць України до 80 км/год, вантажні поїзди мають середню маршрутну швидкість руху всього 31,7 км/год.

Одним із шляхів підвищення маршрутної швидкості є підвищення ходової швидкості поїздів. Такий крок вимагає реконструкції колії, електрифікації окремих ділянок, модернізації вагонного парку та введення нових зразків засобів СЦБ. Загальна вартість цих заходів оцінюється більш ніж у 2,3 млрд грн, а очікуване скорочення часу руху складає лише 7...10 годин.

Іншим шляхом підвищення маршрутної швидкості руху вантажних поїздів в межах міжнародних транспортних коридорів є скорочення їх простоїв на станціях, в першу чергу на

прикордонних. Після розділення залізничного майна з Республікою Молдова виникли проблеми реорганізації міжзалізничних стикових пунктів в міждержавні передавальні станції. Подібна реорганізація потребувала значних коштів, а залізничний транспорт, так же як і вся економіка України та Молдови, в той час знаходився у кризовому стані. В таких умовах стикові станції отримали статус прикордонних не маючи достатнього технічного оснащення для виконання відповідних операцій. Основними факторами, що негативно впливають на швидкість проходження вантажів є недостатній розвиток самих станцій, недоліки в роботі тилових станцій та об'єктів митної системи. В результаті на кордоні України та Молдови виникли значні простой поїздів. На станціях Кучурган, Етулія, Рені повний цикл передачі вагонів триває від 4 до 12 годин. Окрім того Республікою Молдова введено внутрішній митний пост на станції Кеушень, який також затримує поїзди для митного контролю. В цих умовах загальні втрати часу на прикордонних переходах складають від 15 до 40 годин і в 1,5...3 рази перевищують час руху поїздів. Подібний стан є не тільки фактором погіршення ефективності використання рухомого складу залізниць, а і зменшує комерційну привабливість маршрутів.

Для подолання цих проблем спільно з прикордонними і митними органами, що встановлюють режим пропуску через кордон, та іншими органами державного контролю, необхідно вироблення узгодженого рішення по максимальному спрощенню, в рамках вимог закону, процедури передачі вантажів і тривалості оформлення цих операцій.

Поставлена мета може бути досягнуто в результаті вирішення наступних задач:

- приєднання України до європейської конвенції в галузі транспорту, транспортно-експедиційної діяльності і торгівлі;
- розробка технології прискореного проведення митних і прикордонних операцій в зоні міжнародних транспортних коридорів;
- надання транзитним перевезенням статусу пріоритетних і виділення їх в окрему категорію з метою забезпечення швидкості просування вантажу та схоронності перевезень;
- створення єдиної інформаційної системи слідкування за проходженням вантажу;
- розбудова прикордонних пунктів пропуску, забезпечення їх засобами комп'ютерної техніки, промислового телебачення, зв'язку та іншим необхідним обладнанням.

Покращення умов пропуску вагонів через прикордонні станції Одеської залізниці дозволить скоротити загальні витрати на перевезення вантажів і тому в ньому заінтересовані не тільки Україна і Молдова, а і Росія, Білорусія, Казахстан та Європейські країни.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Кірпа Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему: Монографія. – 2-ге вид. переробл. і допов. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 248 с.
2. Новікова А. М. Логіко-ймовірнісна модель загроз втрати транзитних потоків // Залізн. трансп. України. – 2004. – № 4. – С. 51-57.

Надійшла до редакції 11.11.2007.

УЧЁТ УПРУГИХ СВЯЗЕЙ И РАСПРЕДЕЛЁННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ВЕКТОРНОМ УПРАВЛЕНИИ АСИНХРОННЫМ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА

Створена модель з урахуванням пружних зв'язків між вагонами розподільного асинхронного привода з векторними системами керування дизель-поїзда ДЕЛ-02. Розроблена система керування розподільного привода дизель-поїзда із блоками загальних зворотних зв'язків. Виконано математичне моделювання розробленої системи.

Составлена модель с учётом упругостей между вагонами распределённого асинхронного привода с векторными системами управления дизель-поезда ДЭЛ-02. Разработана система управления распределённого привода дизель-поезда с блоками общих обратных связей. Выполнено математическое моделирование разработанной системы.

The model with the account elasticities between carriages of the distributed asynchronous drive with vector control systems of a diesel engine - train ДЭЛ-02 is made. The control system of the distributed drive of the diesel engine - train with blocks of the general feedback is developed. Mathematical modeling the developed system is executed.

Введение

На сегодняшний день более 50 % железных дорог Украины не электрифицированы. Перевозка пассажиров здесь выполняется тепловозами и дизель-поездами (ДП). Создание мощных полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов позволило упростить схемотехнические решения силовых цепей преобразователя и применить в ДП асинхронный тяговый электропривод переменного тока. При одинаковой мощности тяговых агрегатов асинхронный тяговый привод обладает лучшими технико-экономическими показателями по сравнению с приводом постоянного тока. Однако, широкое внедрение асинхронного привода на железных дорогах Украины сдерживается трудностями создания надёжной и экономичной системы управления.

На стадии проектирования исследование динамических процессов движения ДП целесообразно на основе компьютерного моделирования. При этом необходимо создание единой электромеханической системы, включающей силовую электрическую схему, систему управления тяговым приводом и механическую часть привода [1].

Распределённый тяговый привод по сравнению локомотивной тягой имеет ряд преимуществ: расширение возможностей электрического торможения поезда, увеличение результирующих тяговых усилий, более равномерное распределение усилий при разгоне поезда. Однако для качественного управления поездом усложняется его система управления. Это вы-

звано работой тяговых двигателей на общий вал с учётом сцепления колёс с рельсами и наличием упругостей в устройстве вагонов.

Для обеспечения равномерной нагрузки двигателей, работающих на общий вал их механические характеристики должны быть мягкими или в случае жестких характеристик идентичными. С другой стороны уменьшение избыточного проскальзывания колёс достигается при жёстких механических характеристиках двигателей. Естественные механические характеристики асинхронных двигателей (АД) являются жёсткими, а в электроприводах с регуляторами скорости жёсткость характеристик становится ещё выше, вплоть до абсолютно жёсткой. Наличие упругостей между вагонами приводит к возникновению продольных колебаний между вагонами и, следовательно, к колебаниям нагрузок на тяговые двигатели. В [2] отмечается, что важнейшим требованием к существующим и вновь создаваемым конструкциям локомотивов является повышение надёжности тягового привода путём снижения вибрационной и динамической загруженности их узлов. Использование векторной системы управления АД позволяет улучшить динамические свойства привода.

В публикациях, рассматривающих вопросы управления ДП, индивидуальное управление тяговыми АД с учётом скоростей и моментов других двигателей рассмотрены недостаточно полно [3, 4, 5]. Учёт упругостей между вагонами поезда при расчёте систем управления, а также расчёт и моделирование тягового привода с векторной системой

управления АД в отечественной и зарубежной научной литературе не освещён.

Целью статьи является разработка системы векторного управления распределённым асинхронным тяговым приводом ДП ДЭЛ-02, учитывающей упругости между вагонами.

1. Математическая модель механической части распределённого привода ДП

ДП ДЭЛ-02 состоит из трёх вагонов: двух моторных и одного пассажирского. В каждом моторном вагоне установлено по два тяговых АД, каждый из которых через редуктор приводит во вращение одну колёсную пару (рис. 1). Питание двигателей осуществляется от установленного в каждом моторном вагоне синхронного генератора через неуправляемый выпрямитель и автономные инверторы напряжения. Генератор приводится во вращение дизелем.

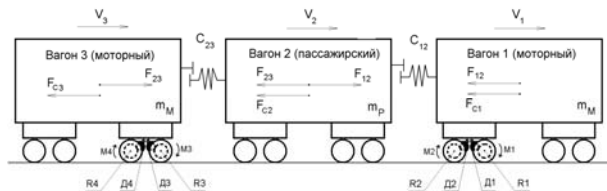


Рис. 1. Упрощенная схема дизель-поезда

При математическом описании механической части ДП приняты следующие упрощения: вагон (корпус с тележками и колёсами) представляется в виде одной сосредоточенной массы; упругость пути не рассматривается; связь между вагонами представляется упругим звеном без зазора и гасителей колебаний; проскальзывания между колёсами и рельсами отсутствуют.

Для получения математической модели механической части распределённого привода сделаем следующие обозначения: M_1, M_2, M_3, M_4 – электромагнитные моменты, развиваемые двигателями Д1, Д2, Д3, Д4 (рис. 1); F_{C1}, F_{C2}, F_{C3} – силы сопротивления движению первого, второго и третьего вагонов соответственно; C_{12}, C_{23} – коэффициенты упругости между первым и вторым, и вторым и третьим вагонами; m_M – масса моторного вагона, m_P – масса пассажирского вагона; i – передаточное число редуктора; R_1, R_2, R_3, R_4 – радиусы колёс первой, второй, третьей и четвёртой моторной пары соответственно; V_1, V_2, V_3 – скорости первого, второго и третьего вагонов соответственно; F_{12}, F_{23} – силы, действующие между первым и вторым, вторым и третьим вагонами

поезда соответственно.

Система уравнений, описывающая движение вагонов поезда, имеет вид:

$$\begin{cases} M_1 i / R_1 + M_2 i / R_2 - F_{C1} - F_{12} = m_M dV_1 / dt, \\ M_3 i / R_3 + M_5 i / R_5 - F_{C3} + F_{23} = m_M dV_3 / dt, \\ F_{12} = C_{12} \int_0^T (V_1 - V_2) dt, \\ F_{23} = C_{23} \int_0^T (V_2 - V_3) dt, \\ F_{12} - F_{23} - F_{C2} = m_P dV_2 / dt. \end{cases} \quad (1)$$

2. Математическая модель векторной системы управления тяговым АД

Для обеспечения высоких динамических свойств привода используется векторная система автоматического управления (САУ) АД. Обобщённая функциональная схема векторной САУ приведена на рис. 2.

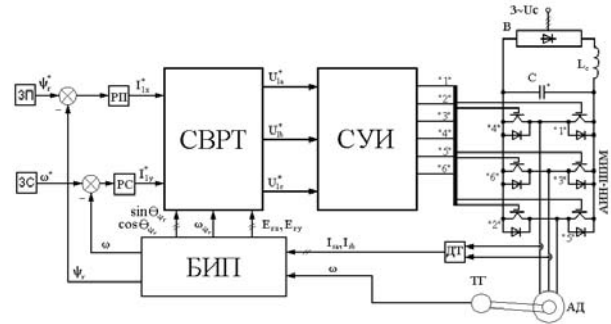


Рис. 2. Обобщенная функциональная схема векторной САУ скорости частотно-регулируемого ЭП ДП

Система состоит из выпрямителя В, автономного инвертора с широтно-импульсной модуляцией АИН ШИМ, системы управления инвертором СУИ, системы векторного регулирования тока СВРТ, блока идентификации параметров БИП, датчиков тока ДТ, датчика частоты вращения вала двигателя – ТГ, регуляторов потока РП и скорости РС. Асинхронный привод с векторной САУ описывается следующей системой уравнений [5]:

$$\left. \begin{aligned} L_m I_{sx} &= \Psi_r + T \frac{d\Psi_r}{dt}, \\ L_m I_{sy} &= (\omega_{\Psi r} - z\omega) T \Psi_r, \\ M &= \frac{3}{2} z k \Psi_r I_{sy}, \\ M - M_c &= J \frac{d\omega}{dt}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где Ψ_r – модуль обобщённого вектора потокоцепления ротора $\bar{\Psi}_r$ АД; L_m – взаимная индуктивность; ω – частота вращения ротора; M_C – момент сопротивления; z – количество полюсов; J – приведенный к валу АД момент инерции привода; T – электромагнитная постоянная времени ротора, I_{sx} , I_{sy} – намагничивающая и моментная составляющие статорного тока; ω_{Ψ_r} – частота вращения обобщенного вектора потокоцепления ротора; k – конструктивная постоянная АД; M – электромагнитный момент на валу АД.

Построение векторной САУ выполняется согласно [6]. При построении общей системы управления ДП для проверки принципов работы целесообразно асинхронный привод с векторной САУ представить в упрощённом виде (рис. 3). Векторная САУ содержит регуляторы активной и намагничивающей составляющих тока, регулятор потока и регулятор скорости.

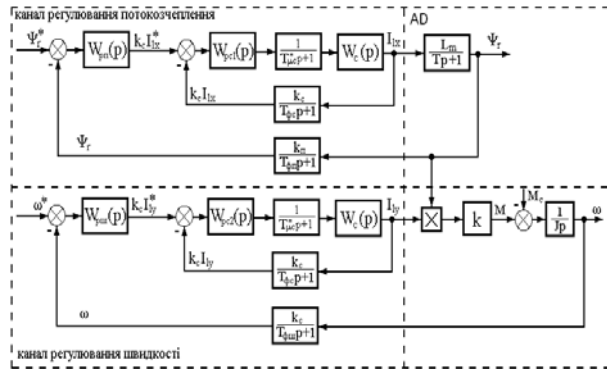


Рис. 3. Упрощенная структурная схема асинхронного привода с векторной системой управления

В векторной системе управления выполнен расчёт передаточных функций $W_{PT1}(p)$ и $W_{PT2}(p)$ регуляторов намагничивающей и активной составляющих статорного тока соответственно, регулятора потокоцепления – $W_{PI}(p)$ и регулятора скорости – $W_{PC}(p)$. Для ТАД АД906У1, установленного на ДП ДЭЛ-02, имеющего параметры: номинальная мощность 240 кВт, номинальное фазное напряжение 665 В, номинальный фазный ток 155 А, номинальный момент 2366 Н·м, число полюсов – 6, номинальная частота питающей сети 33,8 Гц, КПД – 93 %; и параметров поезда: масса моторного вагона $m_M = 64$ т, масса пассажирского вагона $m_P = 46$ т, радиус колеса $R = 0,475$ м, передаточное число редуктора $i = 2,47$ выполнен расчёт на модульный оптимум передаточных функций регуляторов:

$$\left. \begin{aligned} W_{PT}(p) &= \frac{0,0354p + 1}{6,4p}, \\ W_{PI}(p) &= \frac{1,232p + 1}{0,0012p}, \\ W_{PC}(p) &= 125. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Остальные блоки САУ рассчитаны по методике, приведённой в [6].

3. Разработка общей системы управления распределённого тягового привода

Во время эксплуатации ДП происходит износ бандажей колёсных пар, что приводит к изменению радиуса колеса. Допускается эксплуатация колёс с диаметром от 950 мм до 870 мм. Частота вращения АД измеряется на валу двигателя, при этом с помощью регуляторов скорости обеспечивается одинаковая частота вращения двигателей привода, что при разных радиусах колёс приводит к разным угловым скоростям колёсных пар, а, следовательно, к разным механическим характеристикам тяговых приводов. Из-за отличия жёстких механических характеристик отдельных тяговых приводов возникают значительные несовпадения (вплоть до разных знаков) развиваемых электромагнитных моментов АД. Это приводит к перегреву двигателей, дополнительному расходу энергии, возникновению продольных колебаний между вагонами, появлению режима буксования и другим нежелательным явлениям.

Задачей рассматриваемой в данной статье общей системы управления является обеспечение одинаковой загрузки двигателей и обеспечение отсутствия продольных колебаний между вагонами. Для выполнения поставленной задачи в общей системе управления реализованы две общие обратные связи по разности моментов двигателей и разности скоростей вагонов. Структура общей системы управления представлена на рис. 4. Блок Meh. model представляет упрощённую математическую модель механики движения поезда. Блоки Ког. momentov и Ког. скорости являются блоками общих обратных связей по разности моментов двигателей и разности скоростей вагонов соответственно.

Блоки EP1, EP2, EP3, EP4 – асинхронные тяговые электроприводы с векторными системами управления, соответственно, первой, второй, третьей и четвёртой обмоточной колёсной пары. Выходными сигналами этих блоков, соответственно, являются моменты M_1 , M_2 , M_3 , M_4 двигателей. Входными сигналами являются:

ω^* – сигнал задания частоты вращения АД; $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ – сигналы обратных связей по частоте вращения от первого, второго, третьего и четвёртого двигателей соответственно; $d\omega_{V1}, d\omega_{V2}, d\omega_{V3}, d\omega_{V4}$ – сигналы коррекции задания частоты вращения АД соответственно для первого, второго, третьего и четвёртого двигателей от блока общей обратной связи скоростей вагонов Ког. скорости; $d\omega_{M1}, d\omega_{M2}, d\omega_{M3}, d\omega_{M4}$ – сигналы коррекции задания частоты вращения АД, соответственно для первого, второго, третьего и четвёртого двигателей от блока Ког. momentov общей обратной связи по разности моментов двигателей.

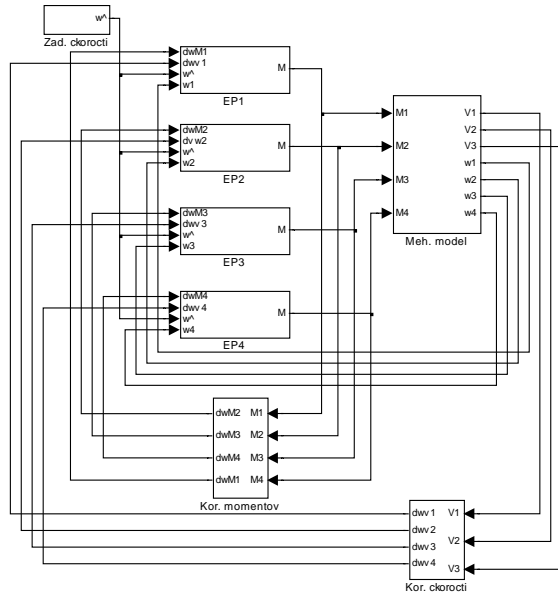


Рис. 4. Структура общей системы управления рас-
пределённым тяговым приводом

Результирующие сигналы задания частот вращения АД для первого, второго, третьего и четвёртого двигателей вычисляются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{Z1} &= \omega^* - d\omega_{V1} - d\omega_{M1}, \\ \omega_{Z2} &= \omega^* - d\omega_{V2} - d\omega_{M2}, \\ \omega_{Z3} &= \omega^* - d\omega_{V3} - d\omega_{M3}, \\ \omega_{Z4} &= \omega^* - d\omega_{V4} - d\omega_{M4}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Блок Ког. скорости по значениям скорости вагонов V_1, V_2, V_3 вырабатывает сигналы коррекции задания частоты вращения $d\omega_{V1}, d\omega_{V2}, d\omega_{V3}, d\omega_{V4}$ соответственно для первого, второго, третьего и четвёртого двигателей по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} d\omega_{V1} &= d\omega_{V2} = (V_1 - V_2)k_{1V}, \\ d\omega_{V3} &= d\omega_{V4} = (V_3 - V_2)k_{2V}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Блок Ког. momentov по значениям моментов двигателей вырабатывает сигналы коррекции задания частоты вращения соответственно для первого, второго, третьего и четвёртого двигателей по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} d\omega_{M1} &= (2M_1 - M_2 - M_4)(k_{PM} + k_{IM}/p), \\ d\omega_{M2} &= (2M_2 - M_1 - M_3)(k_{PM} + k_{IM}/p), \\ d\omega_{M3} &= (2M_3 - M_2 - M_4)(k_{PM} + k_{IM}/p), \\ d\omega_{M4} &= (2M_4 - M_1 - M_3)(k_{PM} + k_{IM}/p). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Настройка параметров k_V, k_{PM}, k_{IM} блоков общих обратных связей выполнялась с использованием пакета расширения NCD (Nonlinear Control Design) системы Matlab, позволяющего выполнять динамическую оптимизацию параметров системы.

4. Результаты моделирования

При выполнении моделирования движения ДП задавались следующие значения параметров: масса моторного вагона $m_M = 64$ т, масса пассажирского вагона $m_P = 46$ т, коэффициенты упругости между вагонами $C_{12} = C_{23} = 938600$ Н/м, радиусы ведущих колёсных пар задавались не одинаковые – $R_1 = 0,47$ м, $R_2 = 0,445$ м, $R_3 = 0,45$ м, $R_4 = 0,465$ м. Выполнялся разгон поезда от нулевой скорости до 100 км/ч. Силы сопротивления первого и третьего вагонов $F_{C1} = F_{C3} = 9500$ Н; сила сопротивления второго вагона $F_{C2} = 6900$ Н.

На рисунке 5 показаны графики скорости поезда, изменения расстояний между вагонами и электромагнитные моменты двигателей без применения дополнительных блоков общей обратной связи. На рисунке обозначено: dS1, dS2 – изменения расстояний между первым и вторым, вторым и третьим вагонами соответственно; V_p – скорость поезда, делённая на 2000 (км/ч); M_1, M_2, M_3, M_4 – электромагнитные моменты тяговых двигателей. Из рис. 5,а видно, что из-за жёсткости механических характеристик асинхронных приводов при разных радиусах колёс, АД развивают электромагнитные моменты с разными знаками. При изменении нагрузки (например, движение в гору) в момент времени $t = 100$ с возникают колебания между вагонами (рис. 5, б).

Подключение настроенных блоков общих обратных связей с параметрами $k_V = 5,006$, $k_{PM} = 0,00025$, $k_{IM} = 0,0057$, найденными NCD блоками, позволило практически обеспечить равен-

ство моментов двигателей и свести к минимуму продольные колебания между вагонами (рис. 6).

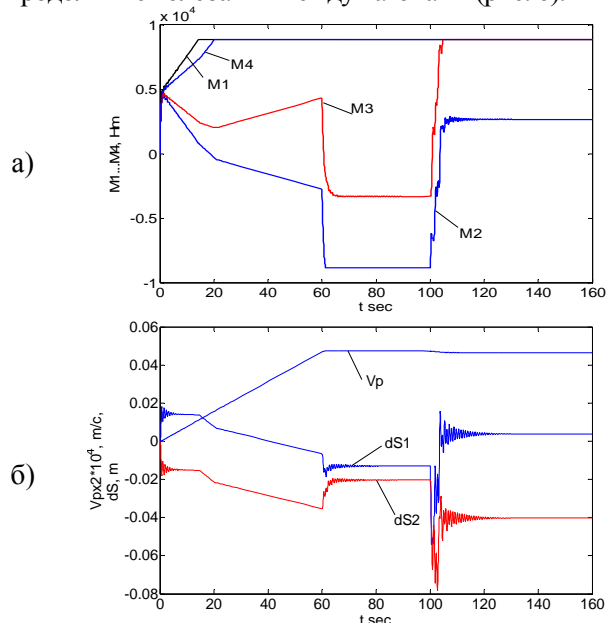


Рис. 5. Графики скорости поезда, изменений расстояний между вагонами и электромагнитных моментов двигателя без применения дополнительных блоков коррекции:
а – моменты двигателей; б – изменения расстояний между вагонами и скорость поезда

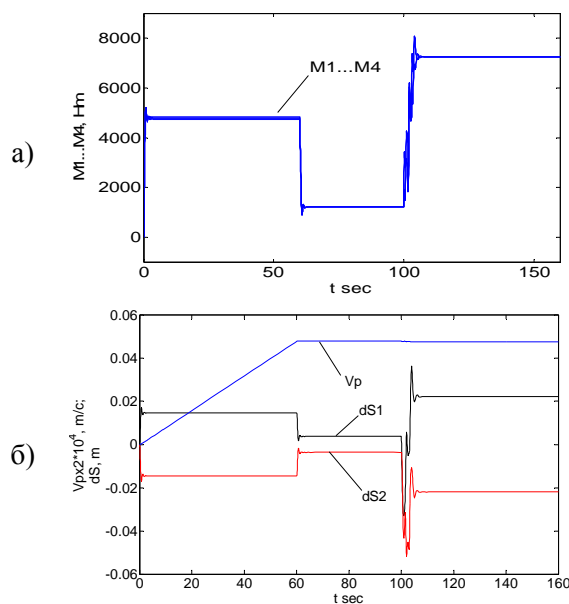


Рис. 6. Перемещения вагонов и моменты двигателей с блоками общих обратных связей:
а – моменты двигателей; б – изменения расстояний между вагонами и скорость поезда.

Изменения выходных сигналов корректирующих блоков приведено на рис. 7.

Выводы. 1. Результаты исследования на модели движения ДП с распределённым тяговым асинхронным приводом с векторной САУ показали, что без введения в систему управления дополнительных общих обратных связей возникают продольные колебания между вагонами

и тяговые двигатели развивают разные электромагнитные моменты, вплоть до работы некоторых двигателей в генераторном режиме.

2. Введение в систему управления дополнительных блоков общей обратной связи по разности скоростей вагонов и разности моментов двигателей позволило обеспечить практически равенство моментов двигателей, а также снизить амплитуду колебаний между вагонами и в несколько раз длительность этих колебаний, что подтверждено результатами моделирования.

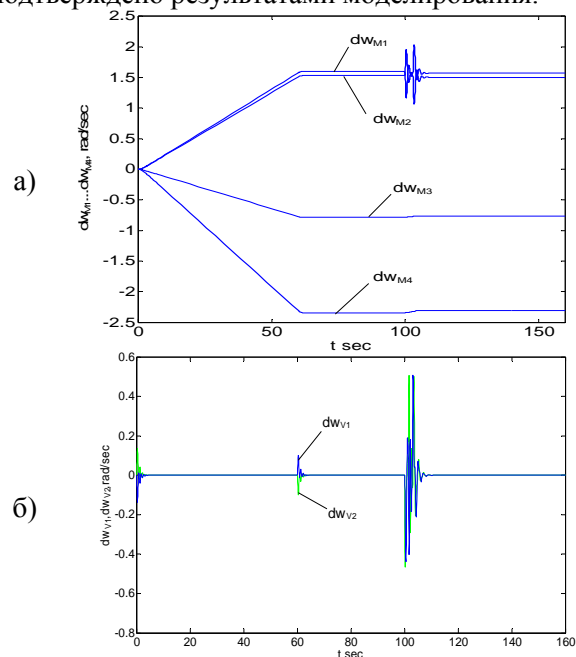


Рис. 7. Выходные сигналы корректирующих блоков

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Федяев Г. А., Федяев В. Н. Математическое моделирование электромеханических процессов в асинхронном тяговом приводе тепловоза ТЭМ21 -. Вестник ВНИИЖТ, 2005. № 6. С. 39-45.
2. Павленко А. П. Динамика тяговых приводов магистральных локомотивов. – М.: Машиностроение, 1991. – 192 с.
3. Носков В. И. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов. / В. И. Носков, В. Д. Дмитриенко, Н. И. Заполовский, С. Ю. Леонов. // Научн. изд. – Харьков: ХФИ, Транспорт Украины, 2003. – 248 с.
4. Басов Г. Г. Прогнозування розвитку дизель-поїздів для залізниць України: Монографія. Ч. 1–Харків: Апекс+, 2004. – 240 с.
5. Басов Г. Г. Развитие электричного моторвагонного рухомого складу. / Г. Г. Басов, С. И. Яцько. Ч. 2 – Харків.: Апекс+, 2005. – 248 с.
6. Пивняк Г. Г. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией: Монография. / Г. Г. Пивняк, А. В. Волков. – Д.: НГУ, 2006. – 470 с.

Поступила в редакцию 25.10.2007.

В. Р. РАСПОПИН, А. В. ШАПОВАЛ, Л. Ю. СНИТКО (ГП «УкрНИИВ»),
Г. С. ИГНАТОВ (ОАО «КВСЗ»), В. Т. ВИСЛОГУЗОВ (ДИИТ)

ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Розглянуто питання електромагнітної сумісності з пристроями сигналізації та зв'язку електрообладнання пасажирських вагонів вітчизняного виробництва, висвітлено проблеми, які постають перед вітчизняними вагонобудівниками у зв'язку із забезпеченням виконання вимог нормативної документації щодо електромагнітної сумісності з метою підвищення безпеки руху рейкового рухомого складу та забезпечення безпеки пасажирів при пасажирських перевезеннях.

Рассмотрен вопрос электромагнитной совместимости с устройствами сигнализации и связи электрооборудования пассажирских вагонов отечественного производства, освещены проблемы, встающие перед отечественными вагоностроителями в связи с обеспечением выполнения требований нормативной документации по электромагнитной совместимости с целью повышения безопасности движения рельсового подвижного состава и обеспечения безопасности пассажиров при пассажирских перевозках.

The question of electromagnetic compatibility with signaling and communication devices of the electric equipment of domestic production coaches is surveyed; the problems rising before domestic rail car manufacturer in connection with providing of accomplishment of the normative documentation requirements on electromagnetic compatibility for the purpose of traffic safety rising of the rail rolling stock and providing the passengers safety during passenger traffic are stated.

Электрооборудование современных пассажирских вагонов – сложный и энергоемкий комплекс, включающий в себя устройства, в которых электрические токи значительных величин претерпевают различные преобразования по величине, форме, частоте. Поэтому отдельные устройства и комплекс электрооборудования в целом являются источником промышленных радиопомех. Уровень этих помех значительно возрастает в связи с использованием современной преобразовательной техники, характеризующейся высокими напряжениями, коммутацией значительных мощностей с высокой тактовой частотой и токовыми импульсами большой крутизны.

При исследовании помехоизлучающей способности подвижного состава следует, прежде всего, отметить такой фактор, как интенсивность полей, мешающих радиоприему. Электрические и электронные компоненты подвижного состава генерируют электромагнитные поля, которые создают помехи для радиоприемников, мобильных телефонов, переносных радиостанций поездной или производственной связи.

Статические преобразователи, используемые в пассажирских вагонах с централизованной системой электроснабжения, возбуждают в питающей их сети мешающие токи, которые через рельсы и контактную сеть передаются на

тяговую подстанцию. Эти токи могут оказывать мешающее влияние на работу рельсовых цепей устройств СЦБ, АЛС и линий связи.

ДСТУ 4049-2001 «Вагоны пассажирские магистральные локомотивной тяги. Требования безопасности» [1] устанавливает требования к уровням радиопомех, излучаемых электрооборудованием пассажирского вагона, ссылкой на ГОСТ 29205-91 «Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от электротранспорта. Нормы и методы испытаний» [2]. В последнем документе нет даже упоминаний о пассажирских вагонах. Аналогичная ситуация с требованиями к уровням радиопомех и в России. Однако ГОСТ Р 51690-2000 «Вагоны пассажирские магистральных железных дорог колеи 1520 мм» [3], касающийся именно пассажирских вагонов, ссылается на ГОСТ 29205 [2] и указывает кривую 1.

Если проанализировать требования ГОСТ 29205 [2], то видно, что кривая 1 ограничивает максимально допустимые квазипиковые значения напряженности поля радиопомех электропоездов в установившемся режиме работы тягового оборудования. Кривая 2 лежит на 6 дБ ниже кривой 1 и ограничивает уровни напряженности поля радиопомех электропоездов в установившемся режиме работы, а также подвижного состава городского электротранспор-

та, в том числе вагонов метрополитена, в переходных режимах работы тягового оборудования на частотах 0,15...30 МГц. В установившемся режиме уровни напряженности поля радиопомех для городского транспорта ограничиваются кривой 3, лежащей на 16 дБ ниже кривой 1. На 4 дБ выше кривой 1 лежит только кривая 4, которая ограничивает значения напряженности поля радиопомех пригородного электропоезда в переходных режимах в полосе частот от 0,15 МГц до 30 МГц.

Учитывая, что мощность, потребляемая электрооборудованием пассажирского вагона, и плотность компоновки электрооборудования значительно ниже, чем у приведенного выше подвижного состава, можно предположить, что для пассажирских вагонов особых проблем по уровням напряженности поля радиопомех, издаваемых электрооборудованием вагона, быть не должно, так как ограничение уровня помех кривой 1 является очень «мягким» по сравнению с другим подвижным составом.

ГП «УкрНИИВ» были проведены испытания по определению уровней напряженности поля радиопомех, создаваемых электрооборудованием, ряда пассажирских вагонов с автономной системой электроснабжения. Это вагоны модельного ряда 61-779, производства ОАО «Крюковский вагоностроительный завод» (ОАО «КВСЗ»), а также вагоны после капитально-восстановительного ремонта типа 47Д, 47К, ЦМВО-66, ОАО «Днепропетровский завод по ремонту и строительству пассажирских вагонов» (ОАО «Днепробагнетстрой»). Результаты испытаний подтверждают предположение о том, что значения напряженности поля радиопомех, создаваемых электрооборудованием таких вагонов, находятся в допустимых пределах. Однако следует отметить, что даже на этих вагонах в переходных режимах работы преобразователя, питающего климатическую установку, при скачкообразном изменении нагрузки на отдельных частотах исследуемого диапазона наблюдаются кратковременные повышения уровней напряженности поля радиопомех до максимально допустимых значений, ограниченных кривой 1 ГОСТ 29205 [2].

В последнее время ОАО «КВСЗ» изготовлены опытные образцы пассажирских вагонов моделей 61-788 и 61-779Э с централизованной системой электроснабжения. Основным устройством системы электрообеспечения данных вагонов является подвагонный статический преобразователь мощностью 45 кВт, питающийся от высоковольтной магистрали, и через

который осуществляется питание практически всех устройств электрооборудования вагонов. При проведении испытаний по определению уровней напряженности поля радиопомех, издаваемых электрооборудованием этих вагонов, установлено, что на отдельных частотах исследуемого спектра (особенно в области низких частот) отмечаются превышения допустимых уровней, ограниченных кривой 1 ГОСТ 29205 [2], даже в установившемся режиме работы электрооборудования (статического преобразователя). При этом следует отметить, что уровни мешающего влияния электрооборудования этих вагонов на рельсовые цепи и путевые устройства сигнализации соответствуют требованиям ДСТУ 4049 [1] и рекомендациям Главного управления автоматики, телемеханики и связи Укрзализныци «Значення граничного струму, діапазону частот і характеру впливу завод на роботу рейкових кіл та автоматичної локомотивної сигналізації», утвержденным 22.05.2006 г. [4].

Такое положение дел свидетельствует о том, что на стадии разработки и изготовления пассажирских вагонов вопросу электромагнитной совместимости просто не уделялось должного внимания, предполагая, что будет все нормально, а главной задачей было обеспечение надежной работы системы. Однако вопрос этот требует системного подхода и должен прорабатываться как на стадии проектирования отдельных устройств электрооборудования вагона, так и при разработке конструкторской документации на электрооборудование вагона. И надо сказать, что пути решения по уменьшению уровней радиопомех есть, при условии выполнения мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости. При этом особое внимание должно уделяться прокладке проводов, так как между ними могут возникать нежелательные взаимодействия, и наиболее важной является проблема уменьшения емкостной и индуктивной связи. Другим важным вопросом мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости является экранирование проводов, блоков и отдельных устройств электрооборудования, а при оценке эффективности экранирования следует различать средства защиты от электрических и магнитных полей. Экранирующие оболочки, корпуса блоков и отдельных устройств соединяются с токопроводящим корпусом вагона (заземляются) как минимум в двух местах. Соединения с корпусом вагона должны иметь активные и индуктивные сопротивления минимальных значений,

обеспечивая как электробезопасность пассажиров и персонала, так и эффективность экранящих оболочек.

Следует также сказать, что производителям вагонов надо выдвигать жесткие требования по электромагнитной совместимости своим партнерам, изготовителям электрооборудования для вагонов, еще на стадии разработки и согласования технического задания и технических требований. В настоящее время на вагонах устанавливается по несколько устройств, для каждого из которых в технических условиях (техническом задании) на это изделие уровень радиопомех нормирован кривой 1 ГОСТ 29205. Естественно, что обеспечить выполнение нормативных требований по уровню напряженности поля радиопомех для электрооборудования вагона в целом при таком подходе нельзя. Ведь, в конечном итоге, соответствовать требованиям НТД должен общий уровень радиопомех, создаваемых всем комплексом электрооборудования пассажирского вагона, а не отдельными устройствами, входящими в состав электрооборудования вагона.

Отсутствие в Украине отечественных нормативных требований по помехоизлучению к отдельным устройствам (блокам) электрооборудования приводит к тому, что производители устройств сами нормируют этот показатель. Поэтому отечественным производителям вагонов при выставлении (согласовании) требований к отдельным устройствам, наверное, следует ориентироваться на европейские стандарты, в которых, в частности (EN 55011 [5]), уровни помех в диапазоне радиочастот нормированы в

зависимости от электрической мощности устройства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ДСТУ 4049-2001 Вагоны пассажирские магистральные локомотивной тяги. Требования безопасности.
2. ГОСТ 29205-91 Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от электротранспорта. Нормы и методы испытаний.
3. ГОСТ Р 51690-2000 Вагоны пассажирские магистральных железных дорог колеи 1520 мм.
4. Значення граничного струму, діапазону частот і характеру впливу завод на роботу рейкових кіл та автоматичної локомотивної сигналізації. Рекомендації Головного управління автоматики, телемеханики і зв'язи Укрзалізничці, утверджені першим заступником генерального директора Укрзалізничці 22.05.2006 г.
5. EN 55011 Limits and methods of measurement of radio disturbance.
6. Электромагнитная совместимость подвижного состава. Железные дороги мира – 2001 – № 11.
7. Исследование электрической совместимости. Железные дороги мира – 2001 – № 11.
8. В. Карамашев. Проблемы обеспечения электромагнитной совместимости технических средств в условиях ВТО. Стандарты и качество – 2002 – № 6.
9. М. Беліков, С Мельник. Електромагнітна сумісність технічних засобів у сучасних умовах України. СТАНДАРТИЗАЦІЯ СЕРТИФІКАЦІЯ ЯКІСТЬ – 2003 – № 4.

Поступила в редакцию 17.11.2007.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ПАСАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Пасажи́рські купе сучасних вагонів мають глухі вікна, відсутня природна вентиляція купе. У цих умовах зростає роль якісної й надійної роботи вентиляції вагонів при експлуатації. У статті пропонуються нові підходи при проектуванні й проведенні модернізації систем керування вентиляцією в пасажирських приміщеннях рухомого состава.

Пассажи́рские купе современных вагонов имеют глухие окна, отсутствует также естественная вентиляция купе. В этих условиях возрастает роль качественной и надежной работы вентиляции вагонов при эксплуатации. В статье предлагаются новые подходы при проектировании и проведении модернизации систем управления вентиляцией в пассажирских помещениях подвижного состава.

The modern cars passenger compartments have the blank windows; there is no also natural ventilation in compartment. In these conditions, the role of qualitative and reliable work of cars ventilation grows during the time operation. In article new approaches during and carrying out of modernization control systems in passenger spaces of the rolling stock are offered.

Тенденции развития пассажирских перевозок всеми видами транспорта на протяжении всей своей истории заключаются в предоставлении новых возможностей для пассажиров по сокращению времени поездки с одновременным повышением уровня комфорта и предоставляемых услуг. Конструкции пассажирских вагонов и его системы подвергаются значительным изменениям.

Совершенствованию конструкций установок кондиционирования воздуха современных пассажирских вагонов посвящены публикации специалистов предприятия на Украине по проектированию и производству пассажирских вагонов - ОАО «Крюковский вагоностроительный завод» [1].

Современные пассажирские вагоны, как правило, оборудованы моноблочными кондиционерами и имеют минимальное количество открывающихся оконных створок (фрамуг). Вагоны, предназначенные для эксплуатации на скоростных линиях, изготавливаются только с глухими окнами в пассажирских купе. Установка таких окон и окон с углом открытия не более 20...25 градусов вызвана следующими причинами:

- для снижения поступления пыли в помещения вагона с наружным воздухом через открытые фрамуги (содержание пыли в воздухе не должно превышать санитарных норм) [2];
- для сокращения тепловых потерь при работе кондиционера в режимах охлаждения и нагрева (уровень тепловых потерь кузова вагона характеризуется коэффициентом теплопере-

дачи, его значение не должно превышать $1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [3] при всех закрытых дверях и окнах);

- для снижения себестоимости (стоимость глухих окон значительно ниже);

- для упрощения технологических процессов сборки (подвижные элементы окон предъявляют повышенные требования к точности изготовления металлоконструкции вагона и качеству монтажу окна);

- для уменьшения уровня звуковой волны от проходящего встречного поезда и при проезде по туннелю;

- для расширения возможности по дизайну конструкции вагона (подвижные элементы фрамуг труднее поддаются дизайнерской проработке).

Таким образом, в ближайшей перспективе можно предположить полное исключение открывающихся фрамуг в помещениях вагона. В этих условиях возрастает роль климатической установки (далее - КУ) как системы жизнеобеспечения. Разработка системы управления КУ вагона должна быть направлена не только на обеспечение нормативов по микроклимату, но и предусматривать оперативную диагностику функционирования основных узлов. Сочетание функциональной диагностики и выполнения на основе ее профилактических (ремонтных) работ позволяет повысить качество работы КУ и продлить ресурс работы дорогостоящего оборудования в условиях реальной эксплуатации.

Предлагается при построении системы

управления вентиляцией использовать принцип авторегулирования. Он заключается в создании обратной связи между требуемым параметром (в данном случае – избыточное давление воздуха) и входными управляющими сигналами. Система авторегулирования предполагает установку в воздуховодах специальных датчиков – дифференциальных микроманометров с аналоговым или цифровым выходом.

Не вызывает сомнений обоснованность применения датчиков в электрических цепях вагона. Электрооборудование включает следующие элементы: датчики тока; напряжения; давления; термопреобразователи сопротивления; датчики дыма; датчики перемещения; дифференциальные токовые реле; датчики уровня; токовые реле замыкания на корпус; концевые выключатели и т. п. Датчики не только позволяют осуществлять оперативную диагностику работоспособности электрооборудования, но и работают в схемах автоматики, защиты от предельных режимов работы электрооборудования, цепях блокировки.

Применение системы авторегулирования обеспечит:

- поддержание продуктивности вентиляции на необходимом заданном уровне при изменении в процессе эксплуатации сопротивления воздушному потоку (накопление пыли в воздушном фильтре);
- поддержание подачи необходимого количества наружного воздуха, как следствие, содержание CO_2 в пассажирских помещениях не должно превышать предельных норм;
- содержание пыли в обработанном воздухе не достигнет предельных значений (блокировка при установлении фильтра с поврежденным фильтрующим элементом, либо не соответствующего типа);
- выработку информационных сигналов уровня реальной производительности системы вентиляции (например, уровня продуктивности по отношению к норме);
- выработку сигналов на блокировку при некорректной эксплуатации (отсутствие фильтра, полное загрязнение фильтра, резкая потеря герметичности воздухопровода, механические дефекты рабочего колеса вентилятора и т. п.);
- выработку сигнала на аварийное отключение электрокалорифера при отсутствии, либо при недопустимо-низком воздушном напоре;
- при необходимости, выработку сигнала для счетчика по учету ресурса работы нового фильтрующего элемента, ресурса работы фильтрующего элемента после его регенерации.

Наибольшую эффективность предлагаемого принципа управления можно ожидать при современной схеме с частотным регулированием оборотов двигателя привода вентилятора, имеющего необходимый запас по производительности. Для схем без частотного регулирования оборотов двигателя привода вентилятора можно использовать сигналы датчиков как информационные: текущий уровень производительности системы вентиляции и уровни загрязненности фильтров; индикация аварийного отключения; блокировка работы при некорректной эксплуатации и т.д. В этом случае увеличение производительности вентиляции можно производить доступным для данной конструкции способом (двухскоростные асинхронные двигатели, специальные механические заслонки).

Схема размещения приемников давления дифференциальных микроманометров и схема соединений для участка воздухопровода с установленным фильтром показаны на рис. 1.

Направление воздушного потока

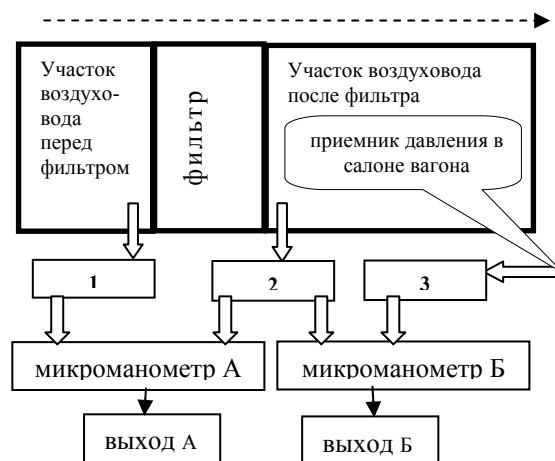


Рис. 1. Схема размещения приемников давления дифференциальных микроманометров: стрелками обозначено движение воздуха в измерительных трубках; 1,2,3 – ресиверы, предназначенные для стабилизации воздушного давления на входах микроманометров; выход А, Б – выходные сигналы, пропорциональные дифференциальному давлению

В условиях реальной эксплуатации у воздушного фильтра по мере запыленности будет расти его динамическое сопротивление. Микроманометр А, приемники давления которого установлены до и после фильтра будет регистрировать увеличение перепада давления. Начальное сопротивление нового фильтра и конечная потеря давления для полностью засоренного фильтра определяются типовыми методиками испытаний [4]. Полученные значения необходимы для тарировки выхода А по степе-

ни загрязненности фильтра. Тарировка выхода Б осуществляется в период приемо-сдаточных испытаний с соответствующей записью в технический паспорт вагона.

Например, электрокалорифер воздушного отопления является источником пожарной опасности. Контроль за уровнем воздушного потока, проходящего через калорифер (выход микроманометра Б) позволит вырабатывать сигналы на блокировку его работы при некорректной эксплуатации еще до подачи напряжения питания на электронагревательные элементы и вырабатывать сигналы на его отключение при сбое в системе вентиляции

Характер процесса и зоны для проведения анализа для выходного сигнала А показаны на рис. 2.



Рис. 2. Изменение выходного сигнала микроманометра А в процессе эксплуатации:
ЗОНА 1 – установлен фильтр с поврежденным фильтрующим элементом, либо отсутствует (сигнал «Блокировка – авария фильтра»);
ЗОНА 2 – штатная работа фильтра (сигнал – «Норма»);
ЗОНА 3 – фильтрующий элемент подлежит замене (сигнал «Блокировка – заменить фильтр»)

В условиях реальной эксплуатации будет меняться динамическое сопротивление системы каналов прохождения воздушных потоков. Причинами могут служить пыле-грязевые отложения на теплообменных элементах, увеличение щелевых потерь во фланцевых соединениях, отклонение от нормального положения пожарной заслонки, разрегулировка системы мультивентов, разрывы эластичных (как правило, брезентовых) вставок воздухопроводов, грубые нарушения правил эксплуатации и т. д.

Характер процесса и зоны для проведения анализа для выходного сигнала Б показаны на рис. 3.

В воздухопроводах для контроля работы вентиляции применяются механические датчики. Принцип их действия основан на отклонении пластинки (типа флюгер) под воздействием напора потока воздуха. Контроль осуществляется визуально по углу отклонения пластинки и по срабатыванию концевых выключателей

(например, магнитоуправляемых контактов герконовых реле).

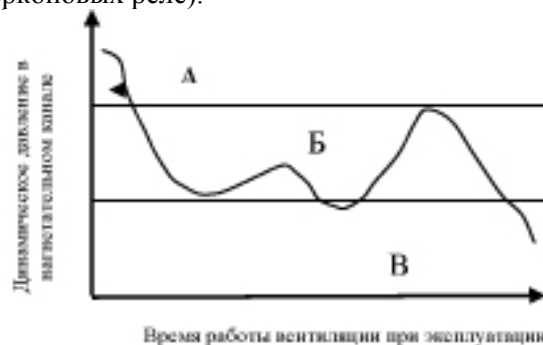


Рис. 3. Изменение выходного сигнала микроманометра Б в процессе эксплуатации:
участок А – некорректная работа вентиляционной системы (например, пожарная заслонка не заняла нормальную позицию; мультивенты салона закрыты);
участок Б – производительность соответствует заданному режиму; участок В – производительность вентиляционной системы ниже заданного уровня

Применение этого типа датчиков для систем авторегулирования процессов ограничено. Основные недостатки этого типа датчиков следующие: отсутствие электрического сигнала, пропорционального величине напора (реальной производительности вентиляционной установки); точечный контроль (контролируется поток воздуха только в месте установки датчика); требуют механической наладки и обслуживания в процессе эксплуатации; узкий диапазон контролируемых уровней; чувствительность к механическим вибрациям.

Для осуществления режима авторегулирования предлагается использовать следующие устройства, свободные от указанных недостатков:

- преобразователи давления типа ДМ 3583-М с линейной зависимостью выходного сигнала от разности давлений, диапазон давлений 0...1600 Па, диапазон рабочих температур от - 30 до + 50 °С;

- дифференциальные датчики давления типа MPX- 2010 DP фирмы CONRAD с линейностью преобразования $\pm 0,15 \%$, с аналоговым потенциальным выходом и чувствительностью не хуже 2,5 мВ/кПа, диапазон давлений 0...10000 Па, рабочая температура от - 40 до + 125 °С, напряжение питания 10...16 В; лазерная калибровка;

- дифференциальные датчики давления типа STX 2100 фирмы DRUCK с линейностью преобразования $\pm 0,1 \%$, двухпроводный выход по току 4...20 мА с цифровым сигналом по HART протоколу, типовой диапазон давлений 0..20 бар, время демпфирования давления регу-

лируется в диапазоне от 0...38,4 с, рабочая температура от - 40 до + 85 °С, напряжение питания 12...45 В, долговременная стабильность в течение 0,5 года при стандартных внешних условиях эксплуатации не более 0,1 % верхнего предела измерений.

Для обработки сигналов, поступающих от датчиков давления и сигналов управления от шкафа управления климатической установкой можно использовать микроконтроллеры.

Как правило, эти устройства имеют встроенные АЦП (2, 4, 8 и более каналов), широкие функциональные возможности по программированию порогов срабатывания компараторов и выработки сигналов управления для исполнительных устройств, выработки информативных сигналов результатов диагностики. Например, микроконтроллеры нового поколения, выполненные по новой технологии Enhanced Flash фирмы Microchip, обеспечивают количество гарантированных циклов перезаписи памяти программ – более 100000. Длительность хранения данных превышает 40 лет. Предусмотрена возможность осуществлять программирование и отладку этих устройств непосредственно с работающим оборудованием. В производственных условиях это означает выпуск широкой номенклатуры выпускаемых моделей вагонов с различными требованиями к системам вентиляции без особых затрат на переоснащение.

В перспективе практически все системы пассажирских вагонов будут иметь в своем составе разнообразные датчики, обработка информации которых будет осуществляться на основе микроконтроллеров (управление отдельными системами) и промышленных компьютеров (управление всеми системами, сбор, запись и передача информации).

Применение принципов авторегулирования в системах управления вентиляцией в пассажирских помещениях позволит решить следующие вопросы:

- вопросы безопасности: снизить накопление пыли проточной части вентиляционного оборудования при эксплуатации (пыль может привести к самовозгоранию или взрыву) [5];

- вопросы обеспечения санитарных норм по содержанию углекислого газа в пассажирских помещениях: осуществлять подачу наружного воздуха в необходимых объемах в пассажирские помещения вагона при реальном загрязнении воздушных фильтров в процессе эксплуатации (содержание углекислого газа в воздухе должно быть не более 0,1 %) [2];

- оперативная диагностика позволит своевременно выявлять отклонения в работе системы и планировать ремонтно-профилактические работы для исключения преждевременного выхода из строя вентиляционного оборудования, теплообменных и воздухораспределительных устройств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приходько В. И. Особенности развития конструкций установок кондиционирования воздуха пассажирских вагонов / В. И. Приходько, О. А. Шкабров, В. И. Коляденко, Г. И. Игнатов, В. А. Солдатов // ДНУЗТ, Вісник № 7, 2005. - С. 61-66.
2. Санитарные правила устройства, оборудования и эксплуатации пассажирских вагонов дальнего следования: ЦУВС-19. – М., 1984. Введені в дію Постановою Міністерства охорони здоров'я України № 7 від 10.12.97.
3. ДСТУ 4049-2001 Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Вимоги безпеки.
4. ДСТУ 3186-95. Системи вентиляційні. Методи випробування повітряних фільтрів.
5. ДСТУ 3191-95. Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції. Загальні вимоги безпеки.

Поступила в редакцию 15.11.2007.

СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ ДЛЯ РЕМОНТА И СОДЕРЖАНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

В статье рассмотрены основные этапы ремонта мостовых сооружений и оборудование необходимое для этих работ.

В статті розглянуто основні етапи ремонту мостових споруд та обладнання необхідне для цих робіт.

The basic stages of bridge structure repairing and equipment necessary for the given works have been considered in this article.

Мосты на автомобильных дорогах являются сложными инженерными сооружениями, строительство которых требует значительных финансовых ресурсов. Дальнейшее их содержание требует постоянного осмотра и проведение своевременных ремонтных работ с использованием специального оборудования и средств механизации [1].

Эксплуатацию мостов в соответствии с действующими техническими правилами [2] и инструкцией [3] можно разделить на несколько этапов: осмотр сооружений, обследование и испытание, ремонт и реконструкция. Каждый из этих этапов требует использования вспомогательного оборудования и средств механизации. Самым сложным и ресурсоемким является этап ремонта или реконструкции моста.

Снижение затрат на ремонт элементов моста возможно за счет своевременного обнаружения дефектов и небольших разрушений с последующим проведением ремонтных работ. Большинство организаций, занимающихся содержанием мостов, не могут провести достаточно полный осмотр сооружения в связи с отсутствием стационарных осмотровых приспособлений на сооружениях и слабой обеспеченностью специальным оборудованием.

Применение мобильных осмотровых площадок на базе автомобилей или прицепов (рис. 1) позволит решить эту проблему.

При своевременном осмотре сооружений возможно обнаружение дефектов и небольших повреждений на начальной стадии их возникновения (разрушение защитного слоя бетона, мелкие трещины и т. д.) и выполнение ремонта элементов моста непосредственно с осмотровых приспособлений.

В настоящее время значительная часть мостовых сооружений, в связи с отсутствием систематического содержания, а также постоянно увеличивающейся интенсивности подвижных

нагрузок на сооружения, требует неотложного ремонта.

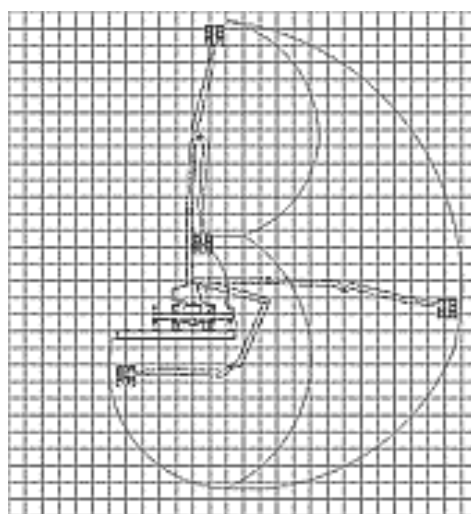


Рис. 1. Подъемник ПСС-141.18/9-7,5.

Ремонт мостового сооружения можно разделить на три части: ремонт покрытия, гидроизоляции и плиты проезжей части; ремонт элементов пролетного строения; ремонт опорных частей, опор и фундаментов.

Приведем перечень некоторых средств механизации для выполнения выше названных ремонтных работ.

Ремонт асфальтобетонных покрытий мостов производят с использованием оборудования полностью аналогичного для ремонта покрытий автомобильных дорог. При этом желательно применять современные типы асфальтобетонных покрытий (ЩМА или асфальтополимербетоны). Для частичной или полной замены покрытия необходимо использование различных фрез. Укладка асфальтобетонной смеси выполняется асфальтоукладчиками с последующим уплотнением катки различных габаритов.

В случае повреждения гидроизоляции необходимо произвести незамедлительно ее ремонт

для предотвращения фильтрации воды через бетон пролетного строения, приводящей к коррозии бетона и арматуры. Сложность ремонта гидроизоляции заключается в необходимости снятия покрытия с применением фрез. Основным оборудованием для укладки рулонных гидроизоляционных материалов являются горелки и валики для прикатки. При больших площадях устройства гидроизоляции используют специальные укладчики.

Для ремонта элементов ограждений в виде металлических перил необходимо использование газовых или электрических сварочных аппаратов, а также различного окрасочного оборудования. Перед окраской металлические поверхности необходимо очистить от продуктов коррозии с помощью химической обработки или с применением гидродинамических машин.

Объем ремонтных работ элементов пролетного строения зависит от величины разрушений. Чаще всего работы направлены на очистку арматуры от продуктов коррозии и восстановление защитного слоя бетона.

Для ремонта элементов пролетного строения необходимо использовать различные виды подмостей или лесов. Площадь этого оборудования зависит от объема ремонтных работ и геометрических размеров сооружения. Возможно опирание подмостей на поверхность земли или подвешивание путем закрепления на пролетном строении. Использование первого варианта возможно при незначительной высоте сооружения и при частичном или полном перекрытии движения под мостовым сооружением. Второй вариант размещения подмостей применим при большой высоте мостового сооружения или сложностей связанных с наличием водоема или реки под пролетным строением.

Удаление поврежденного слоя бетона пролетного строения выполняют с применением различных механизмов (легких отбойных молотков или перфораторов, пескоструйного или гидродинамического оборудования). При использовании отбойных молотков или перфораторов необходимо избегать повреждения стальной арматуры и особую осторожность проявлять при работе с предварительно-напряженными элементами. Применение высокопроизводительной пескоструйной и гидродинамической очистки возможно при больших площадях поврежденных участков бетона. Аппараты гидродинамической очистки (рис. 2) при определенном давлении потока воды позволяют снять поврежденный бетон, а также удалить продукты коррозии с оголенных участков арматуры.



Рис. 2. Аппарат гидродинамической очистки бетона Woma Ecomaster 250M-MK3

При ремонте элементов пролетного строения иногда возникает необходимость добавления или частичной замены арматуры, подвергшейся коррозионному разрушению. Доставка готовых арматурных изделий осуществляется с заводов железобетонных конструкций или изготавливаются на месте. Для чего необходимо иметь оборудование для порезки и изгибания арматуры (рис. 3).



Рис. 3. Ручной резчик арматуры Bendof DC-20MX

Дальнейшие работы с арматурой связаны с ее установкой. Это действие, возможно, выполнить двумя способами: сварка и вязка. Для сварки применяют в основном электрические сварочные аппараты. Вязка арматуры возможна вручную или при помощи специальных ручных инструментов (рис. 4).



Рис. 4. Пистолет для вязки арматуры MAX RB650 A

После очистки или замены арматуры восстанавливают защитный слой бетона. Возможно, использование торкрет установки для нане-

сения бетонной смеси путем набрызга или бетонирования с использованием опалубки. Торкретирование позволяет не использовать достаточно дорогостоящих опалубок и является довольно известным методом, но для его использования необходимы специальные установки, выпускаемые зарубежными и отечественными производителями (рис. 5). Высокопроизводительная технология нанесения бетонной смеси торкрет установками целесообразна при восстановлении защитного слоя на больших по площади поверхностях.



Рис. 5. Торкрет установка АС-1 фирмы Альпсервис

Опалубочные системы производятся большим количеством иностранных и отечественных компаний. Использование опалубочных систем для проведения бетонных работ влечет за собой необходимость использования уплотняющего оборудования (поверхностных вибраторов или виброреек).

Для ремонта опорных частей необходимо поднимать пролетные строения с использованием специальных домкратов (рис. 6), размер которых зависит от веса пролетного строения. Ремонт опорных частей чаще всего состоит в их полной замене.



Рис. 6. Домкраты Энерпред ДС

Ремонт опор заключается в восстановлении разрушенного поверхностного слоя бетона или лечения различных видов трещин. Способ заделки трещин выбирают на основании изучения причин их образования и оценки влияния на прочность и долговечность конструкции. При

инъектировании трещин необходимо выполнять следующие операции: сверление отверстий для установки инъекционных трубок с использованием дрелей или перфораторов; очистка отверстий от пыли сжатым воздухом от компрессора; установка штуцеров; инъектирование трещин с помощью специальных установок.

Для закладки анкеров необходимо бурение в бетоне отверстий различного диаметра для чего можно применять бурильные установки (керноотборники рис. 7)



Рис. 7. Керноотборник Cedima H-201 ECO

Для качественного и высокопроизводительного выполнения ремонтных работ необходимо применение современных технологий, требующих использования специального оборудования и средств механизации.

Материальная база большинства организаций занимающихся содержанием, ремонтом и реконструкцией мостовых сооружений на данный момент требует обновления и модернизации.

Авторами был проведен мониторинг рынка Украины и составлен перечень конструкций и механизмов зарубежного и отечественного производства для ремонта и содержания мостовых сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби. Обстеження і випробування. – К.: Держбуд, 2002. – 24 с.
2. П.Г.1-218-113-97. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України. – К.: Укравтодор, 1997. – 183 с.
3. ІН В.3.2-218-03449261.036-96 Інструкція по організації догляду за штучними спорудами. УДВТП «Укрдортехнологія». – К., 1996. – 90 с.

Поступила в редакцию 24.11.2007.

А. Н. ПШИНЬКО, А. В. КРАСНЮК (ДИИТ),
Л. С. САВИН (ПГАСА), В. В. ПАЛИЙ (Укрзализныця)

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С БЕТОНОМ

В статье приведен анализ факторов влияющих на прочность сцепления полимерных композиций с бетоном. Описан механизм сцепления полимерных композиций с бетоном и степень влияния на сцепление различных факторов.

В статті наведено аналіз факторів, що впливають на міцність при зчепленні полімерних композицій з бетоном. Описано механізм зчеплення полімерних композицій з бетоном та ступінь впливу на зчеплення різних факторів.

In article is brought analysis factor influencing upon toughness of the traction polymeric composition with concrete. The Described mechanism of the traction polymeric composition with concrete and level on traction different factor.

При определении технологии защиты конструкций сооружений от агрессивных воздействий окружающей среды важное значение имеет обеспечение высокой степени адгезии ремонтных растворов к бетону восстанавливаемого элемента. При этом требования, предъявляемые к полимерным адгезивам, зависят от ряда факторов, к которым относятся прочность и конструктивные особенности сооружения, тип конструкции, схема приложения нагрузок, характер и вид повреждений, условия дальнейшей эксплуатации сооружения.

Полимерные материалы, применяемые для восстановления несущей способности конструкций сооружений специального назначения, выбираются таким образом, чтобы они обладали следующими свойствами: высокой степенью адгезии к бетону сооружения, достаточной когезионной прочностью, способностью воспринимать и гасить возникающие в процессе эксплуатации напряжения, сохранять совместимость с омоноличиваемым материалом при изменении параметров окружающей среды в течение проектного периода эксплуатации сооружения, а также технологичностью применения. К дополнительным требованиям к полимерным адгезивам относятся нейтральность к склеиваемым материалам, что выражается в исключении возможности развития коррозионных процессов, достаточная стойкость к действию агрессивных сред, универсальность отверждения (в широком температурном диапазоне без дополнительного давления), близкие значения деформативных характеристик с бетоном сооружения, а также способность к релаксации возникающих напряжений [1, 2].

Эксплуатационные характеристики гетерогенных систем, какими являются омоноличенные полимерными адгезивами бетонные и железобетонные сооружения, определяются как свойствами и природой соединяемых материалов – субстрата и адгезива, так и комплексом явлений, определяющих процесс склеивания. Основу склеивания составляет адгезия, поэтому для направленного управления эксплуатационными параметрами полимерных композиций необходимо обеспечить контроль над явлениями, происходящими при формировании адгезионных связей между бетоном элемента сооружения и полимерным адгезивом.

Проведенным анализом литературных данных установлено, что, несмотря на значительные успехи, достигнутые в области исследования адгезионных взаимодействий, до настоящего времени не создана единая теория склеивания материалов [3].

Одна из первых теорий – механическая – объясняет процесс склеивания прониканием клея в поры склеиваемых поверхностей. При этом считается, что прочность адгезии зависит от площади поверхности и формы пор. Эти факторы играют существенную роль при соединении пористых материалов. Но эта теория не объясняет процесс склеивания гладких непористых поверхностей. В случае если поверхность гладкая и непористая, прочность склеивания определяется специфическим сродством склеивающей пленки и материала и прочностью пленки на разрыв после отвердевания. В общем случае на прочность склеивания оказывают влияние оба фактора: специфическое сродство склеивающей пленки и материала и

проникание клея в поры [3, 4].

В последующем высказывалось мнение о том, что в ряде случаев между клеем и склеиваемыми поверхностями происходят химические реакции, поэтому склеивающее действие изучалось как с точки зрения самого клея, так и склеиваемых материалов. Кроме того, большое значение придавалось поверхностным явлениям. Предполагалось, что на взаимодействие между клеем и поверхностью можно оказывать влияние с помощью адсорбционных слоев ориентированных молекул, названных «молекулярным припоем» [4, 5]. При этом значительное место отводится смачиваемости, причем отмечается, что склеивать могут только те клеи, которые смачивают соединяемые поверхности; смачивание увеличивается при введении в состав клеевого соединения поверхностно-активных добавок, которые будут адсорбироваться на границе раздела адгезив-субстрат [6].

Широким признанием пользуется адсорбционная теория (теория межмолекулярных сил), объясняющая адгезию и когезию главным образом взаимодействием сил Ван-дер-Ваальса между молекулами твердых тел и рассматривающая адгезию как поверхностный процесс [7]. Согласно этой теории, высокая адгезия возможна в тех случаях, когда обе поверхности материалов либо полярны, либо неполярны и адгезия затруднена, когда одна поверхность полярна, а другая неполярна. Основным фактором, определяющим склеивание, является химический характер склеиваемых поверхностей. Образование прочного клеевого шва объясняется как результат действия специфических молекулярных сил физико-химического характера.

Согласно диффузионной теории, предложенной С. С. Воюцким [8], адгезия обеспечивается образованием цепочечной связи между клеем и склеиваемым веществом. Основные положения этой теории связаны со строением полимеров и наличием в их составе полярных групп.

Б. В. Дерягин и Н. А. Кротова разработали электрическую теорию адгезии на основании представлений о двойном электрическом слое, возникающем у поверхности раздела пленки и основания в момент пленкообразования [9]. Причиной адгезии считается наличие сил электрического происхождения, действующих между молекулами, атомами, ионами. При этом основная роль отводится химической природе вещества. Следует отметить, что эта теория не находится в большом противоречии с адсорб-

ционной теорией адгезии.

Однако ни одна из существующих теорий – механическая, адсорбционная, молекулярная, химическая, диффузионная – не могут в полной мере объяснить многообразие и специфичность явлений, развивающихся на различных стадиях склеивания. Затрудняет создание единой теории адгезии также тот факт, что основное внимание исследователей переносится на анализ роли отдельных явлений, обуславливающих закономерности процесса склеивания, в частности, определяется влияние реологических свойств полимеров, состояния поверхности субстрата, межфазных взаимодействий на качество адгезионной связи. Как следствие, специфика соответствующих процессов требует акцентирования на определенных явлениях в рамках концепции или теории. В то же время, каждая из существующих теорий адгезионного взаимодействия, раскрывая лишь один из аспектов сложного явления склеивания, позволяет определить пути направленного регулирования адгезионных свойств полимерных материалов, что может быть использовано при разработке и оптимизации рецептур инъекционных полимерных растворов с заданными свойствами.

С учетом того, что цементный камень бетона сооружений содержит в составе SiO_2 , с которым структурно связаны гидроксильные группы, полимерные растворы должны содержать компоненты, обладающие дифильными свойствами, что обеспечит повышение избирательной смачиваемости и обменной адсорбции. Увеличение молекулярного контакта может быть достигнуто при нанесении адгезива в растворе, а также при повышении температуры при склеивании. Для улучшения адгезионных свойств и повышения релаксационной способности полимерных композиций в их состав эффективно введение модификаторов структуры, в частности, синтетических каучуков. Эти добавки оказывают легирующее действие, находясь в составе композиции в виде гетерофазных включений. На прочность адгезионных связей оказывают влияние строение и масса молекул полимеров, причем отсутствие разветвлений в цепи молекул повышает прочность сцепления.

Технологические факторы также оказывают существенное влияние на адгезионные и когезионные свойства инъекционных полимерных композиций. К ним относятся состояние поверхности субстрата, толщина полимерного слоя, температура и влажность окружающей среды, т. е. те факторы, которые могут регулироваться в зависимости от условий применения

полимерного материала. Основные требования к полимерным инъекционным композициям состоят в определении пределов допустимой вариации численных значений их основных структурных параметров: прочности при сжатии, растяжении и изгибе, модуля упругости, коэффициента линейного расширения, а также адгезионной прочности к бетону. В общем случае установление таких пределов производится путем вынесения компромиссного решения, при котором показатели деформативных свойств полимерных композиций должны быть близки к аналогичным показателям бетона ремонтируемого сооружения. При этом адгезионная прочность материала должна быть максимально высокой, не ниже прочности при растяжении бетона, а показатели долговечности должны быть не ниже показателей для бетона сооружения. Исходя из этого, можно определить требования к основным конструкционным параметрам полимерной композиции, что позволит в свою очередь их оптимизировать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухарева Л. А. Высокомолекулярные соединения / Л. А. Сухарева, В. А. Воронцов, П. И. Зубов. – М.: Химия, 1986. – 356 с.
2. Соломатов В. И. Полимерцементные бетоны и пластбетоны. – М.: Стройиздат, 1988. – 346 с.
3. Хувинк Р. Химия и технология полимеров / Р. Хувинк, А. Ставерман. – М.-Л.: Химия, 1986. – 632 с.
4. Патуроев В. В. Руководство по методам испытания полимербетона на химическую стойкость / В. В. Патуроев, Н. А. Мощанский. – М.: НИИЖБ, 1982. – 34 с.
5. Воюцкий С. С. Аутогезия и адгезия высокополимеров. – М.: Стройиздат, 1986. – 244 с.
6. Черкинский Ю. С. Полимерцементный бетон. – М.: Госстройиздат, 1960. – 432 с.
7. Соломатов В. И. Защита бетонных поверхностей полимерными покрытиями // Строительные материалы. – 1982. - № 7. – С. 13-15.
8. Борисов Б. И. О количественной оценке защитного действия полимеров от различных агрессивных жидкостей // Пластические массы. – 1985. - № 4. – С. 50-52.
9. Микульский В. Г. Сцепление и склеивание бетона в сооружениях / В. Г. Микульский, Л. А. Игонин. – М.: Стройиздат, 1965. – 128 с.

Поступила в редакцию 08.12.2007.

Ю. Л. САВИН, А. П. ПРИХОДЬКО, Л. С. САВИН (ПГАСА)
Н. Н. СКРИПЧЕНКО (ДРИГУ НАГУ)

АСПЕКТЫ УСТОЙЧИВОГО ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

В статье описаны основные аспекты устойчивого эколого-экономического развития региона. Приведены основные экологические проблемы, причины их возникновения. Изложены возможные пути решения существующих экологических проблем региона.

У статті описані основні аспекти стійкого еколого-економічного розвитку регіону. Приведені основні екологічні проблеми та причини їх виникнення. Викладені можливі шляхи рішення існуючих екологічних проблем регіону.

Main aspects firm ecological-economic development of the region is described in article. Brought main ecological problems, reasons of their origin. Stated possible ways of the decision existing ecological problems of the region.

Выбор в пользу устойчивого эколого-экономического развития в сознании интеллектуально-развитых людей уже созревает [1-4]. По нашему мнению [8-10], это путь и совершенствование человека, его гуманизация, расширение возможностей в развитии культуры, решении социальных проблем, уважении прав человека, демократических свобод и общечеловеческих ценностей. Поэтому развитие эколого-экономических отношений в регионе должно быть иным: все взаимосвязи должны осуществляться во имя человека и биосферы как среды обитания. Отсюда вытекает взгляд на регион как на цельный живой организм, где все гармонично дополняет друг друга, где человеку жить и работать комфортно не только в материальном, но и морально-нравственном отношении. Этот путь обеспечивает развитие технологического-экономических взаимодействий на длительную во времени перспективу. Если идти по-другому, то это означает, что двигаться можно эволюционно медленно в никуда, к полной деградации. В связи с этим возникает проблемный вопрос. Какова задача работающего и проживающего на данной территории человека? Мы отвечаем: задача интеллектуально развитого человека состоит в обеспечении условий подлинной коэволюции человека и природы, т. е. включение жизнедеятельности человека в стабильные биогеохимические циклы биосферы. Для этого нужно жить с учетом возможностей использования возобновляемых источников сырья, энергии, биомассы и др. Таким образом, по нашему мнению, устойчивое эколого-экономическое развитие региона состоит в вышеизложенном и многом другом.

Современные научные подходы к окружающей среде.

Что мы видим в данный момент времени, всматриваясь в окружающий нас мир? Развитие экологически кризисной ситуации, которая может перерасти в катастрофу [5-7]. При этом, анализируя прошлое, отметим, что сначала человек создал орудие охоты – лук и стрелы. В итоге, после тысячелетий охотничества, были уничтожены мамонты. Далее человек стал заниматься земледелием и скотоводством. Это впоследствии привело к резкому изменению микроклимата, составу флоры, фауны, грунтов, уменьшению биоресурсов. Отсюда вытекает несколько региональная, но глобальная проблема: чтобы жить в нашем ойкосе, мы обязаны выработать стратегию эколого-экономического развития. Мы обеспокоены современной ситуацией и активно ищем выход из нее: изучаются в регионах [7-10] причины, особенности негативных факторов, моделируются сценарии разнообразных антропогенных и природных процессов и явлений, прогнозируется обстановка и разрабатываются рекомендации относительно устойчивого развития человека (общества) и в целом биосферы; заключаются межнациональные, межрегиональные и международные (например, киотские) соглашения по охране окружающей среды, уменьшению выбросов «парниковых» газов.

До наступления глобальной экологической катастрофы, уже сегодня остро о себе дают знать демографический и промышленно-энергетический факторы. Посудите, порасуждайте сами: численность населения Земли такова, что если их расселить равномерно по поверхности планеты, то расстояние между ними составит 280...310 м. Далее, ежеминутно население планеты увеличивается на 150...170 чел. Это означает, что еженедельно, к существующему насе-

лению прибавляется 1,5...1,7 млн человек (гг. Днепропетровск, Новомосковск, Днепродзержинск, Павлоград совместно взятые).

Промышленно-энергетический фактор обуславливает активное загрязнение биосферы, что приводит к выпадению «кислотных» дождей, образованию микро и макроозоновых «дыр», появлению и расширению болезней, употреблению экологически некачественной пищи и т. д. Сейчас энергетические объекты, промышленность и транспорт потребляют столько кислорода, что его было бы достаточно для дыхания более 40 млрд человек.

Ресурсопотребление и образование техногенных отходов. Мировая добывающая промышленность сегодня извлекает в 2,5...3,5 раза больше полезных ископаемых, чем 25 лет тому назад. При этом человечество «производит» отходов в 1800...2050 раз больше, по сравнению с отходами, образующимися за счет естественных процессов в биосфере. Промышленные предприятия, тепловые агрегаты и установки, транспорт ежегодно сжигают более 5 млрд нефти, угля, триллион м³ газа. Ежегодно мировая промышленность «дает» природе до 2000 млн.т твердых отходов, из них более 300 млн т – потенциально опасные. Одновременно наблюдается уменьшение биоразнообразия и растут площади пустынь, свалок мусора, полигоны техногенных отходов.

Немаловажным фактором, отрицательно влияющим на экологическую обстановку в регионах, является урбанизация, то есть ускоренный рост городов, где увеличивается число жителей, проживающих в них. Следствием урбанизации является дискомфорт здоровья, шум, стрессы, рождаются неполноценные дети, сокращается продолжительность жизни, т. е. налицо вырождение населения целых регионов. Установлено, что негативное влияние комплекса техногенных факторов, наблюдаемого в городах [5], способствует увеличению смертности в 1,4...1,8 раза. Кроме того, падает коэффициент интеллектуальности человека. Одновременно, мы замечаем гибель водных экосистем (предприятия химической промышленности сбрасывают 40...45 млн т. агрессивных, реакционно-способных веществ и соединений), деградацию грунтов, уничтожение лесных массивов. В результате антропогенной деятельности ежечасно на планете до 8 га продуктивной земли становится пустыней, 2 тыс. детей умирают от голода; 50...60 человек погибают от отравления химическими веществами; 1 тыс. чел. умирает от отравления водой, 2 тыс. т кислотных дождей выпадает в Северном полушарии и др.

Анализируя и детализируя приведенные и неприведенные данные и факты об экологиче-

ских катастрофах, невольно приходим к таким выводам: необходимо разумное сожительство, существование биосферы и техносферы (антропосферы), общечеловеческий подход для решения приземленных энергетических и эколого-экономических проблем. Необходимо самоограничение, вытекающее из экологических законов, постулатов и правил, оптимизация при потреблении всех ресурсов на основе разработки и внедрения ресурсосберегающих и малоотходных технологий. Сохранение и приумножение биоразнообразия, тотальная всеобщая экологизация жизни человека и человечества в целом, переход от экологоопасных к экологически-чистой продукции, является велением времени.

Таким образом, научный термин «устойчивое развитие» закономерно перерастает в приложении к задачам регионов, к психологически устойчивому развитию, то есть эколого-технологическо-экономически сбалансированному развитию. Это развитие позволяет сохранить ресурсовоспроизводящие функции ландшафтов на данной территории и обеспечивает длительное, коэволюционно согласованное с природой развитие человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Одум Ю. Экология: В 2 т. - М., 1986.
2. Петров К. М. Общая экология: Взаимодействие общества и природы - 2-е изд. - СПб., 1998.
3. Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы, гипотезы). - М., 1994.
4. Риклефс Р. Основы общей экологии. - М., 1979.
5. Экология города / Под ред. Ф. В. Стольберга. - К., 2000.
6. Моисеев Н. Н. Судьба цивилизации: - М., 1998.
7. Кораблева А. И. Введение в экологическую экспертизу / А. И. Кораблева, Л. Г. Чесанов, Л. С. Савин. - Д.: Полиграфист, 2000.
8. Большаков В. И. Элементы синергетики в бетонотехнике / В. И. Большаков, Ю. Л. Заец, Л. С. Савин, Ю. Л. Савин // Строительство: Сб. науч. тр. ДИИТа. - Вып. 6. - Д., 1999. - С. 12-18.
9. Савин Л. С. Использование достижений теоретического и прикладного материаловедения при подготовке экологов / Л. С. Савин, Е. А. Тимошенко, А. П. Приходько, Ю. Л. Савин / Вісник ПДАБА - Д.: ПДАБА, 2002.
10. Савин Л. С. Эколого-экономическое развитие и сохранение природной среды / Л. С. Савин, Е. А. Тимошенко, А. П. Приходько, Ю. Л. Савин, С. В. Василенко // Вісник ПДАБА, 2002, № 12. - С. 41-45.

Поступила в редколлегию 18.09.2007.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЁТНЫХ СТРОЕНИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

У роботі запропоновані значення коефіцієнтів системності для розрахунку балкових прогонових будов мостів установлення впливу системності на надійність конструкцій і відображення цього впливу в рекомендаціях до розрахунку прогонових будов як систем.

В работе предложены значения коэффициентов системности для расчета балочных пролетных строений мостов, установление влияния системности на надежность конструкций и отражение этого влияния в рекомендациях к расчету пролетных строений как систем.

The basic criteria of an estimation of reliability and durability of ferro-concrete road bridges are generalized. Recommendations for increase of reliability and durability of ferro-concrete road bridges are offered.

Теория надежности и долговечности железобетонных автодорожных мостов позволяет решать задачи определения надежности и остаточного ресурса пролетных строений в процессе эксплуатации.

Большой вклад в развитие теории надежности и долговечности строительных конструкций внесли учёные: Ржаницын А. Н., Иосилевский Л. И., Лантух-Лященко А. И.

Основные положения концепции надежности железобетонных мостов изложены в работах Болотина В. В., Иосилевского Л. И., Пирадова К. А. [1-3]. Как известно надежность является комплексным свойством, которое включает безотказность, долговечность и ремонтпригодность. Показатель надежности – количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность конструкции. К таким свойствам относятся показатели прочности при различных видах разрушения, устойчивости, прогибов, углов поворота, амплитуд колебаний, образование и раскрытие трещин в железобетоне, степень коррозии арматуры.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение срока эксплуатации.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания.

Однако теория надежности и долговечности строительных конструкций сложна в практической реализации и поэтому ещё многие годы будет предметом научных исследований и поисков.

Целью настоящей работы является установление влияния системности на надежность про-

лётных строений мостов и отражение этого влияния в рекомендациях к расчету пролётных строений как систем.

В работе предложены значения коэффициентов системности для расчета балочных пролётных строений железобетонных мостов, а также величины коэффициентов условий работы для проектирования равнонадежных сооружений.

Новизна работы состоит в предлагаемой модификации вероятностной оценки надежности железобетонных балочных пролётных строений автодорожных мостов.

Практическая значимость работы состоит в том, что доказана необходимость учета фактора системности в расчетах пролётных строений мостов, а также созданы предпосылки для проектирования балочных пролётных строений мостов с заданным уровнем надежности.

Реализация результатов работы начата на Днепропетровском заводе мостовых железобетонных конструкций, где внедрена методика оценки однородности и качества бетона балок автодорожных пролётных строений.

Методы оценки надежности делятся на две группы: одни используют аппарат теории случайных величин, другие – теорию случайных процессов.

Метод теории случайных процессов позволяет более полно описать поведение пролётных строений во времени и оценить их безопасность. Однако, вычисления довольно громоздкие, имеется много численных ограничений в практических приложениях.

Метод теории случайных величин отличается простотой, достаточной точностью и широко разработан для стержневых систем.

Под характеристическими значениями случайных величин, ощутимо реализуемых, понимаются значения, которые определяются в доверительных границах 5...95%.

В оценках прочности и выносливости материалов конструкции пользуются кривой снизу – отсекающей 5 % статистических данных, в оценках нагрузок и воздействий – кривой сверху – 95 % статистических данных.

Для расчета отдельных сечений с заданным уровнем надежности можно использовать зависимость для коэффициента надежности по ответственности.

$$\gamma_n = \frac{\gamma \sqrt{\gamma_Q + \xi^2 \gamma_R} - \gamma_R \nu_R \xi - \gamma_Q \nu_Q}{1 + \gamma_Q \nu_Q};$$

$$\xi = \frac{1 + \gamma \sqrt{\nu_R^2 + \nu_Q^2 - (\gamma \nu_R \cdot \nu_Q)^2}}{1 - (\gamma \nu_R)^2};$$

$$\gamma = \Phi^{-1}(H);$$

$$\Phi(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\xi}} \int_{-\infty}^{\gamma} \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2}\right) d\gamma,$$

где γ_n – коэффициент надежности по ответственности;

γ – коэффициент безопасности, определяющий заданный уровень надежности;

γ_R – коэффициент безопасности по прочности;

γ_Q – коэффициент безопасности по нагрузженности;

ξ – запас прочности для требуемого уровня надежности;

ν_R – коэффициент вариации прочности;

ν_Q – коэффициент вариации нагруженности;

H – безотказность;

$\Phi(\gamma)$ – интеграл Гаусса;

Φ^{-1} – преобразование, обратное интегралу Гаусса.

Коэффициент безопасности определяет заданный уровень надежности, значение коэффициента безопасности находится в интервале 1,27...4,0. В строительстве и эксплуатации сооружений нельзя допускать даже малой вероятности (более 0,001) достижения внезапных отказов с мгновенной реализацией предельного состояния несущей способности. Такой результат достигается назначением при проектирова-

нии коэффициентов безопасности.

При высоких значениях коэффициентов безопасности $\gamma > 3$ прямые вероятностные оценки отказов теряют практический смысл вследствие заданной точности вероятностных оценок на «хвостах» статистических распределений. Следует поощрять строителей улучшать качество изготавливаемого железобетона.

Характеристическое значение прочности (т.е. прочности с 95 % обеспеченностью) можно корректировать в зависимости от достигнутого на заводе коэффициента вариации v .

$$B = \bar{R}_0(1 - 1,64v),$$

где $v = \bar{R}_0 / \bar{R}_b$ – коэффициент вариации;

\bar{R}_0 – среднеквадратичное отклонение (стандарт. распределение);

\bar{R}_b – средняя величина прочности бетона (марка бетона).

Безотказность можно определить по формуле

$$H_s = 1 - V_s = \prod_{i=1}^n (1 - V_i),$$

где V_s – вероятность отказа балки, V_i – вероятность отказа сегмента.

Количественная оценка уровня надежности дается с использованием понятия «степени безопасности», которая выражается коэффициентом безопасности, т. е. количеством стандартных отклонений, откладываемых в большую (для нагрузок и воздействий) или меньшую (для прочности) сторону от математического ожидания силовых или прочностных параметров.

Задачи теории надежности в строительстве:

1. Распространение выводов теории надежности на малосерийные и уникальные сооружения (например, мосты).

2. Установление нормативных (оптимальных) значений надежности.

3. Связь теории надежности с действующими детерминированными нормами проектирования строительных конструкций массового изготовления.

Анализ материалов обследования автодорожных пролетных строений, выполненных ОНИЛ искусственных сооружений за последние 10 лет показывает, что значительная часть мостовых конструкций имеет дефекты, которые отражаются на снижении долговечности. Дефекты в обследованных железобетонных пролетных строениях связаны с низким качеством

материалов, изготовления и эксплуатации. Это, прежде всего, дефекты балок железобетонных автодорожных пролетных строений (трещины, сколы защитного слоя, коррозия рабочей арматуры), дефекты элементов комплекса проезжей части (разрушение деформационных швов, нарушение гидроизоляции, дефекты ограждающих устройств), дефекты конусов и регулиционных сооружений (размывы конусов, подмывы опор).

Относительная дефектность бетона составляет – 28,5 %, арматуры – 19,8 %, трещиноватость – 8,13 %. Основным видом дефектности железобетонных пролетных строений является малая толщина защитного слоя.

Для обеспечения долговечности конструкций следует, прежде всего, повысить уровень их эксплуатационного содержания. Первостепенное значение имеет освоение современных технологий по выполнению бетонных ремонтных работ, внедрение новых технологий по усилению железобетонных пролетных строений и опор на основе композиционных материалов, разработка новых проектных решений по обеспечению надежной водонепроницаемости проезжей части и сохранению деформационных швов, работы по исследованию фактической долговечности элементов мостового полотна как по физическому износу так и по моральному старению.

Практическая реализация данной методики довольно сложна и требует дальнейших научных подходов в определении равной надежности всех элементов моста в зависимости от сроков физического и морального их износа с целью обеспечения максимальной экономичности мостовых конструкций.

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. - К.: Державна служба автомобільних доріг України, 2002. 74 с.
5. Лантух-Ляшенко А. І. Оцінка технічного стану транспортних споруд, що знаходяться в експлуатації. // Вісник Транспортної Академії України, № 3. – К., 1999. - С.59-63.

Поступила в редакцию 11.11.2007.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЁТНЫЙ МЕТОД «УСЛОВНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ» И ЕГО ТОЧНОСТЬ

Дана оцінка точності експериментально-розрахунковому методу визначення коефіцієнтів поперечної установки до нормативних рухомих автодорожніх навантажень на мости.

Дана оценка точности экспериментально-расчётного метода определения коэффициентов поперечной установки к нормативным подвижным автодорожным нагрузкам на мосты.

The accuracy estimation for new experimental method of calculation for determine transverse placing coefficients for normative road loads on the bridges was made.

Наиболее полно основные положения и методика определения грузоподъёмности железобетонных балочных пролётных строений автодорожных мостов изложена в ведомственных нормах ВСН 32-78 [1]. В них предусмотрено проведение целого комплекса работ по обследованию и натурным испытаниям пролётных строений, фактическую грузоподъёмность которых надлежит выяснить. Причём, различают два вида испытаний: первый – с целью назначения расчётной схемы работы пролётного строения под временными нагрузками и построения натуральных поперечных линий влияния коэффициентов распределения (КПР) усилий между его несущими элементами (балками, плитами); второй (при необходимости) – контрольные испытания нагрузкой, эквивалентной по воздействию установленной грузоподъёмности. В нормах оговорены так же случаи, когда грузоподъёмность пролётных строений допускается определять чисто расчётным путём без проведения натуральных испытаний. Это, бесспорно, менее трудоёмкий, однако и менее точный путь определения фактической грузоподъёмности эксплуатируемых пролётных строений. Ведь применяя, пусть даже достаточно точные пространственные (а на практике чаще приближённые) методы расчёта или матрицы КПР нагрузки на балки для различных типовых пролётных строений, содержащиеся в [1], нельзя в полной мере учесть все особенности и скрытые дефекты каждого конкретного пролётного строения, которые в меру своей значимости проявляются в натуральных линиях влияния. И всё же, большие затраты времени на проведение испытаний, дающих возможность строить полноценные натурные линии влияния, и связанные с этим организационные неудобства и потери от простоя автотранспорта или его перепробега при объезде, заставляют искать пути сокращения продолжительности испытаний.

Желание сократить продолжительность испытаний и получить при этом необходимую информацию об особенностях работы конкрет-

ного пролётного строения под нагрузкой привело к идее опытно-расчётного метода построения поперечных линий влияния КПР [2], [3]. Реализация метода позволяет минимум в 5 раз сократить число требуемых установок испытательной нагрузки на пролётном строении.

Рассуждения, положенные в основу метода, состоят в следующем. Поперечные сечения пролётных строений автодорожных мостов и путепроводов в подавляющем числе случаев (до 95 % от общей численности эксплуатируемых в настоящее время на Украине) представляют набор объединённых между собой одностипных несущих элементов, как то: тавровых, двутавровых или П-образных балок; сплошных или пустотелых блоков плит; монолитных плит с постоянной по ширине высотой плиты и её армированием. Во всех этих случаях поперечное сечение пролётного строения имеет вид некой балки с регулярно меняющимся по длине сечением. Изгибная жёсткость этой балки так же по длине регулярно меняется, а следовательно существует средняя, «размазанная» по длине величина изгибной жёсткости. Она зависит как от крутильной жёсткости основных несущих элементов пролётного строения (балок, плит), так и от состояния объединения основных несущих элементов между собой, то есть от конструкции и состояния монтажных стыков, наличия или отсутствия поперечных диафрагм, наличия верхней накладной монолитной плиты, включая слои дорожной одежды. Именно такая «условная поперечная балка» осуществляет распределение внешней нагрузки между главными балками (плитами) пролётного строения, которые в свою очередь могут рассматриваться как упругие опоры, на которых покоится эта «условная поперечная балка», или же как сплошное упругое основание. (Последнее оказалось более удобным и универсальным для последующих вычислений и построений.) Таким образом, сами главные балки

выполняют роль некоего упругого основания с пока ещё неизвестным коэффициентом упругости k , нагрузку на которое передаётся через условную поперечную балку, лежащую на этом основании и имеющую постоянную по длине изгибную жёсткость EI (так же пока не известную) и длину, равную ширине поперечного сечения. Измеряя прогибы по всей ширине поперечного сечения, и зная величину и положение нагрузки, вызывающей эти прогибы, не сложно определить как коэффициент упругого основания k , так и жёсткость условной поперечной балки EI . Далее, используя формулы для отыскания прогибов балки конечной длины на сплошном упругом основании, строятся линии влияния этих прогибов для мест, в которых расположены оси главных балок (плит) пролётного строения. Ординаты этих линий влияния будучи разделенными на сумму ординат под осями всех балок (плит) сечения и дают нам значения ординат искомых поперечных линий влияния коэффициентов распределения.

Построенные описанным методом линии влияния хорошо совпали с натурными, полученными при испытаниях опытного 18-метрового автодорожного пролётного строения (проект ВСК 31-87) с 14-ю П-образными предварительно напряжёнными балками в поперечном сечении.

Однако построение поперечных линий влияния не является самоцелью, а лишь необходимым звеном для определения коэффициентов поперечной установки (КПУ). Последние находятся путём загрузения линий влияния силами от колёс (колеи) автомобильной или тяжёлой одиночной нагрузки. Именно сравнивая КПУ, найденные с использованием метода «условной поперечной балки», с истинными значениями можно судить о точности и области применимости предложенного метода. Возможность для такого достаточно широкого сравнения и анализа дают матрицы коэффициентов поперечного распределения, приведенные в [1] для различных длин типовых пролётных строений с бездиафрагменными и диафрагменными преднапряжёнными и неперенапряжёнными балками и плитами. Матрицы эти были получены пространственным расчётом и нет оснований сомневаться в их истинности, а раз так, то построенные по ним поперечные линии влияния можно рассматривать как натурные. Загружая эти линии мы получаем истинные значения коэффициентов поперечной установки КПУ(ист.) Одновременно из тех же матриц можно выделить форму деформированного поперечного сечения под действием единичной силы, расположенной строго по оси пролётного строения, и найти по

ней отношение k к EI .

Величина отношения k к EI собственно и определяет очертания и ординаты линий влияния, которые строятся при помощи метода «условной поперечной балки». Таким образом, мы имеем возможность по одной и той же матрице для конкретного пролётного строения получать два семейства поперечных линий влияния. Одно семейство «истинное», а второе - найденное методом «условной поперечной балки».

Теперь линии из разных семейств, и относящиеся к одной и той же главной балке (плите), легко сравнивать между собой. Так же могут подлежать сравнению и коэффициенты поперечной установки к нормативным временным подвижным нагрузкам, найденные по этим линиям и, как результат, установлены границы применимости и точность проверяемого метода.

На рис. 1...4 в качестве примера приведены поперечные линии влияния коэффициентов распределения усилий соответственно на балки Б1...Б4 (счёт балок в поперечном сечении слева направо; всего балок 7 шт.) типового предварительно напряжённого бездиафрагменного пролётного строения расчётной длиной 20,4 м, построенные методом «условной поперечной балки» и по матрице, приведенной в [1] для соответствующего пролётного строения с элементами конструкции по рис. 5.

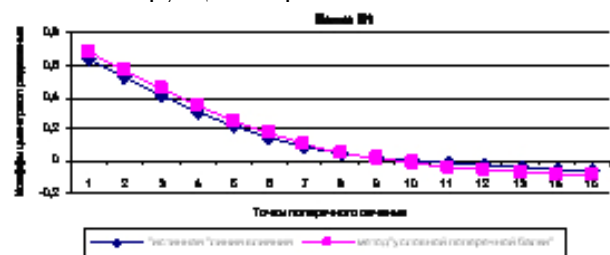


Рис. 1. Сравнение поперечной линии влияния коэффициента распределения усилия на балку Б1, построенной методом «условной поперечной балки», с «истинной»

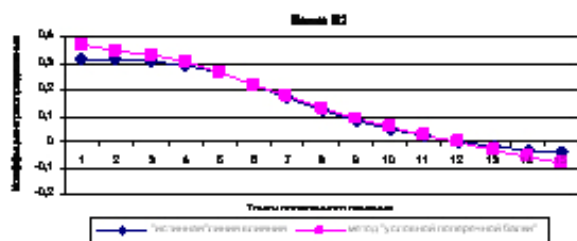


Рис. 2. Сравнение поперечной линии влияния коэффициента распределения усилия на балку Б2, построенной методом «условной поперечной балки», с «истинной»

По каждой из этих линий влияния были найдены коэффициенты поперечной установки к нормативной одиночной колёсной нагрузке НК, а так же к нормативной временной автомо-

бильной нагрузки АК. Для каждой балки в поперечном сечении выбиралось такое положение нагрузки поперёк проезжей части пролётногo строения, при котором усилия, передаваемые на балку, были бы максимальными.

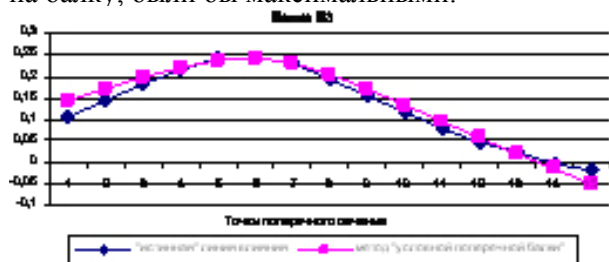


Рис. 3. Сравнение поперечной линии влияния коэффициента распределения усилия на балку Б3, построенной методом «условной поперечной балки», с «истинной»

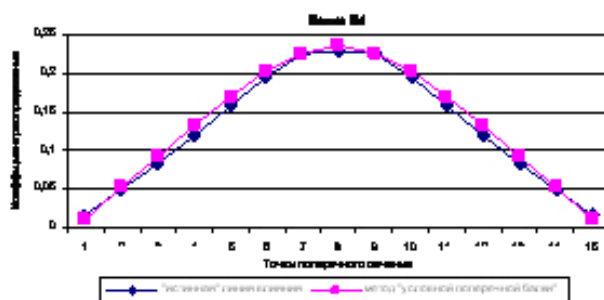


Рис. 4. Сравнение поперечной линии влияния коэффициента распределения усилия на балку Б4, построенной методом «условной поперечной балки», с «истинной»

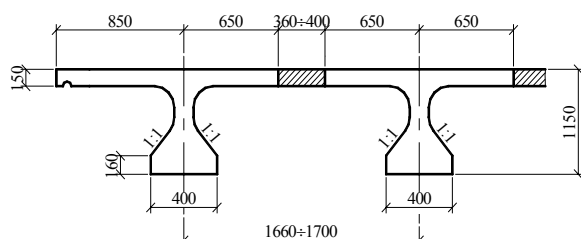


Рис. 5. Фрагмент поперечного сечения типового предварительно-напряжённого пролётногo строения без диафрагм (Союздорпроект, серия 3.503-14. Вып. 3 инв. № 710/3. 1969 г.)

Результаты определения значений КПУ к нормативным временным подвижным нагрузкам, найденным путём загрузения «истинных» поперечных линий влияния (КПУ ист.) и по линиям влияния, полученным методом «условной поперечной балки» (КПУ усл. балки), приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы, для крайней балки Б1 расхождение находится в пределах 11 %, а для остальных балок в пределах 5-6 %. Для сравнения отметим, что расчётный метод «внецентренного сжатия» в нашем случае для крайней балки Б1 даёт погрешность до 41 %, что явно не приемлемо.

Проведены сравнения КПУ, найденные с использованием метода «условной поперечной балки» с «истинными» ещё для ряда типовых

железобетонных пролётных строений различной длины и ширины. Там так же уровень расхождений близок к данным в табл. 1, что вполне приемлемо для расчётов, связанных с определением фактической грузоподъёмности эксплуатируемых железобетонных автодорожных балочных пролётных строений мостов.

Таблица 1

Сравнение результатов определения значений КПУ к нормативным временным подвижным нагрузкам, найденным путём загрузения «истинных» поперечных линий влияния и по линиям влияния, полученным методом «условной поперечной балки»

Нагрузка	К-во полос	КПУ ист.	КПУ усл. балки	Расхождение, %
Балка Б1				
НК	1	0,1908	0,2122	+11,2
АК	1	0,3647	0,3976	+9,0
АК	2	0,4611	0,5040	+9,3
АК	3	0,4539	0,4782	+5,4
Балка Б2				
НК	1	0,2190	0,2294	+4,8
АК	1	0,2898	0,3059	+5,6
АК	2	0,4523	0,4772	+5,5
АК	3	0,4861	0,5161	+6,2
Балка Б3				
НК	1	0,2188	0,2212	+1,1
АК	1	0,2321	0,2305	-0,7
АК	2	0,4127	0,4247	+2,9
АК	3	0,5444	0,5324	+5,6
Балка Б4				
НК	1	0,2264	0,2119	+2,7
АК	1	0,2205	0,2232	+1,2
АК	2	0,3889	0,4021	+3,4
АК	3	0,4951	0,5177	+4,6

Таким образом, экспериментально-расчётный метод «условной поперечной балки» жизнеспособен и может быть рекомендован к практическому применению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ВСН 32-78 Инструкция по определению грузоподъёмности железобетонных балочных пролётных строений автодорожных мостов. Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1979. – 142 с.
2. Сухоруков Б. Д. Метод построения поперечных линий влияния коэффициентов распределения усилий в пролётных строениях мостов по данным статических испытаний / Сб. научн. тр. Строительство, материаловедение, машиностроение. № 37. - Д.: ПГАСА, 2006. – С. 480-485.
3. Сухоруков Б. Д. Нахождение коэффициентов распределения усилий в пролётных строениях эксплуатируемых мостов методом «условной поперечной балки» / Сб. «Дороги і мости». Вип. 7. В 2-х т. Т. 2. – К: ДерждорНДІ, 2007. С. 228-236.

Поступила в редколлегию 10.10.2007.

НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ДВУХШАРНИРНОЙ СТАЛЕБЕТОННОЙ АРКЕ ПРИ СИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Предложено обоснование учета гибкости сталебетонных строительных элементов на примере арок постоянного поперечного сечения и численные расчеты, подтверждающие необходимость учета гибкостных характеристик при расчетах элементов малого поперечного сечения.

Запропоновано обґрунтування урахування гнучкості сталебетонних будівельних елементів на прикладі арок постійного поперечного перерізу і чисельні розрахунки, підтверджуючі необхідність урахування характеристик гнучкості при розрахунках елементів малого поперечного перерізу.

The basis of calculation of flexibility of steel-concrete building elements is offered on the example of arches of continual cross-section. The numerical calculations, confirming the necessity of calculation of flexibility characteristics while calculating elements of small cross-section.

Нередки случаи, когда возникает необходимость пересмотра состояния действующих бетонных конструкций, нагрузки на которые возросли либо изменились. При этом конструктивно сооружение нет возможности изменить изнутри и остается наращивать его снаружи. Часто с точки зрения технологии рациональнее использовать наружную стальную опалубку при бетонировании, а после этого – и как наружную арматуру. Однако измененная схема сталебетонного сооружения требует перерасчета с учетом действия такой арматуры в зоне контакта бетона и стали, что является достаточно сложным вопросом.

Для разрешения поставленного вопроса исследуем напряженно-деформированное состояние двухшарнирной сталебетонной арки, ось которой представляет собой квадратную параболу, нагруженную в замке сосредоточенной силой $P=500$ кН, стрела арки равна 3 м, расстояние между опорами – 12 м (рис. 1), поперечное сечение арки прямоугольное, 0,2 на 0,3 м (рис. 2), по низу арки пущен сплошной стальной лист, толщина листа – 2 мм, прикреплен лист к бетону с помощью стальных петлевых анкеров, расположенных с шагом 100 мм (рис. 3). Бетон используется марки В30, сталь – Ст. 3.

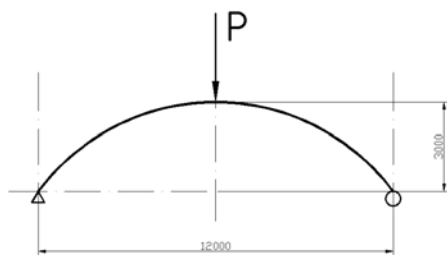


Рис. 1

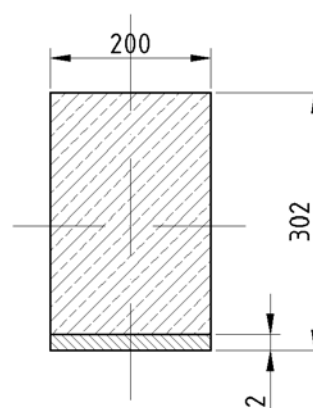


Рис. 2

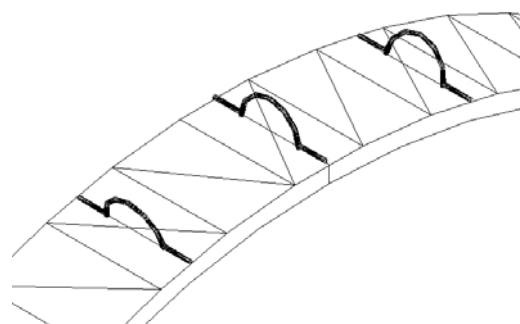


Рис. 3

Характеристики материалов:
Бетон марки В 30: $R_b = 17$ МПа
 $E = 31,5 \cdot 10^3$ МПа
 $\nu = 0,16$.

Сталь марки Ст. 3: $R_s = 160$ МПа
 $E_s = 2 \cdot 10^5$ МПа
 $\nu = 0,24$.

Определив геометрические характеристики очертания арки – ось арки описывается уравнением,

$$f = f(x) = f_0 \left(1 - \frac{4x^2}{L^2} \right). \quad (1)$$

где L – пролет арки, x – горизонтальная координата, а f_0 – стрела подъема арки, примем в качестве неизвестного усилия распор X и проведем расчет по методу сил методами численного интегрирования. Отношение f_0 к L примем равное 1/4.

В результате проведенного расчета по методу сил и после определения распора, равного $X = 0,785P$, было составлено уравнение моментов для построения эпюры изгибающих моментов в произвольных точках арки. Для выбранной арки это уравнение будет иметь вид

$$M(x) = M_q + 0,785P \cdot M_1, \quad (2)$$

где M_q – момент от нагрузки; M_1 – момент от единичного распора, равный

$$-f_0 \left(1 - \frac{4x^2}{L^2} \right);$$

$$M_1 = -f_0 \left(1 - \frac{4x^2}{L^2} \right).$$

С учетом симметричности формы арки и нагрузки были определены ординаты эпюры моментов только в правой части (рис. 4).

По построенной эпюре моментов видно (табл. 1, табл. 2), что максимальный сжимающий изгибающий момент от внешней нагрузки в арке в замке равен 322,5 кН/м, нулевой изгибающий момент в точке с координатой 1,65 м от замка арки, максимальный растягивающий момент равный 155,207 кН/м в точке с координатой 3,82 м от замка арки.

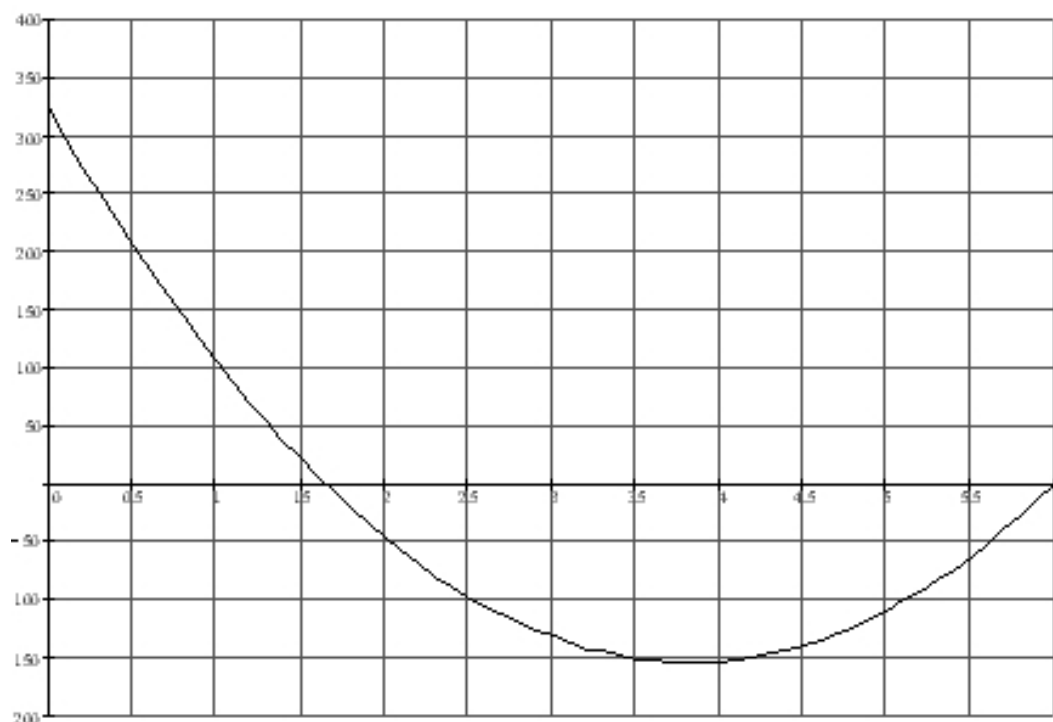


Рис. 4

Если учитывать при расчете влияние продольных сил, то коэффициенты канонического уравнения метода сил необходимо рассчитывать с учетом гибкости арки, приведенной к гибкости стержня равного по длине пролету арки и того же поперечного сечения.

По геометрическим характеристикам сечения определим $\lambda = 138,56406$ – гибкость балки такого же сечения и длины, равной пролету балки. Заново определив коэффициенты метода

сил, получим распор равный 0,78284P. При таком значении распора эпюра моментов изменится слабо – максимальный сжимающий момент станет равен 325,74 кН/м – в замке арки, максимальный растягивающий момент станет равным – 153,285 кН/м в точке с координатой 3,83 м от замка арки, а нулевой изгибающий момент находится в точке с координатой 1,6644 м от замка арки (рис. 5, табл. 3 и 4).

Табл. 1	
х	момент
0	322,500
0,5	205,677
1	105,208
1,5	21,094
2	-46,667
2,5	-98,073
3	-133,125
3,5	-151,823
4	-154,167
4,5	-140,156
5	-109,792
5,5	-63,073
6	0,000

Табл. 2	
х	момент
3,76	-155,083
3,77	-155,120
3,78	-155,150
3,79	-155,174
3,8	-155,192
3,81	-155,203
3,82	-155,207
3,83	-155,205
3,84	-155,196
3,85	-155,181
3,86	-155,159
3,87	-155,131
3,88	-155,096

Табл. 3	
х	момент
0	325,74
0,5	208,89458
1	108,35833
1,5	24,13125
2	-43,78667
2,5	-95,39542
3	-130,695
3,5	-149,6854
4	-152,3666
4,5	-138,7387
5	-108,8016
5,5	-62,55542
6	0

Табл. 4	
х	момент
3,77	-153,15889
3,78	-153,19621
3,79	-153,227
3,8	-153,25127
3,81	-153,26901
3,82	-153,28023
3,83	-153,28493
3,84	-153,2831
3,85	-153,2747
3,86	-153,2598
3,87	-153,2384
3,88	-153,2105
3,88	-155,096

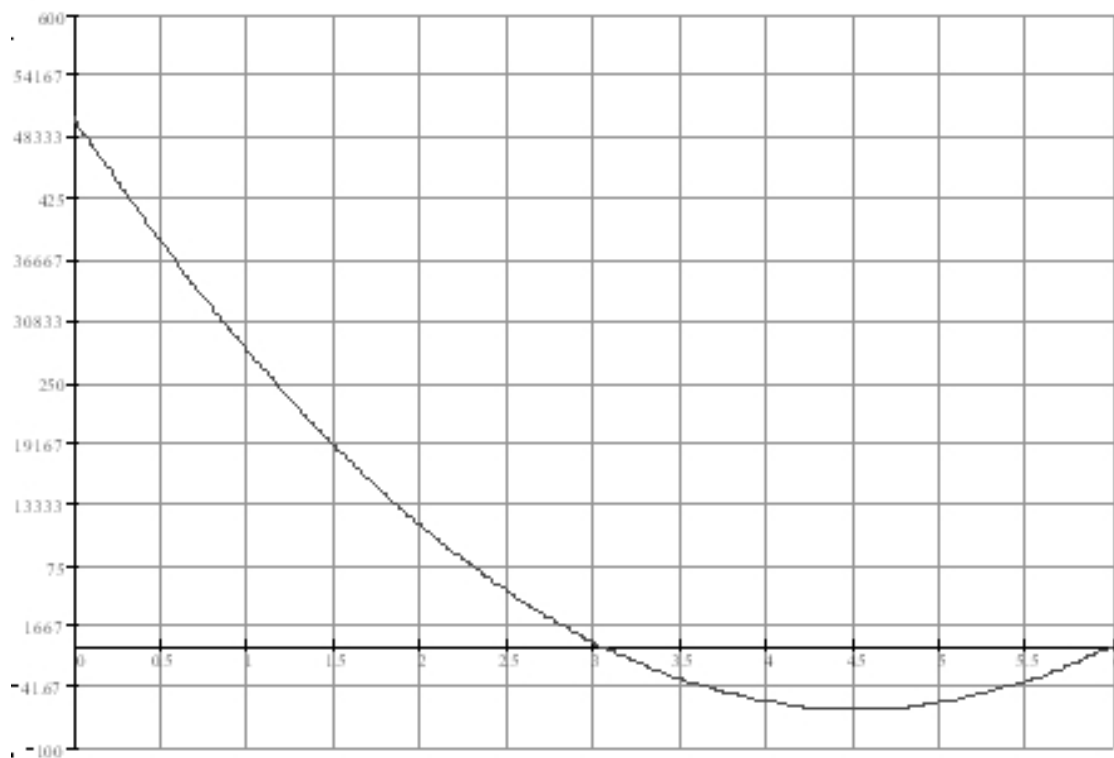


Рис. 5

Как видно из результатов расчетов, при учете гибкости арочной системы приобретает значение учет продольных сил, действующих в системе. При этом, принимая во внимание, что на сжатие работает в основном бетонный слой, а на растяжение – практически только стальной лист, следует отметить, что увеличение сжимающего расчетного момента слабо скажется на усилиях в бетоне, а уменьшение растягивающих моментов уменьшает нагрузку на стальной лист.

Выводы

При расчетах арочных сооружений на прочность методом сил или методом перемещений следует учитывать действие продольных сил от внешней нагрузки при построении эпюр изгибающих моментов, а также для определения опасных сечений с максимальными растягивающими и сжимающими моментами, хоть их влияние и слабо изменяет эти величины.

Поступила в редакцию 25.11.2007.

ВПЛИВ ДИСПЕРСНОСТІ СТРУКТУРНИХ СКЛАДОВИХ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ НА ОПІР РУЙНУВАННЮ

Розглянута залежність коефіцієнта інтенсивності напружень, міцності при втомі і ударної в'язкості від розміру зерна аустеніту, розміру феритного проміжка перліту вуглецевої сталі.

Рассмотрена зависимость коэффициента интенсивности напряжений, усталостной прочности и ударной вязкости от размера зерна аустенита, размера ферритного промежутка перлита углеродистой стали.

The observed questions of estimate stress intensity coefficient, strength of fatigue and toughness behavior is considered to be result of a directional variation in the grain size of austenite and size of ferrite pearlite in carbon steel.

Незалежно від морфології структурних складових вуглецевої сталі, підвищення їх дисперсності супроводжується збільшенням міцностних властивостей і, як наслідок цього, підвищується опір метала процесам руйнування. Враховуючи, що міцності властивості сталі від розміру основного структурного елемента підпорядковуються залежності типу Холла-Петча, можна вважати, що це обумовлено визначеним співвідношенням між параметрами указанного рівняння, які в свою чергу зв'язані з характером структурних змін в металі під час навантаження. Підтверджують це експериментальні дані [1, 2], з яких витікає, що σ_i та K_y (постійні

рівняння Холла-Петча: $\sigma = \sigma_i + K_y \cdot d^{-\frac{1}{2}} \left(\lambda^{-\frac{1}{2}} \right)$, де d , λ – розмір зерна фериту, або відстань між карбідними частками) зв'язані не тільки з умовами зародження та розповсюдження пластичної деформації, умовами навантаження, а й з попередніми структурними перетвореннями, наприклад, при поліморфних перетвореннях сталі

Метою роботи є аналіз опору процесу руйнування вуглецевої сталі в залежності від структурних параметрів та умов навантаження.

Матеріалом для досліджень була сталь з кількістю вуглецю 0,55 та 0,65 %. Дисперсність структурних складових досягали за рахунок використання різноманітних термічних та термомеханічних обробок. Властивості визначали при статичних, циклічних та динамічних випробуваннях. Розмір структурних складових визначали використовуючи методики кількісної металогрії [3].

Аналіз відомих експериментальних даних [4-6] свідчить, що межа міцності при втомі (σ_{-1}) зі збільшенням розміру зерна аустеніту

(d_A) знижується. Найбільш частіше наведена залежність виконується для низьковуглецевих сталей, коли структурно вільний ферит утворює безперервну область та його об'ємна частка значно перебільшує перлітні колонії. Це обумовлює спадкоємний вплив аустенітної структури на утворення феритної складової.

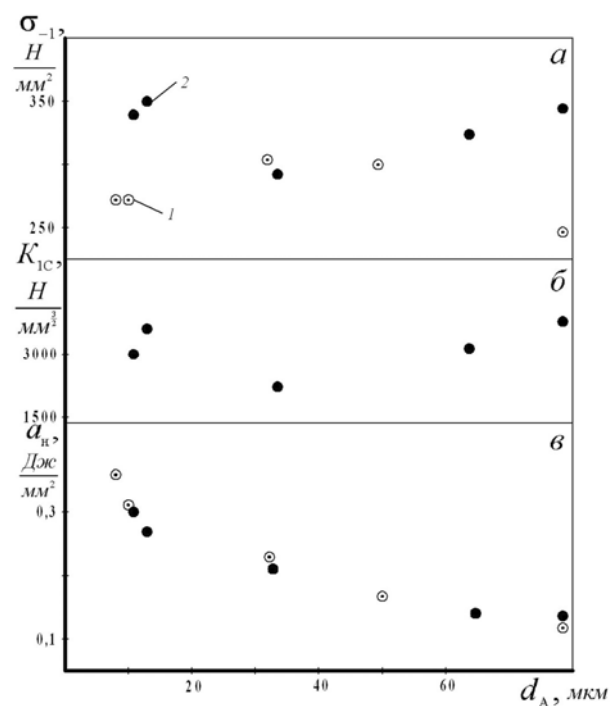


Рис. 1. Залежність σ_{-1} (а), коефіцієнта інтенсивності напружень при руйнуванні метала (б) та ударної в'язкості руйнування (в) від d_A вуглецевих сталей з вмістом вуглецю (1 – 0,55; 2 – 0,65 %)

Однак, наведений вплив аустеніту починає перевертатись зі збільшенням об'ємної частки перлітної складової, або у випадках коли зростає роль процесів структурних перетво-

рень, які мають місце в сталі, наприклад при збільшенні швидкості охолодження. В цьому випадку вплив аустенітної фази на величину σ_{-1} повинен знижуватись. Дійсно, для досліджуваних сталей з 0,55 та 0,65 % С будова залежності межі міцності при втомі від d_A показала практично повну відсутність зв'язку між наведеними характеристиками (рис. 1). Подібний результат отримано для коефіцієнта інтенсивності напружень при руйнуванні сталі (K_{1C}). Обумовлено це декількома факторами, основні з яких – порушення безперервності структурно вільного фериту та, при використанні примусового охолодження, подрібнюваностю перліту, які додатково вуалюють вплив аустенітної структури. З іншого боку, за рахунок того, що в аустеніті обов'язково є градієнт концентрації по перетину зерна, як вуглецю так і легуючих елементів, який неодмінно проявляється при збільшенні швидкості навантаження при випробуваннях, або при зниженні температури, нема нічого незвичайного що ударна в'язкість (a_n) ілюструє достатньо однозначну залежність від d_A (рис. 1).

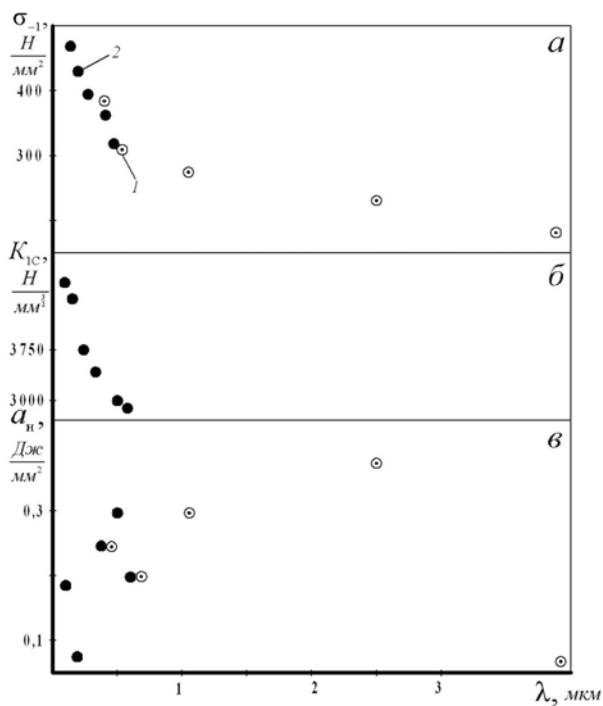


Рис. 2. Залежність σ_{-1} (а), K_{1C} (б) та a_n (в) від λ для вуглецевих сталей з вмістом вуглецю (1 – 0,55; 2 – 0,65 %)

На підставі отриманих результатів можна вважати, що характеристики металу, які визначені при різних умовах навантаження (статичні та динамічні) повинні показувати різний харак-

тер залежності від одних і тих структурних параметрів металу.

Враховуючи, що в середньо- та високовуглецевих сталях основним структурним елементом є міжкарбідна відстань в перлітній колонії, можна очікувати існування залежності вивчаємих характеристик від λ . Будова залежності σ_{-1} , K_{1C} , та a_n від λ , показала існування достатньо однозначного зв'язку для σ_{-1} , так K_{1C} , в той час як для a_n коефіцієнт кореляції має значно низькі значення (рис. 2).

Сумісний аналіз характеру залежності σ_{-1} і K_{1C} від структурних параметрів указує на можливість існування зв'язку між ними. Дійсно, після парного нанесення значень σ_{-1} проти K_{1C} для однакових структурних параметрів, можна говорити, що існує прямопропорційний зв'язок з достатньо високим значенням коефіцієнта кореляції (рис. 3).

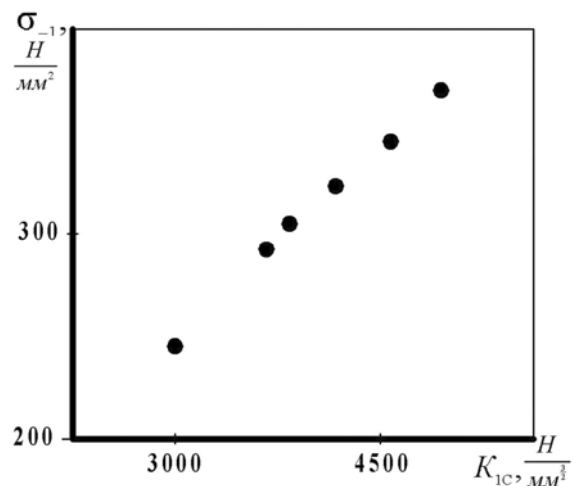


Рис. 3. Взаємозв'язок σ_{-1} та K_{1C} для сталі з 0,65 % С

На підставі аналізу залежності σ_{-1} та K_{1C} від λ можна вважати, що наведені характеристики зв'язані з процесами зародження та розповсюдження тріщини при відносно низьких швидкостях деформування. Більше цього, як показано в [2, 7] диспергування перлітної колонії високовуглецевої сталі супроводжується не тільки зростанням міцностних властивостей але і спроможністю металу до пластичної деформації. Обумовлено це існуванням залежності параметрів деформаційного зміцнення від дисперсності перліту. Враховуючи, що параметри деформаційного зміцнення ілюструють темп накопичення дефектів кристалічної будови при поодиномому збільшенні ступеня пластичної деформації, прискорення релаксаційних проце-

сів в дрібнодисперсному перліті є пояснення за рахунок яких чинників досягається підвищення пластичності металу та збільшення σ_{-1} та K_{IC} .

В протилежність σ_{-1} і K_{IC} залежність a_n достатньо добре описується від d_A . Обумовлено це, як показано раніш, збільшенням впливу концентраційної неоднорідності аустеніту при умовах підвищення швидкості навантаження металу при випробуваннях (при визначенні a_n швидкість навантаження приблизно в 10^2 більше ніж при визначенні σ_{-1} та K_{IC}).

На підставі аналізу отриманих експериментальних даних, результатів інших робіт [2, 4-7], можна вважати, що використовуючи тільки один або два параметри неможливо наблизитись до реальних умов експлуатації виробів. З урахуванням підвищення вимог щодо умов експлуатації машин та агрегатів стає в край необхідним розробити комплексний показник, який дозволить одночасно урахувати вплив структурного стану металу, умов навантаження на характеристики надійності готових виробів.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бабич В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
2. Вакуленко И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании. – Д.: Gaudeamus, 2003, – 94 с.
3. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургиздат, 1958. – 446 с.
4. Терентьев В. Ф. Влияние размера зерна на сопротивление усталости металов. / В. Ф. Терентьев, В. Г. Пойда // В кн.: Усталость и вязкость разрушения металов. – М.: Наука, 1974. с. 109-141.
5. Иванова В. С. Современные представления о природе усталостного разрушения и новые направления исследований. В кн.: Усталость металлов и сплавов. – М.: Наука, 1971. С. 3-14.
6. Трошенко В. Г. Усталость и неупругость металлов. – К.: Наук. думка, 1971. – 267 с.
7. Пирогов В. А. Влияние структурных параметров на деформируемость углеродистых сталей / В. А. Пирогов, В. П. Фетисов, И. А. Вакуленко. Сталь, 1986, № 10. С.73-76.

Надійшла до редакції 14.01.2008.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ВИНИКНЕННЯ СМУГ ДЕФОРМАЦІЇ ВІД СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ ПІСЛЯ ВІДПАЛУ

Розглянуті межа плинності, напруження мікротечії та деформація Чернова–Людєрса для низьковуглецевої сталі. Показано, що характер зміни деформації Чернова–Людєрса зв'язаний з розміром зерна фериту та формуванням дислокаційної чарункової структури.

Рассмотрены предел текучести, напряжения микротечения и деформация Чернова–Людєрса для низкоуглеродистой стали. Показано характер изменения деформации Чернова–Людєрса связан с размером зерна феррита и формированием дислокационной ячеистой структурой.

The causes of directionality of the yield point, stress of microyielding, and Chernov–Luders deformation in low-carbon steel have been investigated. The observed of Chernov–Luders deformation behaviour is considered to be the result of a directional variation in the grain size of ferrite to cause formation dislocation cell structure.

Широке використання вуглецевих сталей в промисловості обумовлено можливістю змінювання великої кількості властивостей в значному інтервалі значень. При пластичному формотворенні, особливо на початкових етапах, характер поведінки сталі в значній мірі обумовлено її структурним станом. В першу чергу це відноситься до типу текучості при розповсюдженні пластичної деформації в області межі плинності. В порівнянні з двома типами текучості: коли спостерігаємо існування ділянки переривчастої текучості з високою неоднорідністю деформації і без площадки текучості, є велика кількість металів коли за характером поведінки в рівній мірі їх можна віднести до наведених крайніх випадків [1]. Враховуючи, що ресурс використання виробів, особливо при імпульсних та циклічних навантаженнях, в значній мірі обумовлено процесами зародження та розповсюдження перших актів пластичної деформації, стає необхідним визначити яким чином та за рахунок чого можна впливати на характер текучості металу.

Мета дослідження – це визначення характеристик, які дають змогу впливати на протікання процесу переривчастої текучості.

Матеріал для досліджень – низьковуглецева сталь типу 08 кп. Розмір зерна фериту визначали використовуючи методики кількісної металграфії [2]. Різний розмір зерна фериту досягали використовуючи термічні та термомеханічні обробки. Механічні властивості та характер текучості досліджували аналізуючи криву розтягнення, при швидкості деформації 10^{-3} с^{-1} .

При подрібнюванні зерна фериту низьковуглецевої сталі межа плинності (σ_T) та напруження необерненого переміщення дислокацій (σ_0) зростають, а характер їх залежності від розміру зерна (d) описується співвідношенням типу Холла–Петча [1, 3].

На підставі аналізу істинної кривої розтягнення (рис. 1), можна вважати, що збільшення щільності дислокацій при пластичній деформації приведе неодмінно до підвищення рівня діючих напружень.

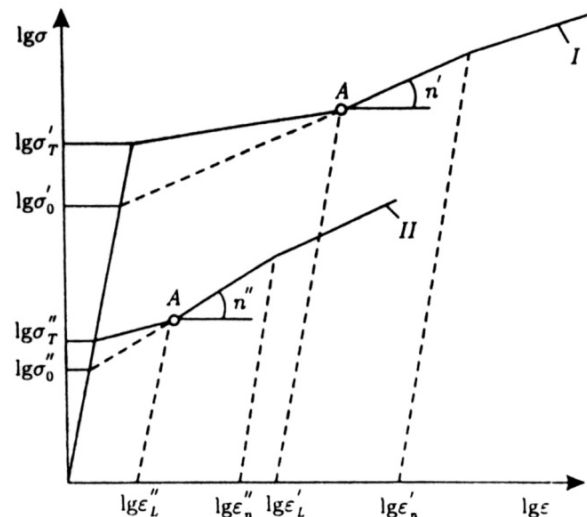


Рис. 1. Схематичне зображення істинних кривих розтягнення в залежності від розміру зерен фериту, крива I відповідає d_1 за умови $d_2 > d_1$

Крім цього, трудомісткість перетину дислокаціями феритних границь теж зростає, що зв'язано зі збільшенням блокуючої спроможності

сті границь при скопиченні дислокацій поблизу них [1]. Враховуючи, що критичний розмір зародка смуги деформації складає приблизно 2...4 діаметри зерна [3], можна вважати, що приріст дислокацій буде обмежений наведеним об'ємом метала. Таким чином, збільшення опору границь зерен розповсюдженню дислокацій, при формуванні зародка смуги деформації, зв'язані з накопиченням дислокацій, а темп їх зростання обумовлений величиною d .

При збільшенні d , початковим етапом пластичної деформації відповідають зниженні значення σ_0 , а пластична деформація розповсюджується при низькій щільності рухомих дислокацій (ρ_m). На підставі порівняльного аналізу (рис. 1) можна спостерігати, що при одиночному змінюванні d швидкість зміни $\sigma_T \left(\frac{\delta \sigma_T}{\delta d} \right)$ перебільшує аналогічну характеристику для σ_0 . Таким чином можна вважати, що чим більший розмір зерна фериту тим менша деформація Людерса (ε_L), та тим при більш низьких значеннях ρ_m і високих параметрах деформаційного зміцнення (n) почнеться процес деформаційного зміцнення [3]. Враховуючи, що високим значенням n відповідає зростаючий приріст щільності дислокацій, виникає ситуація що при зростанні d різко зростає ймовірність розпаду рівномірного розподілу дислокацій на періодичні структури, на подоби чарунковим [4]. Підтверджують цей факт данні табл. 1, які показують що збільшення d супроводжується неодмінним зниженням ε_L та деформації виникнення чарункової дислокаційної структури (ε_n).

Таблиця 1

Залежність ε_L та ε_n від розміру зерна фериту

Параметр	d , мкм					
	9,5	11	16	28	34	115
ε_L	0,06	0,055	0,05	0,0258	0,02	0,001
ε_n	0,12	0,1	0,09	0,06	0,045	0,02

При чому швидкість ε_n від d значно перебільшує аналогічну характеристику для ε_L . Бувало залежностей ε_L , $\varepsilon_n = f \left(d^{-\frac{1}{2}} \right)$ та подальша

їх екстраполяція до перетину з віссю $d^{-\frac{1}{2}}$, дає змогу знайти розмір зерна фериту, при якому досягаємо умов зникнення ділянки переривчастої текучості. Таке значення d приблизно дорівнює 500...700 мкм. Таким чином можна вважати, що при розмірах зерна фериту низьковуглецевої сталі більше 500 мкм сформувати смугу деформації, яка спроможна до росту достатньо важко.

Приведені розрахунки щодо умов зникнення ділянки переривчастої текучості кривої розтягнення [5] показали, що однією з причин є формування періодичних дислокаційних структур в фронті смуги деформації. На підставі цього відбувається руйнація визначеного градієнта щільності дислокацій в фронті зростаючої смуги, що в решті решт знешкоджує умови її подальшого формування.

На основі проведених досліджень визначено, що в низьковуглецевих сталях зі збільшенням зерна фериту відбувається зниження необхідної щільності рухомих дислокацій для формування зародка смуги деформації і, як наслідок цього, спостерігаємо зменшення деформації Людерса. Одночасно з цим відбувається зниження значення деформації, при якій формується дислокаційна чарункова структура. Після досягнення розміром зерна значень декількох сотень мкм, виникають умови розпаду спеціального розташування дислокацій, на періодичну структуру та зникнення ділянки переривчастої текучості.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабич В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
2. Панченко Е. В. Лаборатория металлографии / Е. В. Панченко, Ю. А. Скаков, Б. И. Криммер. – М.: Металлургия, 1965. – 439 с.
3. Вакуленко И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании. – Д.: Gaudeamus, 2003. – 94 с.
4. Большаков В. И. Переориентирование структуры в углеродистых сталях / В. И. Большаков, И. А. Вакуленко. – Д.: ПГАСиА, 2005. – 99 с.
5. Вакуленко И. А. Влияние размера зерна феррита малоуглеродистой стали на процессы формирования полосы Чернова–Людерса / И. А. Вакуленко, В. Г. Раздобреев. – Доповіді НАН України, 2003, № 1. С. 72-76.

Надійшла до редакції 15.01.2008.

И. А. ВАКУЛЕНКО, Н. А. ГРИЩЕНКО (ДИИТ), О. Н. ПЕРКОВ (ИЧМ НАНУ)

О ПРИЧИНАХ ЗАРОЖДЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН НА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ БАНДАЖЕЙ

Виникнення крихкого руйнування залізничного бандажа обумовлено формуванням високих локальних напружень від неоднорідної пружньо-пластичної деформації при циклічній зміні температур.

Возникновение хрупкого разрушения в железнодорожном бандаже обусловлено формированием высоких локальных напряжений от неоднородной упруго-пластической деформации при циклическом изменении температуры.

Cleavage crack formation is a process nucleation caused by the high local stress produced by inhomogeneous elastic-plastic deformation followed by cycles change of temperature in tyre.

В настоящее время неуклонный рост скоростей движения железнодорожного транспорта с одновременным повышением нагрузки на ось (колесной пары) сопровождается неизбежным ускорением процессов изменяющих внутреннее строение металла деталей подвижного состава. Анализ уровня внутренних напряжений в элементах железнодорожного колеса, преимущественный износ металла при эксплуатации указывают, что одним из наиболее нагруженных участков в колесе следует считать места перехода от поверхности катания к гребню. Обусловлено указанное положение условиями циклического температурно-силового воздействия на металл при торможении подвижно состава, когда температура разогрева может достигать в среднем 700...750 °C [1]. В этом случае градиент температур по сечению обода вместе со сложной формой изделия, особенно для области перехода от поверхности катания к гребню, способствуют росту термических трещин [2].

Целью работы явилась попытка объяснения причин вызывающих формирование термических трещин в железнодорожных колесах и бандажах.

Материалом для исследования служил разрушенный при эксплуатации локомотивный бандаж, изготовленный из стали марки 2 по ГОСТ 398. Микроструктурные исследования проводили с использованием светового микроскопа Еріquant. Структурную неоднородность металла оценивали по данным анализа макроструктуры и количественным характеристикам микроструктуры. Механические свойства определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 398.

Анализ внутреннего строения и уровень механических свойств металла бандажа после разрушения показал, что он соответствует тре-

бованиям ГОСТ 398, предъявляемым к изделиям до эксплуатации. Более того, проведенные дополнительные микроструктурные исследования металла вблизи очага зарождения усталостной трещины не выявили дефектов металлургического происхождения, которые можно классифицировать как способствующие формированию трещины (рис. 1). На основании этого, в первом приближении можно полагать, что причина вызвавшая начало развития процесса разрушения не связана с качеством металла бандажа и может быть обусловлена иными факторами.

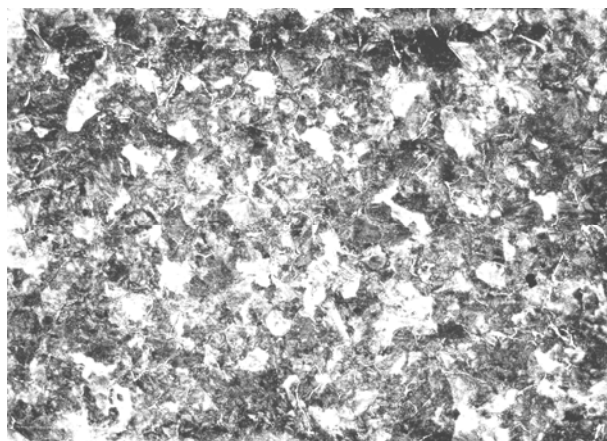


Рис. 1. Микроструктура стали в области зарождения усталостной трещины (увеличение 100)

Первый из них – это формирование термических усталостных трещин, имеющих место от циклической смены этапов торможения и растормаживания подвижного состава. Действительно, как показали исследования на поверхности катания и в местах перехода к гребню, была выявлена сетка поперечно ориентированных, относительно направления катания, трещин различной дисперсности (рис. 2).

Их ориентация относительно результирующих напряжений при эксплуатации бандажа и характерный внешний вид позволяют классифицировать как трещины термического происхождения.

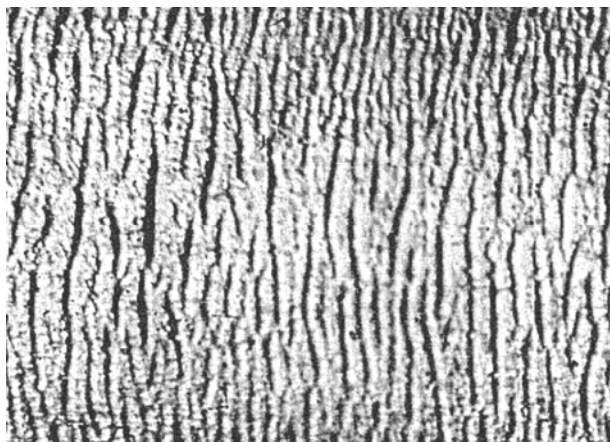


Рис. 2. Внешний вид трещин обнаруженных на поверхности катания бандажа (увеличение 12)

Подтверждают приведенное положение данные структурных исследований из которых следует, что по мере продвижения по поверхности катания от наиболее интенсивно нагруженных участков, размерный фактор трещины (ширина и глубина) растет. Обусловлено это несколькими причинами. Одна из них – при интенсивном торможении, как показано [1], температура в слое металла 1...1,5 мм от поверхности катания, может достаточно быстро достигать уровня 700...750 °С. В этом случае уровень внутренних напряжений может определяться различием коэффициентов температурного расширения цементита и феррита. На основании этого местами повышенного уровня внутренних напряжений следует считать межфазные границы, а величина концентрации напряжений должна быть связана с протяженностью указанных границ.

В месте с этим, в приповерхностном объеме металла под действием довольно высоких удельных напряжений в месте контакта бандаж-рельс, с достаточно высокой скоростью неизбежно должны развиваться процессы, изменяющие внутреннее строение металла. В этом случае одним из источников возникновения внутренних напряжений, кроме как от межфазного взаимодействия, может быть неоднородность распределения деформации как по поверхности катания, так и вглубь металла. Кроме этого, указанное влияние будет дополнительно усиливаться за счет циклической смены этапов нагрева и охлаждения, стимулируя развитие динамических полигонизации или

даже рекристаллизации. Учитывая, что с ростом степени пластической деформации, при неизменной температуре нагрева, вплоть до температуры начала рекристаллизации, процессы релаксации внутренних напряжений ускоряются и протекают в большей мере [3], можно ожидать снижения размерного фактора термических трещин. Действительно, как показали исследования, на участках поверхности катания с повышенной суммарной деформацией, наблюдается формирование термических трещин с минимальным (по сравнению с другими участками) размерным фактором.

Снижение интенсивности нагружения бандажа сопровождается неизменным понижением роли пластической деформации, стимулирующей развитие релаксационных процессов при разогреве металла на этапах торможения подвижного состава. При этом как показано в [4], перераспределение дислокаций приводит к формированию полигональных субграниц, которые тормозят протекание релаксационных процессов должно рассматриваться как свидетельство увеличения размерного фактора формируемых трещин.

Наиболее благоприятные условия, с точки зрения зарождения трещин, можно ожидать в месте перехода от поверхности катания к гребню. Обусловлено приведенное положение тем фактом, что температура и цикличность разогрева металла в указанных местах практически не отличаются от объемов на поверхности катания. При этом, в случае низких уровней действующих напряжений, когда износ гребня незначителен, трещины могут достигать существенных размеров (см. рис. 2). По мере продвижения дальше по гребню бандажа к его вершине, уменьшение объема металла и развитая поверхность способствуют снижению температур разогрева. В этом случае вероятность формирования термических трещин критического размера значительно снижается.

На основании анализа полученных результатов можно полагать, что затрудненность развития релаксационных процессов в местах перехода от гребня к поверхности катания является основной причиной формирования дефекта, который в дальнейшем инициирует процесс разрушения бандажа.

Другим фактором, который дополнительно способен инициировать развитие разрушения бандажа – это уровень остаточных растягивающих напряжений, возникающих в процессе посадки бандажа на колесный центр. При этом уровень остаточных растягивающих напряже-

ний в бандаже может изменяться в достаточно широком интервале [5], что в свою очередь определяется соотношением между диаметрами: внешнего для колесного центра и внутреннего для бандажа. При достижении относительно высоких внутренних напряжений после посадки бандажа на колесный центр, получаем дополнительный стимул, который совместно с процессами формирования термических трещин ускоряет разрушение металла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стародубов К. Ф. Влияние термической обработки на прочность железнодорожных колес. Вопросы производства цельнокатаных колес / К. Ф. Стародубов, В. Я. Савенков. – М.: Металлургия, 1969. С. 71-77.

2. Перков О. Н. Структурные изменения в металле железнодорожных колес при формировании термических трещин / О. Н. Перков, И. А. Вакуленко, Г. В. Рейдемейстр. – *Залізн. трансп. України*, 2006. № 1. С. 44-45.
3. Бабич В. К. еформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. 320 с.
4. Вакуленко И. . Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании. – Д.: Gaudeamus, 2003. – 94 с.
5. Инструкция по формированию и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. – М.: Транспорт, 1998.

Поступила в редакцию 15.01.2008.

С. В. ВАСИЛЮК (Дорожні механічні майстерні Одеської залізниці)

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ СОЦІАЛЬНОГО ПАРТНЕРСТВА В УКРАЇНІ

Робота присвячена розвитку соціального партнерства на виробничому рівні, тобто стабілізації соціально-трудових відносин на підприємстві. Акцентується увага на тому, що базою для динамічного розвитку соціального партнерства є людський капітал.

Работа посвящена развитию социального партнерства на производственном уровне, то есть стабилизации социально-трудовых отношений на предприятии. Акцентируется внимание на том, что базой для динамического развития социального партнерства является человеческий капитал.

Work is devoted to development of social partnership at production level that stabilizations socially of labour relations on the enterprise. Attention is accented on that for dynamic development of social partnership a human capital is a base.

В Україні ідеї соціального партнерства почали розвиватися із здобуттям незалежності у 1991 році, а становлення його сучасної системи бере початок із Указу Президента України «Про створення Національної ради соціального партнерства» № 151/93 від 27 квітня 1993 року.

Саме поняття «соціальне партнерство» виникло ще до ХХІІ-ХХІІІ ст., коли у працях провідних вчених того часу починають з'являтися ідеї миру у суспільстві: Ж. Ж. Руссо «лише суспільний договір може принести людям всебічний лад», І. Кант «людські відносини мають бути вигідними для усіх сторін, тому повинні будуватися на основі взаємних поступок, компромісу».

У Російській імперії, до складу якої на той час входило більшість територій сучасної України, ідеї соціального партнерства та суспільного ладу з'являються у другій половині ХІХ ст. у працях таких економістів, як В. Берві - Флеровський та Н. Бунге, які вважали, що шляхом до економічного піднесення та зниження рівня конфліктності у суспільстві є взаємні стосунки працівників і підприємців [1]. Але ж існували настільки протилежні соціальні відносини, що такі ідеї не могли знайти відгук у суспільстві, що в подальшому негативно відбилося на соціально-економічному-розвитку країни.

На жаль, і зараз, в Україні немає окремого закону який би регламентував соціальне партнерство, – єдиний законопроект «Про соціальне партнерство» знаходиться на погоджувальній стадії.

Головними законодавчими актами, що регулюють соціально – трудові відносини та соціальне партнерство, є такі:

- Конституція України;
- ЗУ «Про колективні договори і угоди» (1993 р.);
- ЗУ «Про порядок вирішення колективних

трудових спорів (конфліктів)» (1998 р.);

– ЗУ «Про професійні спілки, їх права та гарантії діяльності» (1999 р.);

Розвитку соціального партнерства присвячені праці таких вчених-економістів як Осовий Г., Жуков В., Руденко Д., Семенихін В. [2]; Осійчук М. [3].

Процес розвитку демократичних соціально-трудових відносин на транспортних підприємствах – один із найважливіших аспектів як формування стабільності у житті колектива підприємства та кожного окремого їх члена, так і формування конкурентоспроможного стабільного та злагодженого діючого транспортного підприємства.

Метою статті є розгляд розвитку соціального партнерства на виробничому рівні транспортних підприємств, тобто стабілізація соціально-трудових відносин на підприємстві, яка тягне за собою забезпечення гідних умов праці та життя працівників, а також стабільність та безперервність роботи підприємства.

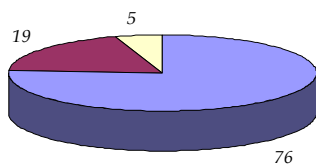
Як роботодавець, так і наймані працівники повинні усвідомлювати необхідність безумовного дотримання вимог трудового законодавства та вимагати дотримання їх прав щодо регулювання трудових взаємовідносин у повному обсязі для забезпечення нормального та безперервного функціонування транспортного підприємства, де вони працюють, зважаючи на те, що представники адміністрації підприємства і сам директор є також найманими працівниками, якщо це не приватне підприємство.

Базою для динамічного розвитку соціального партнерства є людський капітал. Багато дослідників вважають, що знання – найважливіша складова частина людського капіталу. Запас знань, якими володіє суспільство характеризує

здібності цього суспільства до зростання та розвитку. Похідною знань є технології – засіб зростання продуктивності ресурсів. Через застосування нових технологій відбувається зростання рівня життя як окремих людей так і суспільства в цілому, раціональне використання природи. Соціальне партнерство в Україні базується на рівні розвитку людського капіталу.

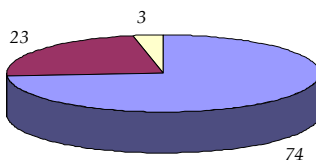
За розрахунками Всесвітнього банку, у складі національного багатства США основні виробничі фонди (будівлі і споруди, машини і устаткування) складають всього 19%, природні ресурси – 5 %, а людський капітал – 76 %. В Західній Європі відповідні показники – 23, 3, 74 % [4].

Національні багатства США



Діаграма 1

Національні багатства Західної Європи



Діаграма 2

З прикладів видно, що розвинуті країни світу приділяють особливу увагу людському капіталу. Тобто, на макрорівні (між державою та індивідуумами) також спостерігається соціальне партнерство. Отже, високі економічні показники держави залежать від рівня інтелектуального потенціалу її населення.

Система отримання освіти і кваліфікації розглядається як процес капіталовкладень з окупністю в майбутньому, тобто як інвестиції в людський капітал.

Таким чином можна зробити висновки, що соціальне партнерство формується лише у сприятливому для роботи кліматі, коли права і обов'язки соціальних партнерів чітко регламентовані та затверджені документально. В Україні відсутні дієві органи контролю та нагляду за дотриманням законодавства про працю. Для ефективної роботи необхідно прийняти Закон України «Про соціальне партнерство» з метою регламентування соціально-партнерських відносин на всіх рівнях. Паралельно слід забезпечити належне фінансування, створити систему закладів для підготовки кадрів інспекції праці та підвищення їх кваліфікації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Зарвовський В.С. Організація соціального партнерства в Україні на найнижчому (виробничому) рівні. / Економіка та держава. – К. 2007. - № 3. – С. 74 – 76.
2. Соціально-трудові відносини: питання теорії та практики в Україні. // Осовий Г., Жуков В., Руденко Д., Семенихін В. – К., «Курс», - 2005 – 432 с.
3. Державний контроль за трудовими відносинами:: соціально-економічні наслідки в контексті реформування середнього класу суспільства / Вісник Національної академії державного управління. – К. 2005. - № 3. – С. 387 -392.
4. <http://www.ukrstat.com/ua/>

Надійшла до редколегії 28.09.2007

ПРОБЛЕМИ МАРКЕТИНГОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗБУТУ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Розглядаються основні методи прогнозування збуту продукції, а саме якісні, кількісні, а також моделювання. Запропоноване системне моделювання, яке дозволить отримати показники збуту взаємно доповнюючи один одного, що забезпечить комплексне вивчення прогнозного явища і високий ступень обґрунтованості.

Рассматриваются основные методы прогнозирования продаж продукции, а именно, качественные, количественные, а также моделирование. Предложено системное моделирование, которое позволит получить показатели продаж взаимно дополняющие один другого, что даст комплексное изучение явления и высокий уровень обоснованности.

The author considers the principal methods, both qualitative and quantitative ones, as well as simulation in forecasting product sales. The author suggests a system simulation method, which will enable to obtain indexes complementing each other and will ensure all-round investigations into the phenomenon on the well-grounded basis.

Посилення конкуренції між підприємствами обумовлює необхідність аналізу еволюції ринкової ситуації. Мета – визначити, що, в який період і в якій кількості підприємство зможе продати на ринку. Такі дослідження безпосередньо пов'язані з прогнозуванням збуту(продажу). Головне в складанні прогнозу збуту – орієнтація виробництва на споживача, на аналіз цього потреб і запитів, спрямованість виробництва максимально чутливо прореагувати на будь-які зміни в складі споживачів(професіональному і т. п.), навіть в їх реакції на ті чи інші суспільні явища або політичні процеси. У зв'язку з цим дуже актуальним стає питання методологічного забезпечення прогнозування збуту на підприємствах машинобудування.

Попередні дослідження. Проблематиці застосування методів прогнозування збуту присвячені праці таких вчених, як Герасимук В. Г., Гаркавенко С. С., Голубков Є. П., Котлер Ф., Федотова Р. Д., Старостіна А. О., Кравченко В. А., Длігач А. О.

Аналіз наукових джерел дозволяє зробити висновки, що у теоретичних працях різних авторів питання прогнозування збуту розглядаються недостатньо системно, що й обумовило актуальність маркетингового дослідження.

Відомо, що в проблемі прогнозування розрізняють два аспекти: теоретико-пізнавальний, що припускає опис можливих чи бажаних перспектив, станів, рішень проблем майбутнього, і управлінський, що припускає використання інформації

про майбутнє при прийнятті рішень.

Наявність стратегічного прогнозу дозволить підприємству чітко і системно описувати стратегічні рішення з метою довгострокового розвитку та забезпечить переваги функціонування підприємства.

При прогнозуванні розвитку підприємства важливим є питання про об'єм збуту товарів на ринку.

У практиці господарювання прогнозування обсягу збуту продукції є важливою частиною внутрішнього керування. На основі прогнозу збуту повинен визначатися рівень завантаження виробничих потужностей і потреба в матеріальних ресурсах, прогнозуватися фінансові показники діяльності підприємства. Прогноз по збуту необхідний і маркетингу, щоб грамотно розробити стратегії розподілу й плани стимулювання продажів, а це у свою чергу повинне забезпечити виконання наміченого обсягу реалізації.

Складність прогнозування збуту пов'язана з тим, що шукана величина залежить від безлічі факторів: новизни продукції для ринку й підприємства, рівня цін, витрат на просування продукції, інтенсивності збуту й конкуренції, комерційного успіху продукції, переваг промислових споживачів і інших факторів. Причому частина цих факторів контролюється підприємством, а інша – ні. Серед неконтрольованих факторів найважливішими є доходи промислових споживачів, рівень інфляції, наявність на ринку товарів-замінників, ступінь ділової активності і т. д. Голо-

вна мета прогнозування – планування роботи з досягнення намічених рівнів збуту тим способом, який представляється найбільш ефективним.

Прогнозування збуту може здійснюватися безпосередньо або являти собою так званий ринковий прогноз, при якому спочатку планується обсяг майбутніх продажів на ринку, а потім розраховується розмір тої його частки, яка надійде підприємству. Відомо, що процес прогнозування складається з чотирьох ключових етапів:

- визначення задачі прогнозування;
- вибір оптимальних методик;
- оцінка й остаточний вибір методики;
- здійснення прогнозу.

В основі прогнозування збуту лежать моделі майбутнього ринку з урахуванням періоду прогнозу. Виділяють короткострокові, середньострокові і довгострокові прогнози. Як правило, короткострокові прогнози (на період до трьох місяців) необхідні для рішення тактичних завдань з урахуванням ринкових змін.

Середньостроковий прогноз (до трьох років) частіше всього складається щорічно і необхідний для складання бюджету підприємств і оцінки перспектив розвитку.

Довгостроковий прогноз (до п'яти років) використовується для розробки стратегічних планів.

У практиці прогнозування використовуються наступні підходи до розробки прогнозів:

- опитування;
- екстраполяція;
- моделювання.

Названі підходи доповнюють один одного і можуть використовуватися в сукупності, забезпечуючи комплексне вивчення прогнозованого явища чи процесу.

Сьогодні існують понад 150 різних методів і прийомів прогнозування, що відрізняються за своїм інструментарієм, сферою застосування і науковою об'єктивністю. Але на практиці використовуються як основні близько 20 [4].

Усю сукупність методів класифікують за різними ознаками: ступенем об'єктивності і ступенем аналітичності процесу, загальним принципом дії, процедурою одержання параметрів прогнозної моделі та іншими. Найбільше поширення в прогнозуванні збуту має угруповання методів за ступенем об'єктивності і ступенем аналітичності процесу, відповідно до якого розрізняють якісні і кількісні методи.

Якісні методи прогнозування інакше називають суб'єктивними, тому що вони більше спираються на індивідуальні думки, отримані в результаті опитувань, ніж на математичні розрахунки.

До них слід віднести.

Метод опитування споживачів базується на з'ясуванні думки споживачів про ринок в прогнозованний період. Такий підхід ще називають вивченням ринку. Одним з завдань є установити, яку кількість товарів підприємства має купити споживач. Дослідження ринку ведеться поетапно. Спочатку з'ясовується можливість здійснення купівлі товару і тільки після цього вивчають питання про реалізацію товарів конкретних марок. Цей метод застосовують для опитування обмеженої кількості споживачів здатних говорити про свої наміри з великим ступенем достовірності.

Метод оцінок торгового персоналу заснований на вивченні думки торгового персоналу, котрий краще, ніж хто-небудь інший, може прогнозувати обсяг продажів у регіоні, що обслуговується, на короткострокову перспективу.

Метод експертних оцінок полягає в складанні прогнозу групою експертів, що, безумовно, має перевагу перед прогнозом, складеним однією людиною. Поліпшити результати прогнозу дозволяє попереднє вивчення експертами статистичних даних обсягу продажів, а також використання поправочних коефіцієнтів стосовно їхніх оцінок у залежності від переконаності експертів у підтвердженні складених ними прогнозів.

Метод Дельфі має багато спільного з методом експертних оцінок. Склад учасників групи прогнозу формується за тими ж критеріями. Головна відмінність полягає в тому, що експерти, які беруть участь у роботі, не зустрічаються разом. Опитування експертів за допомогою анкетування проводиться в декілька турів і після ознайомлення усіх учасників експертизи з проміжними результатами дістають групову оцінку досліджуваної проблеми.

Пробний продаж являє собою продаж деякої кількості товару на визначеній території. Результати пробного продажу аналізуються і узагальнюються з метою прогнозування їх збуту в національному масштабі на стадії впровадження.

Кількісні методи прогнозування називають об'єктивними, чи математичними, тому що в їх основі лежать точний розрахунок і логічна обґрунтованість. При побудові прогнозних моделей

найчастіше використовують парний і множинний регресійний аналіз.

Парний регресійний аналіз базується на використанні рівняння прямої лінії:

$$Y = a + bx,$$

де Y – прогнозуєма залежна змінна;

a – вільний член рівняння;

x – незалежна змінна (використовується для визначення залежної змінної);

b – коефіцієнт регресії (середнє відношення відхилення результативної ознаки від її середньої величини на одну одиницю її вимірювання – варіація y , котра приходить на одиницю варіації x).

Коефіцієнти a і b розраховуються на основі спостережень величин y і x .

Множинна регресія ідентична парній регресії, за винятком того, що використовується більш ніж одна змінна, що дозволяє більш повно відбити дійсність.

Можна виділити два методи розробки прогнозу, заснованих на методах математичної статистики: екстраполяцію й моделювання. Екстраполяція полягає у сформованих у минулому і сьогоденні істичних тенденцій економічного розвитку перенесенні їх на майбутнє. У прогнозуванні екстраполяція застосовується при вивченні тимчасових рядів і являє собою перебування значень функції за межами області її визначення з використанням інформації про поведінку даної функції в деяких точках, що належать області її визначення. При формуванні прогнозів за допомогою екстраполяції робиться пропозиція, що система розвивається еволюційно в досить стабільних умовах.

Розрізняють формальну і прогнозну екстраполяцію. Формальна базується на припущенні про збереження в майбутньому минулих і дійсних тенденцій розвитку об'єкта прогнозу, при прогнозній фактичний розвиток ув'язується з гіпотезами динаміки досліджуваного процесу з урахуванням впливу різних факторів в майбутньому. Реальність такого роду прогнозів значною мірою обумовлюється вибором меж екстраполяції. Рекомендується, щоб строк прогнозу не перевищував третини тривалості вихідної тимчасової бази.

Кількісні методи прогнозування засновані на екстраполяції мають кілька різновидів: метод тимчасових рядів, метод слизької середньої, метод експонентного згладжування, модель Бокса–

Дженкінса, метод Х-П, метод подвійного згладжування Брауна.

Метод тимчасових рядів ґрунтується на сукупності послідовних вимірів показника, зроблених через інтервали часу.

Аналіз тимчасових рядів дозволяє вирішити наступні завдання:

- досліджувати структуру тимчасового ряду, що включає, як правило тренд закономірні зміни середнього рівня, а також випадкові періодичні коливання;

- досліджувати причинно-наслідкові взаємозв'язки між процесами, що проявляються у вигляді кореляційних зв'язків між тимчасовими рядами;

- побудувати математичну модель процесу, представленого тимчасовим рядом;

- прогнозувати майбутній розвиток процесу.

Тренд характеризує загальну тенденцію змін показників ряду. Під ним розуміється характеристика основної закономірності руху у часі, у деякій мірі вільної від випадкових впливів. При розробці моделей прогнозування тренд виявляється основною складовою прогнозованого тимчасового ряду, на яку вже накладаються інші складові. Результат при цьому пов'язується винятково з ходом часу. Передбачається, що через час можна виразити вплив всіх основних факторів.

Метод корисний для прогнозу збуту на відносно стабільних ринках, не підданих впливу раптових змін у попиті. Він може застосовуватися для середньострокових прогнозів збуту.

Метод слизької середньої дає можливість вирівнювати динамічний ряд шляхом його розчленування на рівні частини з обов'язковим збігом у кожній з них сум модельних і емпіричних значень. В основі лежить прийом віднімання показника першої із продаж і додавання показника останнього продажу. Такий метод називають прогнозуванням тенденції, тому що чим більше коливання даних, тим довшим є період їх усереджування.

Метод експонентного згладжування опирається на послідовність ваг (вагових коефіцієнтів), що спадають з часом за експотенційним законом. Досвід свідчить про те що показники мають тенденцію «старіння». Вплив більш пізніх спостережень на розвиток процесу в майбутньому значніший, чим минулих. Проблему «старіння» рядів вирішує, метод експонентного згладжування, в котрому пізнішим спостереженням надається бі-

льша вага, а саме, ваги значень ряду спадають у міру віддалення в минуле. Його переваги у тому, що він не вимагає великої інформаційної бази і припускає її інтенсивний аналіз з погляду інформаційної цінності різних членів тимчасової послідовності. Моделі, що описують динаміку показника, мають просте математичне формулювання, а адаптивна еволюція параметрів дозволяє відбити неоднорідність і плинність тимчасового ряду. Метод застосовується для коротко- і середньостроковому прогнозуванні. Труднощі прогнозу складаються з неможливості провістити під'єм чи спад ринку.

Метод подвійного згладжування Брауна призначений для прогнозування нестационарних рядів у випадку лінійно-адитивного тренду з використанням подвійного експоненційного зваженого середнього значення. Ряд з таким трендом має середню, яка збільшується (чи зменшується) приблизно на однакову величину в розглянуті моменти часу. При цьому дисперсія відхилень фактичних значень від тренду приблизно постійна.

Метод Х-11 полягає в розбивці тимчасового ряду на трендові цикли, сезонні цикли і на нерегулярні елементи. Використовується для середньострокового прогнозування.

Модель Бокса-Дженкінса базується на одному із варіантів експонентного згладжування. Метод призначений для обробки авторегресивних рядів без апріорних припущень щодо коефіцієнтів, які дисконтують. Виключення тренду здійснюється шляхом переходу до різниць ряду і допущення кореляційних залишків. Метод застосовується для коротко- і середньостроковому прогнозуванні.

До головних обмежень екстраполяційних методів можна віднести наступне.

Більшість прогнозних помилок пов'язані з тим, що в момент формулювання прогнозу в більш або явній формі малося на увазі, що існують тенденції збереження в майбутньому, що рідко виправдується. Екстраполяційні методи не дозволяють дійсно «передбачити» еволюцію попиту, оскільки не здатні передбачати які-небудь «повторні крапки». У найкращому разі вони здатні швидко врахувати вже минулі зміни. Тому їх називають «адаптивною прогножною моделлю». Проте для багатьох проблем керування такий «апостеріорний» прогноз виявляється корисним при умовах, що є досить часу для адапта-

ції, і фактори визначальні рівень продажів не піддані різким змінам [2, с. 208].

Розповсюдженою методикою опису тих чи інших процесів і явищ служить моделювання, яке варто розуміти як дослідження об'єктів пізнання на їхніх моделях.

Воно передбачає побудову моделі на основі попереднього вивчення об'єкта чи процесу, виділення його істотних характеристик чи ознак. Прогнозування процесів з використанням моделей включає:

- розробку моделі;
- експериментальний аналіз;
- порівняння результатів прогнозних розрахунків з фактичними даними стану процесу;
- коректировка і уточнення моделі.

Застосування математичних методів є необхідною умовою для розробки і використання методів моделювання в прогнозуванні, що забезпечує високий ступінь обґрунтованості і своєчасності прогнозів.

В прогнозуванні збуту використовуються: прогноз на основі індикаторів, імітація, моделі дифузії.

Імітація Прогнозування на основі ведучих показників дозволяє установити взаємозв'язок між яким-небудь вимірним явищем і тим, яке треба спрогнозувати. Імітація заснована на принципі повторення, що дозволяє зв'язати сьогодення і майбутнє.

Моделі дифузії. Більшість описаних вище методів залежить від подальшого успіху продажу товарів, освоєних підприємством. Дані про поточний стан справ і є основою прогнозу. Однак при впровадженні на ринок нових товарів чи товарів удосконалених моделей усі види прогнозів здійснюються на базі теорії, що називається проникненням, «дифузією» винаходів. У своїй основі теорія дифузії припускає, що новий товар має чотири особливості: новизна, достатні дані у споживача про товар, соціальна система, час. Це означає, що чим незначніше нововведення, тим менше ймовірність упровадження. Прогноз здійснюється на підставі лише незначного обсягу інформації про початковий етап впровадження товару. При цьому враховуються обставини, супутні продажу нового товару, наприклад його життєвий цикл.

Прогноз на основі індикаторів полягає в оцінці ходу розвитку процесу збуту продукції на базі одного або декількох відомих індикаторів (пока-

зників) суміжних галузей промисловості. Використання імітаційних моделей має на увазі перехід до вивчення не статичних, а динамічних властивостей досліджуваного процесу.

Зазначимо, що процес прогнозування припускає використання як однієї, так і декількох методик в залежності від потреб, можливостей і даних, що мають для прогнозу. Деякі методи ефективні для одержання прогнозів узагальнених показників, інші використовуються для прогнозування динаміки окремих елементів узагальнених показників, тому для управління збутом слід використовувати систему моделей прогнозування. Розробка системи моделей прогнозування проходить три етапи.

На першому розробляється локальна методика прогнозування (окремі моделі і підсистеми моделей).

На другому створюється система взаємодіючих моделей прогнозування на базі розробки локальних методик прогнозування.

На третьому уточнюються і розвиваються окремі локальні системи і методики прогнозування і практичного їхнього використання.

Застосування системи моделей прогнозування дозволить отримати показники збуту взаємно доповнюючи один одного, що забезпечить комплексне вивчення прогнозного явища і високий ступень обґрунтованості.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Герасимчук В. Г. Маркетинг: теорія і практика: Навч. посіб. – К.: Вища шк., 1994. – 327 с.
2. Голубков Е. П. Основы маркетинга: Учебник. – М.: Финпресс, 1999. – 656 с.
3. Гаркавенко С. С. Маркетинг: Підручник. – К.: Лібра, 2002. – 712 с.
4. Прогнозирование и долгосрочное планирование экономического развития региона / Отв. ред.: Р. Д. Федотова, А. А. Гудым. – Кишинев: Штиинца, 1986. – 247 с.
5. Старостіна А. О. Промисловий маркетинг: Теорія, світовий досвід, українська практика: Підручник / А. О. Старостіна, А. О. Длігач, В. А. Кравченко / За ред. А. О. Старостіної. – К.: Знання, 2005. – 764 с.

Надійшла до редколегії 10.11.07.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ИЗНОСА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В работе обоснована необходимость определения морального износа вагонов и локомотивов в их взаимосвязи. Выявлено, что моральный износ следует определять сопоставлением текущей стоимости денежных потоков, связанных эксплуатации объекта оценки и объекта-аналога за полный срок полезного использования. Установлены факторы, влияющие на моральный износ грузовых локомотивов, и разработана модель для его определения.

У роботі обґрунтована необхідність визначення морального зносу вагонів і локомотивів у їхньому взаємозв'язку. Виявлено, що моральний знос варто визначати зіставленням поточної вартості грошових потоків, зв'язаних з експлуатацією об'єкта оцінки й об'єкта-аналога за повний термін корисного використання. Установлено чинники, що впливають на моральний знос вантажних локомотивів, і розроблена модель для його визначення.

In the article substantiated necessity to determine functional depreciation of railroad cars in the correlation with locomotives. The functional depreciation determine comparison net present value of the cash flows from using of the appraisal object and from using the analogue object. The factors affecting to the functional depreciation is determined.

1. Введение

С развитием рыночных отношений в Украине все большую актуальность приобретают вопросы оценки имущества. Она необходима для:

- обеспечения функционирования вторичных рынков имущества;
- создания и изменения структуры хозяйственных субъектов (создание хозяйственных обществ путем взносов учредителей, образование таких обществ на основе действующих предприятий (корпоратизация) и т. п.)
- достижения достоверности бухгалтерского учета, в том числе, адекватного определения финансовых результатов;
- информационного обеспечения ценообразования;
- имущественного страхования;
- имущественного обеспечения кредита и других целей.

В настоящее время железнодорожный транспорт Украины находится в стадии структурной реформы. Концепция структурной реформы предполагает создание на базе Укрзалізнички, железных дорог и других предприятий, организаций и учреждений отрасли Государственной акционерной компании «Українські залізниці» [1]. Для создания такой компании необходима переоценка всего имущества указанных предприятий и организаций по рыночной (справедливой) стоимости. В процессе дальнейшей структурной реформы вопросы оценки имущества железнодорожного транспорта не потеряют своей актуальности.

Следует отметить, что отраженная на сегодняшний день в бухгалтерском учете стоимость необоротных активов железных дорог и других предприятий железнодорожного транспорта существенно (в несколько раз) отличается от их рыночной (справедливой) стоимости. Это снижает достоверность бухгалтерского учета, искажает величину затрат и финансовых результатов железнодорожного транспорта и отрицательно сказывается на тарифной политике. Стандарты бухгалтерского учета в такой ситуации требуют переоценки основных средств [2].

В условиях рыночной экономики субъектам хозяйственной деятельности необходимо обеспечивать соответствие учетной стоимости активов их рыночной стоимости, что достигается с помощью их периодических переоценок.

Основную часть активных производственных основных средств железнодорожного транспорта составляют парки подвижного состава. Значительная часть подвижного состава железных дорог Украины морально устарела. Например, из инвентарного парка грузовых электровазозов постоянного тока в 748 единиц (на 2006 год) 521 единицу (70 %) составляют электровазозы ВЛ8 постройки 60-х годов XX-го века. Электровазозы этой серии были сняты с производства в конце 70-х годов, обладают рядом конструктивных недостатков и существенно уступают по своим техническим характеристикам современным моделям.

Наличие в составе парка подвижного состава морально устаревших локомотивов и вагонов требует при их оценке корректного определения функционального износа по отношению

к современным подобным объектам [3]. В частности, необходимо учитывать то, что вагоны и локомотивы функционируют в едином технологическом процессе и изменение параметров локомотивов (или вагонов) может существенно повлиять на работу вагонов (или локомотивов).

II. Постановка задачи

Целью данной работы является разработка метода определения функционального износа объектов железнодорожного подвижного состава. Данная цель достигается решением следующих задач:

- анализ причин функционального обесценения железнодорожного подвижного состава;
- выявление влияния технических параметров объектов подвижного состава на их стоимость на вторичном рынке;
- построение экономико-математической модели для определения функционального износа железнодорожного подвижного состава.

III. Результаты исследования

Согласно стандарту оценки № 1 функциональный износ – это потеря стоимости имущества по сравнению со стоимостью нового подобного имущества по причине полной или частичной потери первоначальных функциональных (потребительских) характеристик объекта оценки [3].

Функциональный износ подразделяется на моральный и технологический.

Технологически износ возникает при кардинальном изменении технологического процесса, частью которого является объект оценки [4, стр. 299]. Такой износ лишает объект полезности в принципе. Его величина может определяться на основе анализа полезности объекта оценки при изменении его функционального назначения. Технологическому износу из железнодорожного подвижного состава подвержены паровозы, поскольку паровая тяга на железнодорожном транспорте не используется. Методы определения технологического износа не являются предметом данной статьи.

Известно, что по причинам возникновения моральный износ подразделяется на два рода.

Моральный износ первого рода связан с появлением более дешевых объектов по сравнению с объектом оценки, выполняющих ту же функцию. При этом может иметь место снижение стоимости новых аналогов, либо снижение связанных с ними эксплуатационных расходов. Соответственно, в этих случаях имеет место моральный износ, вы-

званный избыточными инвестиционными расходами, и моральный износ, вызванный избыточными эксплуатационными расходами.

Моральный износ второго рода возникает при появлении более производительных аналогов объекта оценки.

Моральный износ первого рода вызывается научно-техническим прогрессом в отраслях – производителях объектов, подобных оцениваемому имуществу. Снижение себестоимости производства подобного имущества и расходов на его эксплуатацию достигается за счет роста производительности труда, использования более производительных активов, применение более дешевых сырья и материалов, совершенствования технологического процесса производства и т.п.

Моральный износ второго рода вызывается действием научно-технического прогресса непосредственно на объект оценки, то есть, совершенствованием конструкции и улучшением эксплуатационных качеств объектов аналогичного назначения.

Следует отметить, что моральный износ не является абсолютной величиной. Он может быть определен для объекта оценки лишь сравнением с каким либо объектом-аналогом. При выборе различных объектов-аналогов, разной будет и величина функционального износа.

Моральный износ первого рода как самостоятельный показатель должен определяться только при оценке затратным подходом методом воссоздания с применением индексных методов для определения стоимости воссоздания [3]. Если используется метод замещения и стоимость определяется по новым современным аналогам, моральный износ первого рода учитывается автоматически. В этом случае необходимо учитывать моральный износ второго рода, связанный с большей производительностью современных аналогов, по которым определяется стоимость замещения.

При определении величины функционального износа железнодорожного подвижного состава необходимо учитывать, что вагоны и локомотивы образуют систему, элементы которой оказывают взаимное влияние. Изменение технических характеристика подвижного состава приводит к изменениям качественных показателей эксплуатационной работы. Например, повышение скоростных качеств локомотивов позволяет повысить технические и, соответственно, участковые скорости движения. Это, в свою очередь, сокращает оборот вагона. В результате, снижаются рабочие парки как локомотивов, так и вагонов. Повыше-

ние грузоподъемности вагонов позволяет не только повысить их производительность, но и увеличить весовые нормы поездов (за счет сокращения их длины и уменьшения влияния ограничения по длине приемоотправочных путей). Соответственно, увеличивается производительность локомотивов.

В дальнейшем в работе рассматриваются методы определения функционального износа грузовых локомотивов.

Основными параметрами магистральных локомотивов, влияющими на их моральный износ, являются их тяговые характеристики (сила тяги в различных режимах, расчетная скорость), которые определяют их производительность, удельные показатели энергопотребления, а также затраты, связанные с их техническим обслуживанием и ремонтом.

На наш взгляд, величина морального износа должна определяться исходя из условия равенства эффективности использования объекта оценки и объекта-аналога. Стоимость замещения оцениваемого локомотива с учетом морального износа будет равна предельной цене условно нового объекта оценки, при которой чистый дисконтированный доход от его эксплуатации в течении полного жизненного цикла окажется равным чистому дисконтированному доходу от эксплуатации такого количества подвижного состава с объектом-аналогом, которого достаточно для выполнения того же объема работ. То есть, стоимость замещения объекта оценки с учетом морального износа определяется из соотношения¹:

$$\sum_{t=1}^T \frac{ДП_t^{об}}{(1+E)^t} - 1 \cdot X - n_{и}^{об} \cdot C_{в} = \sum_{t=1}^T \frac{ДП_t^{ан}}{(1+E)^t} - M_{и}^{ан} \cdot C_{л}^{ан} - n_{и}^{ан} \cdot C_{в}, \quad (1)$$

где $ДП_t^{об}$ – брутто денежный поток, связанный с эксплуатацией объекта оценки, за соответствующий год из жизненного цикла;

T – продолжительность жизненного цикла инвестиций (срок полезного использования объекта оценки);

E – норма дисконта;

¹ Предполагается, что все инвестиции производятся в начале жизненного цикла (нулевой момент времени) – это приобретение локомотивов и вагонов. Инвестиции в собственные оборотные активы не принимаются во внимание, так как они могут быть приняты равными для оцениваемого локомотива и локомотива-аналога. Предполагается финансирование за счет собственного капитала.

1 – один локомотив – инвентарный парк локомотивов для объекта оценки;

X – стоимость замещения объекта оценки с учетом морального износа;

$n_{и}^{об}$ – инвентарный парк вагонов, необходимый для выполнения расчетного объема перевозок с оцениваемым локомотивом;

$C_{в}$ – средняя цена грузового вагона;

$ДП_t^{ан}$ – брутто денежный поток, связанный с эксплуатацией объекта-аналога;

$M_{и}^{ан}$ – инвентарный парк локомотивов-аналогов, необходимый для выполнения расчетного объема перевозок;

$C_{л}^{ан}$ – цена нового локомотива-аналога без НДС;

$n_{и}^{ан}$ – инвентарный парк вагонов, необходимый для выполнения расчетного объема перевозок с локомотивом-аналогом.

Брутто денежный поток определяется по формуле

$$ДП = (Д - Э) \cdot (1 - H_{нп}) + А \cdot H_{нп}, \quad (2)$$

где $ДП$ – брутто денежный поток;

$Д$ – доходы без косвенных налогов;

$Э$ – эксплуатационные расходы без амортизационных отчислений;

$H_{нп}$ – норма налога на прибыль;

$А$ – амортизационные отчисления в налоговом учете.

Поскольку правая и левая части уравнения (1) определяются для одного и того же объема перевозок, величины доходов для частей уравнения будут одинаковыми. После подстановки выражения (2) в уравнение (1) и соответствующих преобразований формула для определения стоимости замещения с учетом морального износа приобретает вид²:

$$X = M_{и}^{ан} \cdot C_{л}^{ан} + \sum_{t=1}^T \frac{(\mathcal{E}_t^{ан} - \mathcal{E}_t^{об}) \cdot (1 - H_{нп}) + (A_t^{об} - A_t^{ан}) \cdot H_{нп}}{(1+E)^t} + (n_{и}^{ан} - n_{и}^{об}) \cdot C_{в}. \quad (3)$$

Расчетный годовой объем перевозок, который может выполнить оцениваемый локомотив, определяется исходя из его средней (или нормативной) доли локомотивов в ремонте и расчетной производительности³:

² В формулах верхний индекс «об» означает, что показатель определяется для объекта оценки, а индекс «ан» – для объекта-аналога

³ Резерв на неравномерность перевозок во времени не принимается во внимание.

$$\sum PL_{\text{бр}} = 1 \cdot (1 - \varphi_{\text{л}}^{\text{об}}) \cdot F_{\text{л}}^{\text{об}} \cdot 365, \quad (4)$$

где $\sum PL_{\text{бр}}$ – расчетный годовой грузооборот брутто;

$\varphi_{\text{л}}^{\text{об}}$ – средний (или нормативный) процент неисправных локомотивов серии объекта оценки;

$F_{\text{л}}^{\text{об}}$ – расчетная производительность оцениваемого локомотива.

Расчетная производительность оцениваемого локомотива определяется по формуле

$$F_{\text{л}}^{\text{об}} = \frac{Q_{\text{бр}}^{\text{об}} \cdot S_{\text{л}}^{\text{об}}}{1 + \beta}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{бр}}^{\text{об}}$ – расчетная масса поезда брутто для оцениваемого локомотива;

$S_{\text{л}}^{\text{об}}$ – расчетный среднесуточный пробег оцениваемого локомотива;

β – коэффициент вспомогательного линейного пробега к пробегу во главе поезда (принимается на среднем уровне равным для объекта оценки и объекта-аналога).

Расчетная масса поезда брутто определяется с учетом величины расчетного подъема для средних условий эксплуатации локомотивов [5]. При этом величина расчетного подъема принимается равной для оцениваемого локомотива и локомотива-аналога. Таким образом, расчетная масса поездов для оцениваемого локомотива и локомотива-аналога будет изменяться в зависимости от их силы тяги в длительном режиме и расчетной скорости.

Расчетный среднесуточный пробег локомотива определяется по формуле

$$S_{\text{л}}^{\text{об}} = \frac{24 \cdot V_{\text{уч}}^{\text{об}}}{1 + \frac{t_{\text{пр}} \cdot V_{\text{уч}}^{\text{об}}}{2 \cdot L}}, \quad (6)$$

где $V_{\text{уч}}^{\text{об}}$ – расчетная участковая скорость для объекта оценки;

$t_{\text{пр}}$ – средний простой локомотивов за время оборота (в основном депо, в оборотном депо, при смене локомотивных бригад) – принимается на среднем уровне равными для объекта оценки и аналога;

L – длина участка обращения локомотива – принимается на среднем уровне равными для объекта оценки и аналога.

При оценке предполагается, что соотношение технических скоростей для объекта оценки и аналога равно соотношению их расчетных

скоростей. При этом средняя техническая скорость (определенная по статистическим данным) равна средней арифметической расчетных технических скоростей объекта оценки и объекта аналога. Тогда, техническая скорость для объекта оценки определяется по формуле

$$V_{\text{тех}}^{\text{об}} = \frac{2 \cdot V_{\text{р}}^{\text{об}}}{V_{\text{р}}^{\text{об}} + V_{\text{р}}^{\text{ан}}} \cdot V_{\text{тех}}, \quad (7)$$

где $V_{\text{тех}}^{\text{об}}$ – расчетная техническая скорость объекта оценки;

$V_{\text{р}}^{\text{об}}$ – расчетная скорость объекта оценки (тяговая характеристика);

$V_{\text{р}}^{\text{ан}}$ – расчетная скорость аналога;

$V_{\text{тех}}$ – фактическая техническая скорость (по статистическим данным).

Участковая скорость для объекта оценки определяется по формуле

$$V_{\text{уч}}^{\text{об}} = \frac{1}{\frac{1}{V_{\text{тех}}^{\text{об}}} + \frac{1}{V_{\text{уч}}} - \frac{1}{V_{\text{тех}}}}, \quad (8)$$

где $V_{\text{уч}}^{\text{об}}$ – расчетная участковая скорость для объекта оценки;

$V_{\text{уч}}$ – фактическая участковая скорость (по статистическим данным).

Производительность объекта-аналога определяется аналогично объекту оценки. Инвентарный парк объектов-аналогов определяется по формуле

$$M_{\text{и}}^{\text{ан}} = \frac{\sum PL_{\text{бр}}}{(1 - \varphi_{\text{л}}^{\text{ан}}) \cdot F_{\text{л}}^{\text{ан}} \cdot 365}, \quad (9)$$

где $\varphi_{\text{л}}^{\text{ан}}$ – средний (или нормативный) процент неисправных локомотивов серии объекта-аналога;

$F_{\text{л}}^{\text{ан}}$ – расчетная производительность локомотива-аналога.

Инвентарный парк вагонов для объекта оценки определяется по формуле

$$n_{\text{и}}^{\text{об}} = \frac{\sum PL_{\text{бр}}}{(P_{\text{дин}}^{\text{р}} + m) \cdot \frac{24 \cdot 365}{\frac{1}{V_{\text{уч}}^{\text{об}}} - \frac{1}{V_{\text{уч}}} + \frac{24}{S_{\text{в}}}} \cdot (1 - \varphi_{\text{в}})}, \quad (10)$$

где $P_{\text{дин}}^{\text{р}}$ – динамическая нагрузка вагона рабочего парка;

m – средняя масса тары вагона;

$S_{\text{в}}$ – среднесуточный пробег вагонов;

ϕ_b – процент неисправных вагонов.

Аналогично определяется инвентарный парк вагонов для объекта-аналога.

Эксплуатационные расходы для объекта оценки и объекта-аналога определяются методом расходных ставок. При этом из их состава исключаются амортизационные отчисления на вагоны и локомотивы. Расходы на техническое обслуживание и ремонты определяются прямым счетом исходя из средних фактических (или нормативных) расходов для локомотивов соответствующих серий и межремонтных сроков (пробегов). Соответствующие статьи расходов исключаются из состава расходных ста-

вок. Норма расхода электроэнергии (топлива на тягу поездов устанавливается с учетом норм расхода электроэнергии для соответствующих локомотивов.

При расчете амортизационных отчислений целесообразно принимать в качестве первоначальной стоимости для объекта-аналога его цену без косвенных налогов, а для объекта оценки – его стоимость замещения с учетом морального износа (то есть искомую величину). Амортизация в налоговом учете определяется от остаточной стоимости. Для каждого года она может рассчитываться по формуле

$$X = M_{\text{и}}^{\text{ан}} \cdot C_{\text{л}}^{\text{ан}} + \sum_{t=1}^T \frac{(\mathcal{E}_t^{\text{ан}} - \mathcal{E}_t^{\text{об}}) \cdot (1 - H_{\text{нп}})}{(1 + E)^t} + (n_{\text{и}}^{\text{ан}} - n_{\text{и}}^{\text{об}}) \cdot C_{\text{в}} + \\ + X \cdot H_{\text{нп}} \cdot a \cdot \frac{(1 + E)^T - (1 - a)^T}{(E + a) \cdot (1 + E)^T} - C_{\text{л}}^{\text{ан}} \cdot H_{\text{нп}} \cdot a \cdot \frac{(1 + E)^T - (1 - a)^T}{(E + a) \cdot (1 + E)^T}, \quad (11)$$

$$X = \frac{M_{\text{и}}^{\text{ан}} C_{\text{л}}^{\text{ан}} + \sum_{t=1}^T \frac{(\mathcal{E}_t^{\text{ан}} - \mathcal{E}_t^{\text{об}}) (1 - H_{\text{нп}})}{(1 + E)^t} + (n_{\text{и}}^{\text{ан}} - n_{\text{и}}^{\text{об}}) C_{\text{в}} - C_{\text{л}}^{\text{ан}} H_{\text{нп}} a \frac{(1 + E)^T - (1 - a)^T}{(E + a) \cdot (1 + E)^T}}{1 - H_{\text{нп}} a \frac{(1 + E)^T - (1 - a)^T}{(E + a) \cdot (1 + E)^T}} \quad (13)$$

Абсолютная величина морального износа определяется как разность между ценой объекта-аналога и стоимостью замещения с учетом морального износа. Отношение величины морального износа к цене объекта-аналога показывает коэффициент морального износа.

IV. Выводы

Выполненное исследование позволяет сделать следующие выводы:

При оценке железнодорожного подвижного состава самостоятельно определяется моральный износ второго рода. Моральный износ первого рода учитывается подбором объекта-аналога.

Моральный износ вагонов и локомотивов необходимо определять в их взаимосвязи.

Стоимость замещения с учетом морального износа определяется как предельная цена нового объекта, идентичного по своим параметрам объекту оценки, при которой чистый дисконтированный доход от его эксплуатации будет равен чистому дисконтированному доходу для объекта-аналога, парк которого достаточен для выполнения такого же объема перевозок.

Факторы, влияющие на величину морального износа, подразделяются по отношению к объекту оценки на внутренние и внешние. Для грузовых локомотивов основными внутренними факторами являются сила тяги, расчетная скорость, удельные энергетические затраты,

расходы на техническое обслуживание и ремонт, средние проценты неисправных локомотивов. Внешними факторами являются профиль пути, сложившиеся технические и участковые скорости, динамическая нагрузка вагонов рабочего парка, средняя масса тары вагонов, процент неисправных вагонов, их средняя цена, а также норма дохода на инвестиции в отрасль.

В работе разработана модель для определения величины морального износа грузовых локомотивов формула (13).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Концепція державної програми реформування залізничного транспорту України (проект), 2006 (<http://uz.gov.ua/?lng=uk>).
2. Положение (стандарт) бухгалтерского учета 7 «Основные средства», утвержденный приказом Минфина Украины от 27.04.2000г. № 92.
3. Національний стандарт № 1 «Загальні засади оцінки майна і майнових прав», затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 10.09.2003р. №1440.
4. Лебедь Н. П. Оценка имущества и имущественных прав в Украине: Монография / Н. П. Лебедь, А. Г. Мендрул, В. С. Ларцев, С. Л. Скрынько и др. – К., 2003. – 715 с.
5. Правила тяговых расчётов для поездной работы. – М., 1985. – 287 с.

Поступила в редакцию 15.11.2007.

В. О. ГОРДІЄНКО (Дніпропетровська державна фінансова академія)

ВИБІР МЕТОДУ РОЗПОДІЛУ КОЛЕКТИВНОГО ЗАРОБІТКУ МІЖ ЧЛЕНАМИ БРИГАДИ НА МЕТАЛУРГІЙНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Розроблені рекомендації щодо використання найбільш поширених методів розподілу колективного заробітку між членами виробничих бригад в умовах металургійних підприємств.

Разработаны рекомендации по использованию наиболее распространенных методов распределения коллективного заработка между членами производственных бригад в условиях металлургических предприятий.

Recommendations on the use of the most widespread methods of distributing of collective earnings between the members of production brigades in the conditions of metallurgical enterprises are developed.

Постановка проблеми. В умовах металургійних підприємств при обслуговуванні персоналом основних виробничих процесів застосовується, головним чином, колективна форма організації праці, що обумовлено технологією виробництва. Тому трудовий внесок кожного робітника є частиною результату праці бригади, оскільки кількість і якість праці робітника втілюється в кількості і якості праці бригади і визначається лише у зв'язку з функціонуванням останньої. При цьому важливо, щоб колективний заробіток розподілявся між членами бригади відповідно до індивідуального внеску кожного робітника.

В теперішній час зберігаються тенденції заохочення, в основному, по кількісних результатах праці, що зумовлює отримання однакової премії робітниками бригади, які мають однакові кваліфікаційні розряди, але працюють з різною інтенсивністю. Не виключена також можливість зниження якості продукції через відсутність індивідуальної відповідальності за результати праці. В практиці роботи металургійних підприємств, де особливостями технології виробництва обумовлена бригадна форма організації і матеріального стимулювання персоналу, а також у нормативній і спеціальній літературі представлено декілька методів розподілу колективного заробітку між членами виробничих бригад, тому виникає задача аналізу цих методів і обґрунтування для застосування в умовах металургійних підприємств найбільш адекватного.

Постановка завдання. Аналіз найбільш поширених методів розподілу колективного заробітку між членами виробничих бригад і розробка рекомендацій щодо використання цих методів в умовах металургійних підприємств.

Основний матеріал. Найчастіше розподіл колективної частини заробітку здійснюється [1, 2]:

- пропорційно відпрацьованому часу і тарифним ставкам робітників;
- по бальній оцінці діяльності;
- пропорційно коефіцієнту індивідуального внеску (або коефіцієнту трудової участі) робітника, що враховує відпрацьований час, тарифні ставки, а також інші показники його трудової активності.

Перший спосіб, який застосовується в більшості цехів металургійних підприємств протягом довгого часу, не відображає індивідуальних особливостей, досвіду роботи і трудової активності кожного члена бригади.

Другий спосіб не виключає можливості суб'єктивного віддзеркалення результатів індивідуальної праці, оскільки кількість балів визначається на підставі думки ради бригади без індивідуального урахування результатів роботи членів бригади.

Третій спосіб полягає у тому, що чинники, які впливають на величину коефіцієнта індивідуального внеску робочого, наперед визначені і фіксовані, ведеться щозмінний облік їх значень, чим досягається об'єктивність оцінки особистого внеску кожного в результати роботи бригади. Практика застосування коефіцієнта індивідуального внеску робітника показує, що цей спосіб дозволяє об'єктивно оцінювати реальний внесок кожного члена бригади в загальні кінцеві результати роботи колективу, сприяє підвищенню ефективності праці робітників. Але при цьому ефективність застосування коефіцієнтів індивідуального внеску залежить від методу розподілу загального заробітку робочих бригад за допомогою цих коефіцієнтів.

Дієвість способу розподілу заробітку бригади за допомогою коефіцієнта індивідуального внеску робочих залежить, перш за все, від частини заробітку, яка розподіляється.

При розподілі за допомогою коефіцієнта індивідуального внеску робочих всієї заробітної плати місячний заробіток робітника може бути менше оплати за тарифом, що неправомірне, оскільки в цьому випадку розмір винагороди менше відрядного заробітку (при тому ж обсязі роботи). Тому доцільно за допомогою коефіцієнта індивідуального внеску робочих розподіляти надтарифну частину заробітку, яка включає прирібок відрядника, премію і доплати, що мають колективний характер.

Інколи практикується розподіл за допомогою коефіцієнта індивідуального внеску не абсолютної величини надтарифної частини заробітку, а її відсотка від заробітку за тарифом. На думку автора, це неправильно, оскільки сума надтарифних частин заробітку всіх робочих не буде рівна величині винагороди, яка підлягає розподілу. Неправомірність такого підходу доводиться наступним чином.

Абсолютна величина надтарифної частини заробітної плати Z_H бригади визначається по формулі:

$$Z_H = f \sum_{z=1}^V Z_z, \quad (1)$$

де Z_H - надтарифна частина заробітку всієї бригади, грн;

f - частка надтарифної частини заробітку у відрядному заробітку бригади;

Z_z - відрядний заробіток z -го робочого ($z = 1, 2, \dots, V$), грн;

V - число робочих в бригаді, осіб.

При цьому абсолютна величина надтарифної частини заробітку бригади при визначенні надтарифної частини заробітку кожного робочого через частку надтарифної частини заробітку бригади складе:

$$Z_H = f \cdot V \sum_{z=1}^V \frac{U_z}{\sum_{z=1}^V U_z} Z_z, \quad (2)$$

де U_z - коефіцієнт індивідуального внеску z -го робочого.

Для спрощення уявимо, що необхідно розрахувати надтарифну частину заробітку бригади з двох робочих:

$$Z_H = f \cdot (Z_1 + Z_2), \quad (3)$$

яка визначається через частку надтарифної частини заробітку

$$Z_H = Z_{H1} + Z_{H2} = \frac{2f}{U_1 + U_2} \cdot (U_1 Z_1 + U_2 Z_2). \quad (4)$$

Отже,

$$\frac{2f}{U_1 + U_2} (U_1 Z_1 + U_2 Z_2) = f(Z_1 + Z_2). \quad (5)$$

Представимо вираз (5) у вигляді:

$$U_1(Z_1 - Z_2) + U_2(Z_1 - Z_2) = 0, \quad (6)$$

$$\text{або} \quad Z_1(U_2 - U_1) + Z_2(U_2 - U_1) = 0. \quad (7)$$

Підставимо у (6) і (7) граничні значення коефіцієнтів індивідуального внеску ($U_1 = 0$, $U_2 = 1,5$), тоді:

$$Z_H = 1,5(Z_1 + Z_2). \quad (8)$$

Співвідношення граничних значень відрядних заробітків $\frac{Z_1}{Z_2} = 1,4$, тоді:

$$Z_H = 0,6(U_2 - U_1). \quad (9)$$

Вирази (6) і (7) справедливі лише при рівності заробітків та коефіцієнтів індивідуального внеску, тому при розподілі по такому методу сума надтарифних частин всіх членів бригади не співпадатиме з реальною абсолютною величиною надтарифної частини заробітку бригади. При цьому неспівпадання тим більше, чим більше відмінності у відрядних заробітках і в діапазоні коефіцієнтів індивідуального внеску.

В літературі запропонований такий метод розподілу надтарифної частини заробітної плати

$$Z_{Hz} = \frac{Z_H Z_z U_z}{\sum_{z=1}^V Z_z U_z}, \quad (10)$$

де Z_{Hz} - надтарифна частина заробітної плати, яка підлягає виплаті z -му робітнику.

При цьому:

$$U_z = 1 + \sum_{i=1}^n a_i K_{inz} - \sum_{i=1}^n a_i K_{icz}, \quad (11)$$

Де K_{inz} , K_{icz} - підвищуючі та знижуючі U_k коефіцієнти;

a_i - вагомість i -го показника ($i = 1, 2, \dots, n$).

На деяких підприємствах розподіл надтарифної частини заробітної плати здійснюється за формулою

$$z_{nz} = \frac{z_n U_z}{\sum_{z=1}^n U_z}, \quad (12)$$

де

$$U_z = U_6 + \sum_{i=1}^n a_i K_{inz} - \sum_{i=1}^n a_i K_{icz}, \quad (13)$$

$$U_6 = \frac{z_z}{z_{\min}}, \quad (14)$$

З метою аналізу цих методів для спрощення знову уявимо, що бригада складається з двох робітників. Тоді вирази (11) і (13) приймуть вигляд:

$$z_{n1} = \frac{z_n U_1 z_1}{z_1 U_1 + z_2 U_2}, \quad (15)$$

$$z_{n1} = \frac{z_n U_1}{U_1 + U_2}, \quad (16)$$

Перетворимо вираз (15), для чого розділимо чисельник і знаменник на $z_1 U_1$:

$$z_{n1} = \frac{z_n}{\left(1 + \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{U_2}{U_1}\right)}. \quad (17)$$

У виразі (17) поставимо замість U_1 і U_2 їх значення:

$$z_{n1} = \frac{z_n}{\left(1 + \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{1 + \sigma_1}{1 + \sigma_2}\right)}, \quad (18)$$

де σ_1 і σ_2 - величини зниження або підвищення базового значення коефіцієнта індивідуального внеску, дол.од.

Перетворимо вираз (16), для чого розділимо чисельник і знаменник на U_1 :

$$z_{n1} = \frac{z_n}{1 + \frac{U_2}{U_1}}. \quad (19)$$

Підставивши у вираз (19) замість U_1 і U_2 їх значення, отримаємо:

$$z_{n1} = \frac{z_n}{\left(1 + \frac{z_1 / z_2 + \sigma_1}{1 + \sigma_2}\right)}. \quad (20)$$

На ряді металургійних підприємств фактичний діапазон зміни коефіцієнта індивідуального внеску складає не більш 0,8 (за положеннями 1...1,5), що часто приводить до недостатньої стимулюючої дії коефіцієнта індивідуального внеску на працівників.

Розширення діапазону зміни коефіцієнта індивідуального внеску в межах від 0 до 2 збільшує відмінності у заробітках робочих з 3 до 30 %, що достатнє для здійснення стимулюючої дії.

Висновки. Таким чином, відмінність між розглянутими методами розподілу надтарифної частини заробітної плати по коефіцієнту індивідуального внеску полягає у тому, що по формулі (18) величина, на яку змінюється базове значення цього коефіцієнта, коректується співвідношенням заробітної плати за тарифом. У формулі (20) співвідношення заробітків вже враховане при визначенні базового коефіцієнта індивідуального внеску. Крім того, використання формули (18) як більш складної, утрудняє розуміння робітниками механізму розподілу заробітної плати по коефіцієнту індивідуального внеску, тому в умовах металургійних підприємств, де відповідно до технологічних особливостей застосовуються бригадні форми організації й стимулювання праці, слід надати перевагу способу розрахунку даного коефіцієнта по формулі (20).

Перспективами подальших наукових розробок у даному напрямі є урахування в системі матеріального стимулювання внеску персоналу у підвищення якості продукції металургійних підприємств.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по определению заработной платы работающих в зависимости от личного вклада работника в конечные результаты работы предприятия, утвержденные приказом Министерства труда и социальной политики Украины от 31.03.99 № 44 // Бухгалтерия: Сб. систематизированного законодательства - 2005.- № 5. - С. 52-74.

2. Колот А. М. Мотивація персоналу. - К.: КНЕУ. 2002. - 337 с.

Надійшла до редколегії 19.09.2007.

А. А. КОВТУН, Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта» (Республика Беларусь)

АНАЛИЗ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧРЕЖДЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ

Освітня діяльність є найбільш специфічною галуззю національної економіки, для якої характерні свої відмінні риси. Отже, для аналізу фінансової діяльності державного вищого учбового закладу необхідно використовувати методику аналізу, яка б враховувала механізм функціонування і управління вищою школою, різні за своєю природою фінансові ресурси вузів, а також різноманіття видів діяльності.

Educational activity is the most specific industry of national economy which the distinguishing features are characteristic for. Consequently, for the analysis of financial activity of state higher educational establishment it is necessary to use the method of analysis, which would take into account the mechanism of functioning and management by high school, financial resources of institutes of higher different on the nature, and also variety of types of activity.

Образовательная деятельность является наиболее специфичной отраслью национальной экономики, для которой характерны свои отличительные черты. Следовательно, для анализа финансовой деятельности государственного высшего учебного заведения необходимо использовать методику анализа, которая бы учитывала механизм функционирования и управления высшей школой, различные по своей природе финансовые ресурсы вузов, а также многообразие видов деятельности.

Источником анализа финансово-экономической деятельности учреждения образования (вуза) служат следующие документы финансовой отчетности:

- баланс исполнения сметы расходов (форма № 1);
- отчет об исполнении сметы расходов учреждений (форма № 2);
- отчет об исполнении сметы расходов и доходов внебюджетных средств организаций, финансируемых из бюджета (форма № 4);
- отчет о выполнении плана по сети, штатам и контингентам по учреждениям, обеспечивающим получение высшего образования (форма № 3-11);
- данные статистических сборников и др.

Анализ финансово-экономической деятельности даже в условиях развитой рыночной экономики обязательно производится с учетом поправок на инфляцию. В условиях же переходной экономики без этого не обойтись вовсе, так как финансовые отчеты предприятий о результатах хозяйственной деятельности, финансовом состоянии и использовании прибыли могут оказаться источником необъективной информации.

Анализ финансово-экономической деятельности вуза в соответствии с требованиями экономического стандарта может проводиться с точки зрения:

1. Структуры капитала (аспект финансирования).
2. Структуры имущества (аспект инвестирования).

3. Структуры капитала и имущества во взаимосвязи, для получения информации о платежеспособности и финансовой устойчивости университета.

4. Доходов, прибыли и рентабельности.

5. Уровня заработной платы и ее динамики по категориям персонала вуза.

1. Структура капитала любого вуза в настоящее время представляет собой смешанное финансирование – бюджетное и внебюджетное. Их соотношение можно установить согласно формам № 2 и № 4 финансовой отчетности вуза.

2. Структура инвестирования представляет в основном расходы по содержанию вуза для обеспечения нормальных условий для обеспечения учебного процесса и проведения научно-исследовательских работ по хоздоговорам и госбюджетной тематике.

3. Организация считается платежеспособной, если сумма текущих активов больше или равна ее внешней задолженности, т. е.

$$A_T = Z_{\text{внеш}}, \quad (1)$$

где A_T – сумма текущих активов, тыс. руб.;

$Z_{\text{внеш}}$ – внешняя задолженность, тыс. руб.

К **текущим активам** относятся запасы, затраты, денежные средства, расчеты и прочие активы

$$A_T = Z + Д, \quad (2)$$

где Z – запасы и затраты, тыс. руб; $Д$ – денежные средства, расчеты и прочие активы, тыс. руб.

Внешняя задолженность определяется по данным пассива баланса:

$$З_{\text{внеш}} = \text{ДФО} + \text{РПП}, \quad (3)$$

где ДФО – долгосрочные финансовые обязательства (прочие источники и заемные средства), тыс. руб.; РПП – расчеты и прочие пассивы, тыс. руб.

Наличие запасов (особенно государственных) не означает реальной платежеспособности вуза, так как в условиях рыночной экономики запасы незавершенного производства, готовой продукции и других товарно-материальных ценностей при банкротстве организации могут оказаться труднореализуемыми для погашения внешних долгов (часть их просто неликвидна, но по данным баланса значится как запасы).

Вуз обладает реальной платежеспособностью, если

$$A_{\text{лр}} > З_{\text{внеш}}, \quad (4)$$

где $A_{\text{лр}}$ – легкорезализуемые активы, тыс. руб.

К **легкорезализуемым активам** относятся денежные средства и дебиторская задолженность и в какой-то степени (за исключением излишних и залежалых запасов) производственные запасы. Поэтому необходимо сделать уточняющий расчет и рассчитать реальную платежеспособность вуза, т. е. определить соответствие легкорезализуемых активов внешней задолженности. В том случае, если в составе производственных запасов нет излишних и ненужных, легкорезализуемые активы определяются по формуле:

$$A_{\text{лр}} = П_з + \text{МБП} + Д_с + З_д, \quad (5)$$

где $П_з$ – производственные запасы, тыс. руб.; МБП – малоценные и быстроизнашивающиеся предметы, тыс. руб.; $Д_с$ – денежные средства, тыс. руб.; $З_д$ – дебиторская задолженность, тыс. руб.

Высокие темпы дебиторской задолженности могут свидетельствовать о том, что вуз активно использует стратегию ссуд для потребителей своих услуг. Кредитуя их, вуз фактически делится с ними частью своего дохода, увеличивая собственную кредиторскую задолженность.

В расчетах показателей платежеспособности, ликвидности, оборотного капитала (средств) участвует дебиторская задолженность и запасы. В зависимости от того, насколько быстро они превращаются в наличные деньги, находится финансовое положение предприятия, его платежеспособность. Для оценки ситуации насколько быстро дебиторская задолженность

превращаются в наличные деньги необходимо определить **оборачиваемость счетов дебиторов** ($O_{\text{сд}}$):

$$O_{\text{сд}} = B / З_д, \quad (6)$$

где B – выручка (доходы) от реализации платных услуг, тыс. руб.; $З_д$ – дебиторская задолженность, тыс. руб.

Чем выше показатель оборачиваемости, тем быстрее дебиторская задолженность превращается в наличные деньги.

Повышение (снижение) уровня платежеспособности устанавливается по изменению показателя оборотного капитала (оборотных средств).

Оборотный капитал ($K_{\text{об}}$) рассчитывается следующим образом:

$$K_{\text{об}} = A_{\text{т}} - З_{\text{внеш}}. \quad (7)$$

Разница между текущими активами и внешней задолженностью даст представление о размерах оборотного капитала вуза.

Оборотный капитал состоит из тех видов имущества, которые полностью расходуются в течение одного хозяйственного оборота и совершают полный оборот или несколько оборотов. Источниками его образования являются: увеличение чистого дохода, долгосрочных обязательств и др.

Наиболее надежными партнерами считаются те предприятия и организации, у которых значительный оборотный капитал, поскольку они могут отвечать по своим обязательствам, увеличивать масштабы своей деятельности.

Ориентиром для оптимизации размера оборотного капитала является его сумма, равная половине краткосрочных обязательств. Привлечение заемных средств для осуществления хозяйственной деятельности может иметь разную эффективность, которая зависит от рационального формирования структуры используемых источников средств.

Исследуя структуру оборотных активов вуза, следует обратить внимание, что скорость оборота оборотных активов является одной из качественных характеристик проводимой в вузе финансовой политики: чем скорость оборота выше, тем выбранная стратегия эффективнее. Для определения тенденций оборачиваемости оборотных средств рассчитывается **коэффициент оборачиваемости** ($K_{\text{оок}}$):

$$K_{\text{оок}} = B / K_{\text{об}}. \quad (8)$$

Таким образом, можно сделать вывод о высокой скорости оборота оборотных средств ву-

за и эффективной его стратегии.

Рыночные условия хозяйствования заставляют предприятия и организации в любой период времени иметь возможность срочно возратить краткосрочные долги.

Анализ **способности вуза выполнять срочные обязательства** (C_{co}) можно установить из следующего соотношения:

$$C_{co} = K_{об} / Z_{вн} . \quad (9)$$

Отношение оборотного капитала ко всей внешней задолженности позволяет установить способность вуза выполнять срочные обязательства. Это отношение должно стремиться к единице. Неблагоприятно как низкое, так и высокое соотношение. Превышение рассчитанного коэффициента единицы на конец периода свидетельствует о неправильном формировании финансов в вузе, использовании им «дорогостоящих финансов». Оптимальное значение коэффициента $C_{co} = 1$.

Ликвидность – это способность оборотных средств превращаться в наличность, необходимую для нормальной финансово-хозяйственной деятельности.

Коэффициент текущей ликвидности ($K_{тл}$) представляет собой отношение всех текущих активов (A_t) к краткосрочным обязательствам (K_k):

$$K_{тл} = A_t / K_k , \quad (10)$$

где K_k – краткосрочные обязательства, тыс. руб.

Если отношение меньше единицы, это означает, что внешние обязательства нечем оплатить. Если отношение превышает единицу, то это говорит о большой сумме свободных средств, которыми располагает вуз, и использовании им «дорогостоящих» активов. Дорогостоящими активы считаются потому, что прибыль с текущих активов, получаемая вузом, должна быть выше процентных ставок за заемные средства. Нормативное значение коэффициента текущей ликвидности $K_{тл} = 1,7$. В этом случае можно сделать вывод о том, что вуз обеспечен оборотным капиталом для осуществления своей деятельности и своевременной оплаты срочных обязательств.

Показателями, также характеризующими платежеспособность, являются **финансовая устойчивость** и **финансовая независимость**.

Финансовая устойчивость представляет собой соотношение собственного (K_c) и заемного капитала (K_z). Если заемный капитал больше собственного, то предприятию грозят финансовые затруднения. Чаще всего в вузах заемных источников оборотного капитала нет,

а временно свободные денежные средства размещаются на депозитных счетах.

Финансовая независимость определяется как отношение собственного капитала (K_c) к активам (A):

$$ФН = K_c / A. \quad (11)$$

Вуз обладает высоким уровнем финансовой независимости при ее значении близком к единице. Это свидетельствует о том, что в вузе как некоммерческой организации увеличение собственного капитала происходит не столько за счет прибыли, сколько за счет создания фондов, автоматически формируемых по мере приобретения соответствующих видов активов и постановки их на учет.

4. Доходы, прибыль, рентабельность.

В процессе анализа финансово-экономической деятельности учреждения образования необходимо оценить размеры доходов вуза в целом и по подразделениям и выявить динамику показателей.

Количество обучающихся – это основной показатель, от которого зависят доходы и прибыль учреждений образования, т. к. образовательная деятельность – основная. Доходы от образовательных услуг растут пропорционально росту количества студентов.

Повышение доходов вуза вызывают рост прибыли и уровня рентабельности. Основными путями повышения доходов вуза, а вместе с тем и увеличения прибыли, являются полное удовлетворение потребностей населения в данного вида услугах, создание наиболее благоприятных условий для обучения студентов, повышение качества и конкурентоспособности услуг и т. д.

Главной целью любого предприятия является максимизация прибыли, и вузы – не исключение.

Прибыль представляет собой чистый доход предприятия и является разностью между валовым доходом (выручкой от оказания услуг) и общими издержками.

Прибыль выступает не только в качестве главного результата внебюджетной деятельности вуза, но и источника удовлетворения потребностей, как самого вуза, так и общества в целом. Прибыль служит источником расширения производственных возможностей, а также материального стимулирования работающих, удовлетворения их социальных запросов и формирования бюджетных и внебюджетных фондов.

Чистая прибыль является одним из важнейших экономических показателей, характе-

ризующих конечные результаты деятельности вуза (как и любого предприятия). Количественно она представляет собой разность между суммой балансовой прибыли и суммой внесенных в бюджет налогов из прибыли, экономических санкций, отчислений в благотворительные фонды и других расходов вуза, покрываемых за счет прибыли.

Источником образования прибыли являются доходы, полученные от образовательной деятельности, прочих видов услуг и внереализационные доходы.

Прибыль от тех видов услуг, которые зависят от количества студентов – образовательные услуги – увеличивается пропорционально росту студентов. В ее структуре наибольший удельный вес, как правило, прибыль от обучения студентов на платной основе.

Прибыль по остальным видам услуг зависит от других факторов (объем работы по каждому виду различный: в типографии – объем полиграфических услуг, в столовой – объем услуг общественного питания и т. д.). Анализ каждого вида достаточно трудоемкий процесс, для которого необходимо привлекать специалистов из этих подразделений, знающих специфику их расчетов.

Чистая прибыль вуза направляется на образование фонда материального поощрения (40 % чистой прибыли) и фонда производственного и социального развития (60 % чистой прибыли).

На величину чистой прибыли влияют общие расходы вуза, которые включают в себя:

- расходы (текущие расходы и капитальные расходы;
- налоги и отчисления;
- платежи в бюджет из прибыли.

Обычно наибольший удельный вес в общих расходах вуза занимают расходы (текущие расходы и капитальные расходы), которые имеют тенденцию к увеличению.

В последнее время наблюдается уменьшение удельного веса сумм налогов и платежей в бюджет из прибыли. Это объясняется тем, что высшие государственные учебные заведения **освобождены** от начисления и уплаты налогов и неналоговых платежей в бюджет и внебюджетные фонды, кроме взносов по государственному социальному страхованию в Фонд социальной защиты и платежей в Государственный фонд содействия занятости, в части средств, полученных от оказания образовательных услуг указанных в Перечне образовательных услуг, оказываемых государственными высшими учебными заведениями и попадаю-

щих под льготное налогообложение, утвержденном постановлением Министерства образования Республики Беларусь, Государственного налогового комитета Республики Беларусь и Министерства финансов Республики Беларусь от 29 декабря 2000 г. № 61/114/129.

Одним из важнейших показателей, характеризующих успешную деятельность вуза, являются показатели **рентабельности**, которые тесно связаны с понятием прибыли.

Функционирование вуза, как и любого предприятия, зависит от его способности приносить достаточный уровень дохода (прибыли), которая влияет и на платежеспособность. **Рентабельность** характеризует прибыльность, доходность вуза. Чем выше рентабельность, тем больше вуз имеет прибыли.

Оценка рентабельности вуза производится с помощью системы следующих показателей оценки:

- прибыльности хозяйственной деятельности;
- эффективности управления вузом.

К основным показателям прибыльности хозяйственной деятельности, которые характеризуют отдачу капитала, относятся общая рентабельность вуза, чистая рентабельность вуза, рентабельность собственного капитала.

Общую рентабельность капитала (R_o) вуза можно определить из соотношения

$$R_o = (\Pi_6 / A) \cdot 100, \quad (12)$$

где Π_6 – балансовая прибыль, тыс. руб.

Для оценки деятельности вуза важное значение имеет **чистая рентабельность капитала** вуза, которая определяется следующим образом:

$$R_q = (\Pi_q / A) \cdot 100, \quad (13)$$

где Π_q – чистая прибыль вуза, тыс. руб.

Рентабельность собственного капитала можно определить

$$R_{kc} = (\Pi_q / K_c) \cdot 100. \quad (14)$$

В составе показателей, характеризующих эффективность управления можно выделить **рентабельность оказанных услуг** (доходная прибыль) и **общую прибыльность продаж**.

Рентабельность оказанных услуг определяется по формуле

$$R_y = (\Pi_6 / C_{\Pi}) \cdot 100, \quad (15)$$

где C_{Π} – полная себестоимость оказываемых платных услуг, тыс. руб.

Общая прибыльность продаж рассчитывается следующим образом:

$$R_{\text{пр}} = (\Pi_6 / B) \cdot 100, \quad (16)$$

где В – выручка от реализации платных услуг (доходы от оказания платных услуг), тыс. руб.

Величина показателя рентабельности собственного капитала дает представление о том, как работает собственный капитал. Если, например, рентабельность собственного капитала составила менее 2 %, то это говорит о низкой отдаче и есть смысл подумать о том, чтобы положить эти средства на депозитный счет в банке для получения большей отдачи.

Рост и высокий уровень рентабельности оказанных услуг означает эффективное управление и ведение хозяйства.

Рост прибыльности продаж говорит о том, что из каждого рубля выручки определенная часть (согласно расчетам) оставалась в распоряжении вуза и направлялась на его финансирование.

5. Анализ труда и заработной платы

Анализ численность персонала вуза за счет бюджетных источников финансирования согласно штатному расписанию, структуры его расходов по оплате труда и их динамики производится согласно форме № 3-11. В вузах применяется повременно-премиальная форма оплаты труда персонала.

Изменения средней заработной платы профессорско-преподавательского состава показывает о том, что значительный рост заработной платы осуществляется за счет повышения ее тарифной части. Дифференциация, предусмотренная в сетке тарифных разрядов и соответствующих коэффициентов, осуществляется по признаку сложности выполняемых работ. Учет в зарплате других факторов ее дифференциации – условий труда, напряженности труда, значимости сфер его приложения, количественных и качественных результатов труда – осуществляется при помощи других элементов оплаты труда. По отношению к ним тарифная ставка (оклад), как оплата за норму труда, является основой формирования всей заработной платы.

Тарифные ставки административно-хозяйственного, учебно-вспомогательного вузов устанавливаются, исходя из того, что максимальная сложность их труда сочетает в себе функции специалиста, так и организатора всего коллектива. Средняя заработная плата этой категории включает служебные оклады и доплаты, которые зависят от эффективности работы. Одной из главнейших задач в реформировании заработной платы на нынешнем этапе развития экономики является создание механизма рыночного регулирования заработной платы, формирующего ее как цену рабочей силы на рынке труда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арзякова О. Н. Рынок образовательных услуг и его анализ / О. Н. Арзякова, Е. В. Морозов // Советник бухгалтера в сфере образования и науки. – 2001. – № 3. – С. 44-47.
2. Бычкова Г. М. Инновационный механизм повышения эффективности высшего образования в Беларуси. – Мн.: Право и экономика, 2004. – 219 с.
3. Экономика предприятия / В. Я. Хрипач, Г. З. Суша, Г. К. Оноприенко; Под ред. В. Я. Хрипача. – Мн.: Экономпресс. 2000. – 464 с.

Надійшла до редколегії 20.06.07.

АНАЛІЗ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ З ПОЗИЦІЇ ВПЛИВУ ІНТЕНСИВНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗНОС ІНФРАСТРУКТУРИ

Дана стаття присвячена визначенню впливу інтенсивності перевезень на знос інфраструктури шляхом аналізу роботи залізниць України.

Данная статья посвящена определению влияния интенсивности перевозок на износ инфраструктуры путем анализа работы железных дорог Украины.

This article is dedicated to the determination of transportation intensity influence on deterioration of infrastructure by the analysis of railways functioning in Ukraine.

Вантажні, пасажирські і приміські перевезення можна у загальному вигляді представити такими показниками перевізної роботи як вантажообіг і пасажирообіг. Усередненими факторами, що впливають на знос інфраструктури залізниць, є механічна робота локомотива, робота сил опору руху, пропущений тоннаж і осьове навантаження.

Два останні фактори надалі будуть визначатися вертикальною роботою колії, що збереже

однотипність підходу і надасть змогу враховувати різноманітність набору поїздів у потоку. Названі показники опосередковано впливають на витрати електроенергії і дизельного палива. Вони й є тими факторами, від яких залежить знос рейок, скріплень, баласту, штучних споруд, контактної мережі тощо [1].

У табл. 1 наведені деякі дані про роботу залізниць України.

Таблиця 1

Робота залізниць України в 2006 році

Показники	Донецька	Придніпровська	Південна	Південно-Західна	Одеська	Львівська	УЗ
Вантажообіг, млрд ткм	39,583	51,151	24,289	48,074	53,399	24,06	240,556
Пасажирообіг, млрд. пас-км	4,447	10,068	7,139	18,143	8,019	5,641	53,457
Приведена продукція, млрд ткм	44,030	61,219	31,428	66,217	61,418	29,701	294,013
Електроенергія на тягу поїздів у межах залізниць, млн кВт	743,1	1060,6	439,6	1203,0	1112,8	604,9	5164,0
Електроенергія на тягу поїздів у межах пліч обслуговування, млн кВт	646,9	1122,9	513,3	1192,0	1092,2	610,5	5177,8
Дизельне паливо на тягу поїздів, тис. тонн	75,0	56,3	111,0	62,0	93,2	86,5	484,0
Всього енергоресурсів на тягу поїздів, тис. т умовного палива	318,9	446,5	327,7	477,2	490,0	323,8	2384,2
Енергоємність перевізної роботи, т у.п./прив. млн.ткм	7,24	7,29	10,43	7,21	7,98	10,90	8,11

На рис. 1 показана енергоємність тяги поїздів за 2006 рік. Так, в цілому по Укрзалізниці вона зменшилась в порівнянні з 1997 роком на 1,55 т у.п./млн брив. ткм, або на 16 %.

Проведений аналіз показав, що із загального обсягу паливно-енергетичних ресурсів найбільші

витрати припадають безпосередньо на тягу поїздів. Їхній рівень залежить від витрат на перевезення тари, опору руху поїздів, економічності тягового рухомого складу, що використовується, раціональності використання рухомого складу для перевезень, режиму ведення поїздів тощо.

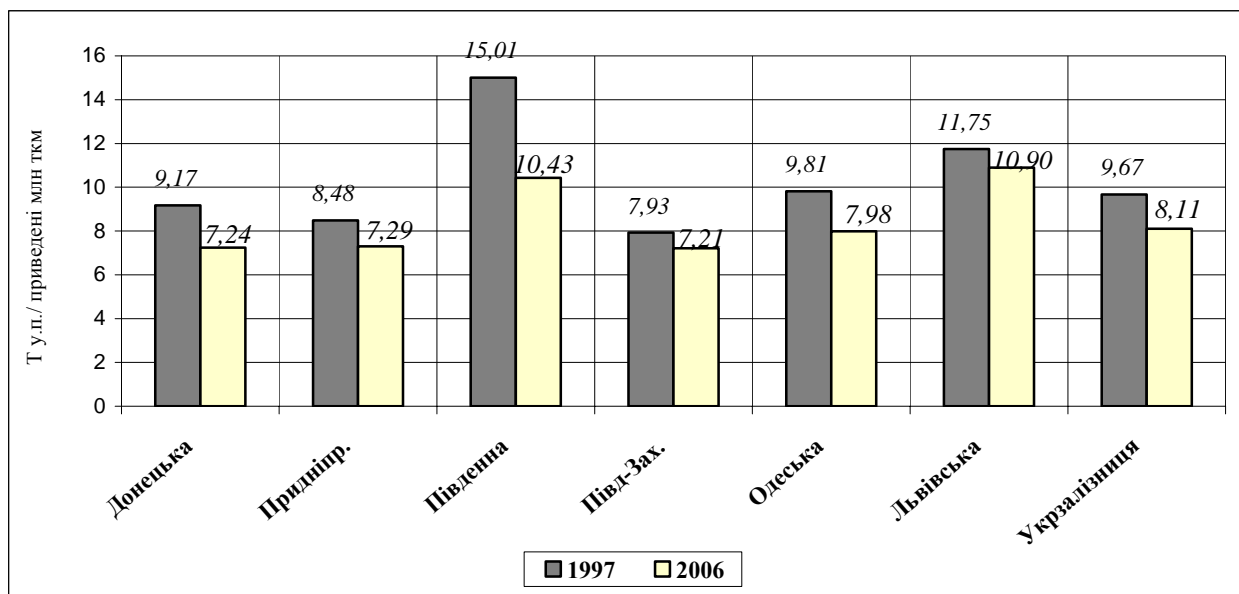


Рис. 1. Енергоємність тяги поїздів на залізницях України в порівнянні з 1997 р

З рис. 2 видно, що між витратами електроенергії і дизельного палива і витратами на перевезення чіткої залежності немає. Більш наглядно цей факт можна ілюструвати зміною

коефіцієнта, що визначений як співвідношення витрат на перевезення до витрачених енергоресурсів на тягу поїздів, як показано на рис. 3.

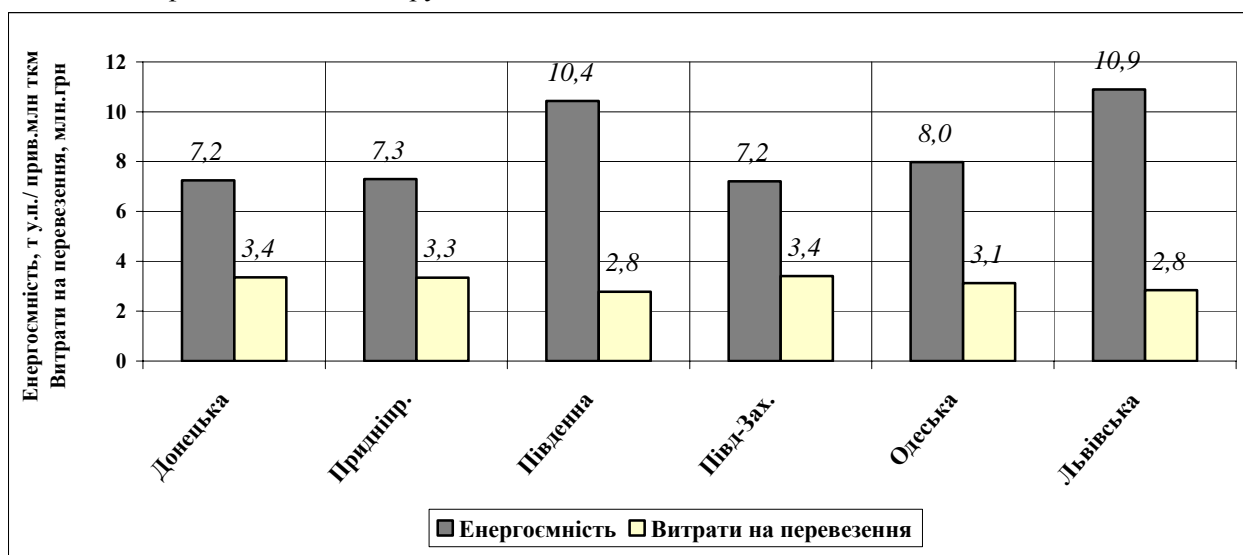


Рис. 2. Зміна енергоємності перевізної роботи і витрат на перевезення

Відповідно до теми статті дослідженню підлягає визначення впливу інтенсивності вантажного та пасажирського руху на знос верхньої будови колії та контактної мережі, тому особливий інтерес представляє таке питання, як витрати галузевих господарств у 2006 році в загальній сумі експлуатаційних витрат, рис. 4-9.

Аналіз витрат колійного господарства і господарства електропостачання (рис. 4-9) показує, що питома вага в загальній сумі експлуатаційних витрат по колійному господарству складає від 15,4 % (Придніпровська й Південна залізниці) до 21,2 % (Львівська залізниця).

По господарству електропостачання цей показник змінюється від 1,7 % (Південна залізниця) до 3,0 % (Південно-Західна). Найбільші витрати приходяться на локомотивне господарство від 30,9 (Донецька залізниця) до 43,1% (Південна залізниця).

На величину механічної роботи локомотива, отже і на енергетичні витрати впливають багато факторів, серед яких технічне оснащення і умови роботи залізниці, параметри плану і позовного профілю [2].

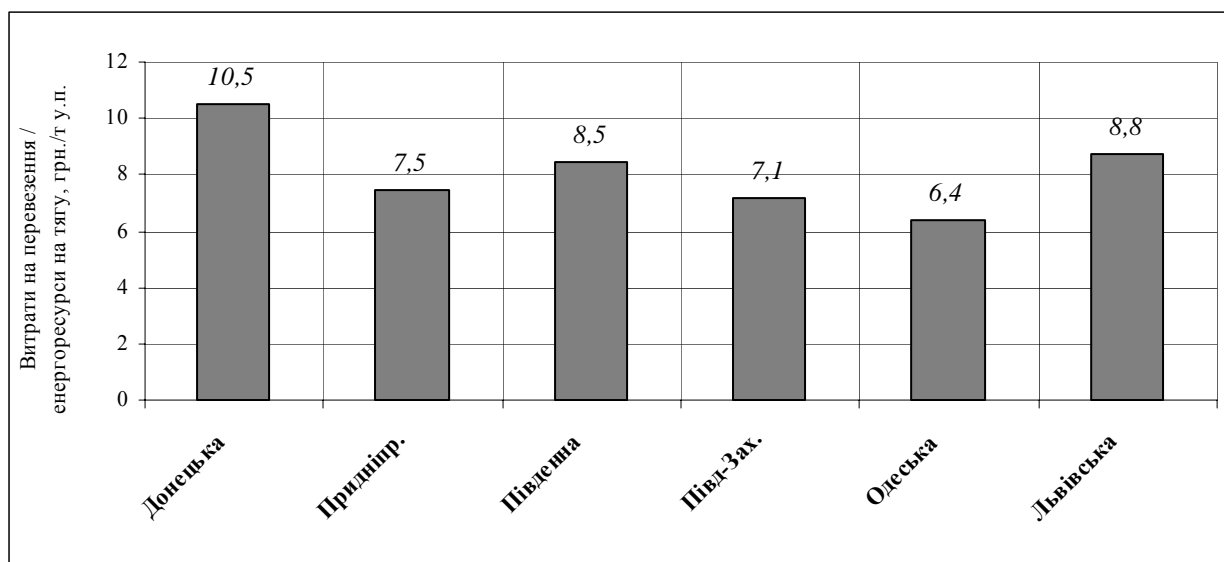


Рис. 3. Зміна співвідношення витрат на перевезення до витрачених енергоресурсів на тягу поїздів

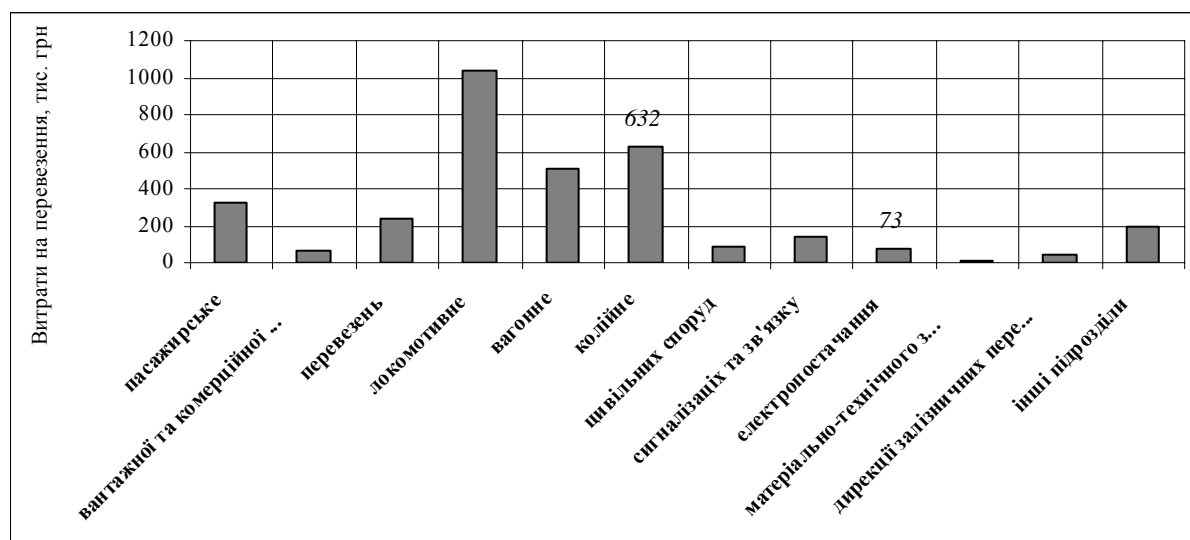


Рис. 4. Витрати на перевезення на Донецькій залізниці

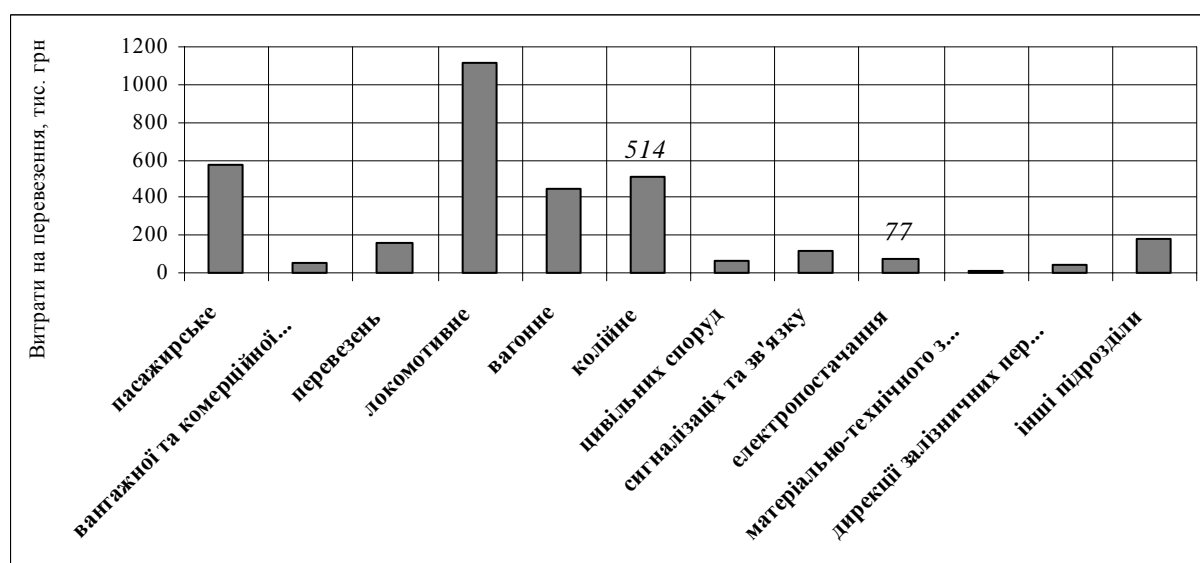


Рис. 5. Витрати на перевезення на Придніпровській залізниці

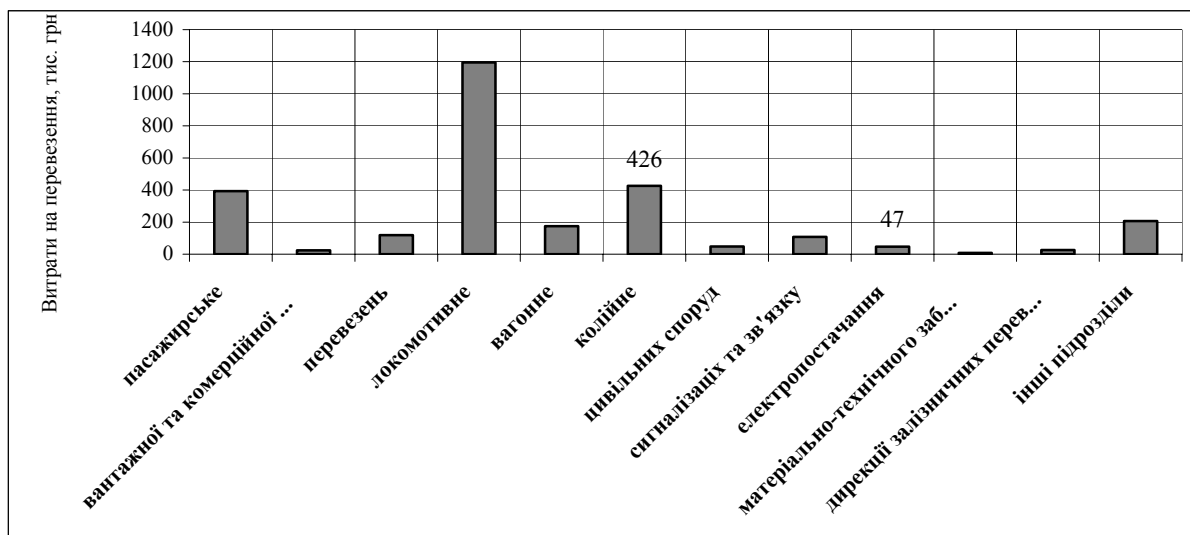


Рис. 6. Витрати на перевезення на Південній залізниці

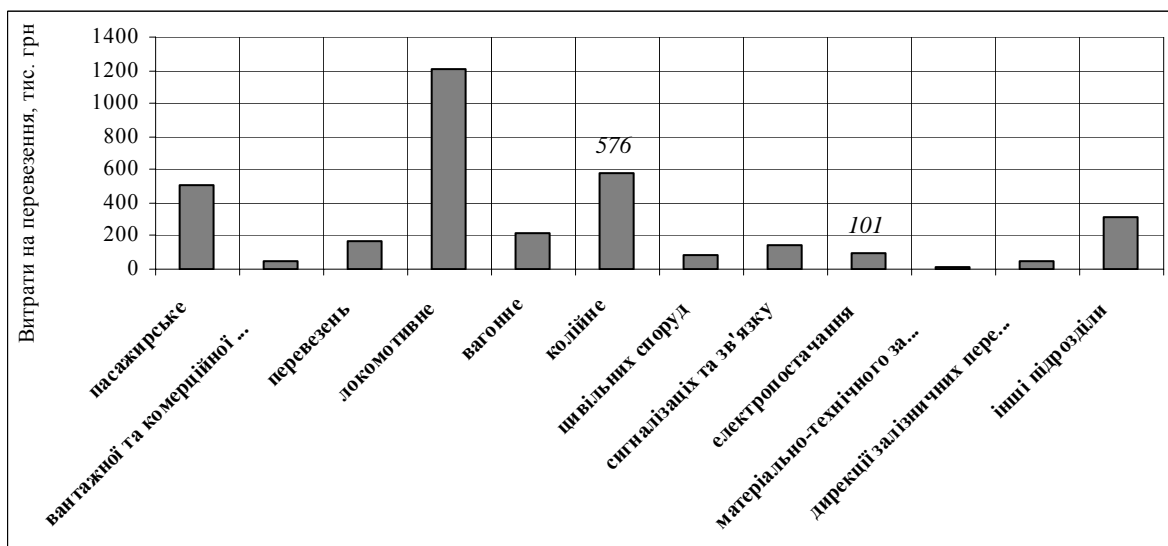


Рис. 7. Витрати на перевезення на Південно-Західній залізниці

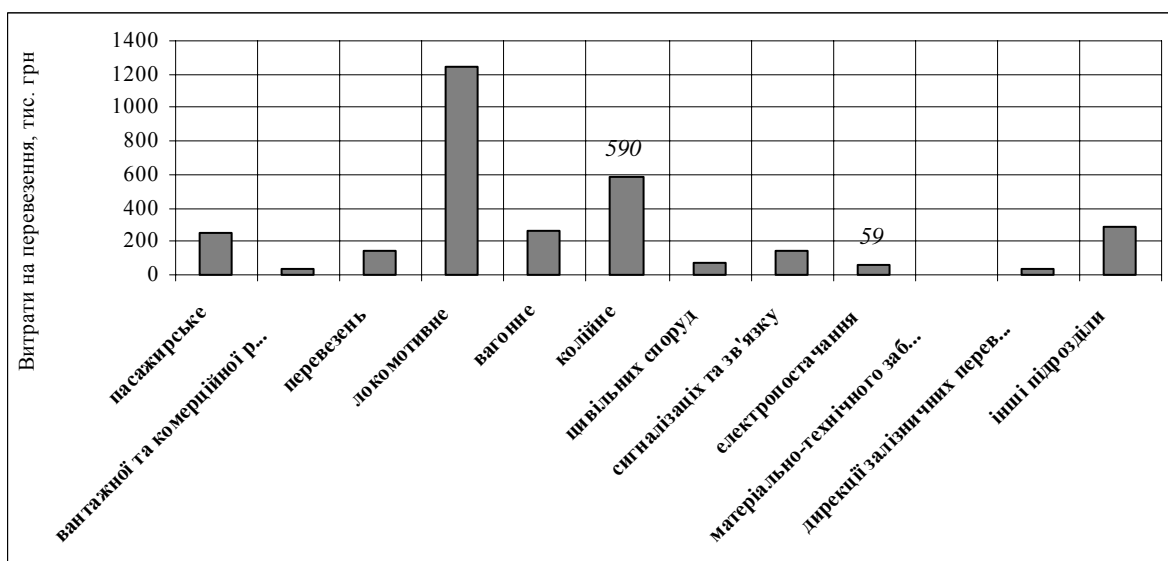


Рис. 8. Витрати на перевезення на Одеській залізниці

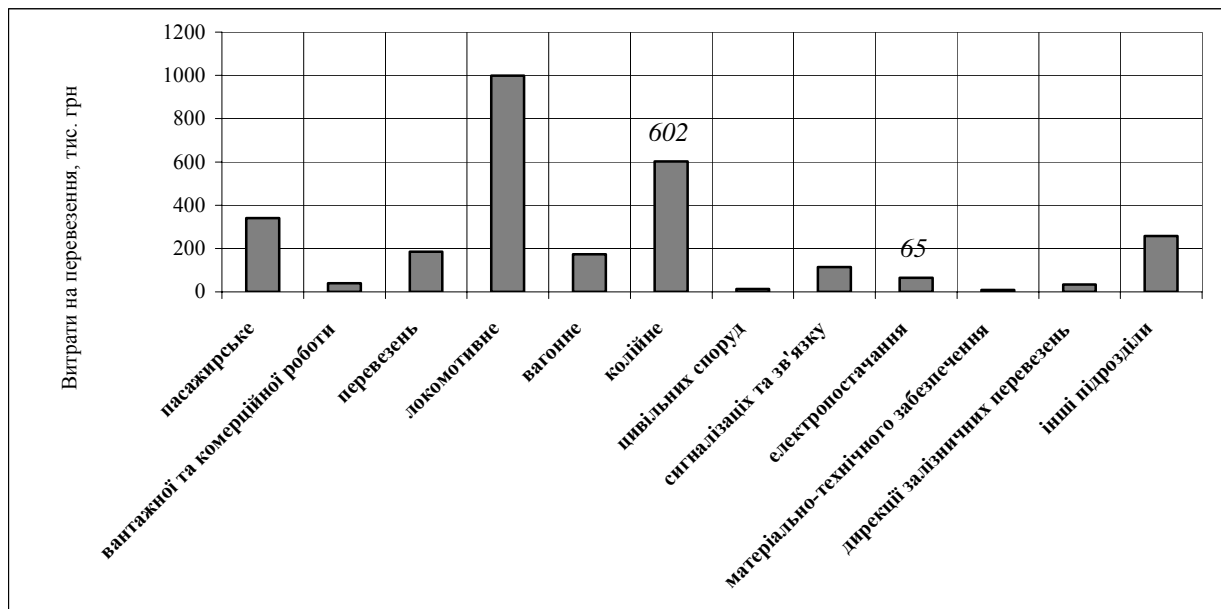


Рис. 9. Витрати на перевезення на Львівській залізниці

В табл. 2 і на рис. 10, 11 наведені узагальнюючі дані щодо розподілу ухилів і радіусів кривих на залізницях України.

Аналіз показує, що найбільша кількість

ухилів, більших за 15 %, приходить на Львівську і Донецьку залізницю. Питома вага кривих ділянок радіусом до 500 м становить 13,1 % на Львівській залізниці і є найбільшою.

Таблиця 2

Параметри плану і профілю залізниць України
(характеристики наведені по головних напрямках, %)

Показники	Донецька	Придніпровська	Південна	Південно-Західна	Одеська	Львівська
Радіус кривих до 500 м	2,2	2,1	1,3	3,1	3,0	13,1
Радіус кривих до 650 м ^{*)}	11,6	11,7	9,7	7,8	11,3	17,7
Радіус кривих до 1000 м ^{*)}	20,2	18,2	17,4	12,1	18,0	23,1
Мінімальний радіус, м	200	200	225	250	250	180
Процент ухилів більших за 8 ‰	18,4	15,1	15,0	10,0	20,5	10,4

^{*)} зростаючим підсумком

З таблиці, видно, що найбільш високі показники, за якими обмежується швидкість і ускладнюється рух поїздів, мають Донецька і Львівська залізниця.

Залізниця України знаходяться в різних експлуатаційних умовах, відрізняються, як було

зазначено вище, технічним оснащенням, параметрами профілю й плану. У табл. 3 наводиться стислий аналіз основних характеристик конструкції верхньої будови колії.

Таблиця 1.3

Основні показники колійної інфраструктури залізниць України

Показники	Донецька	Придніпр.	Південна	Півд-Зах.	Одеська	Львівська	УЗ
Розгорнута довжина головних колій, км	4317,3	4331,2	4006,8	6322,9	5204,4	5555,9	29738,5
Протяжність безстикової колії, км	2845,2	3454,1	3325,3	4153,7	3534,2	2390,0	19702,5
Протяжність колії з термічно зміцненими рейками, км	2813,9	3321,6	2681,0	3260,7	3159,7	3092,3	18329,2
Протяжність колій на залізобетонних шпалах, км	3059,5	3607,2	3533,8	5459,5	3957,7	2537,2	22154,9
Кількість стрілочних переводів, компл.	10694,0	8921,0	7345,0	9807,0	7856,0	8836,0	53459,0
Кількість стрілок обладнаних ЕЦ, шт	7336,0	6920,0	5460,0	7051,0	5919,0	5213,0	37899,0

Протяжність безстикової колії. За протяжністю безстикової колії відносно розгорнутої довжини головних колій залізниць на першому місці знаходиться Південна залізниця (83 %), на останньому – Львівська (43 %).

Відносно сумарної довжини безстикової колії у межах УЗ (19702,5 км) Львівська залізниця має найменший показник (12,1 %), а Південно-Західна залізниця найбільший (21,1 %).

Протяжність колії з термічнозміцненими рейками. Відносно розгорнутої довжини головних колій залізниць найкращий показник має Придніпровська залізниця (76,7 %), найменший Львівська залізниця (51,6 %). Відносно загальної довжини таких колій по УЗ (18329,2 км) найменший показник має Південно-Західна залізниця (14,6 %), найбільший Придніпровська залізниця (18,1 %) [5].

Протяжність колії на залізобетонних шпалах. Найбільше колій на залізобетонних шпалах відносно розгорнутої довжини маємо на Південній (88,2 %) і Південно-Західній залізницях (86,3 %), найменше – на Львівській залізниці (45,7 %). Відносно загальної довжини таких колій у межах УЗ (22154,9 км) найбільше колій на залізобетонних шпалах на Південно-Західній залізниці (24,6 %), найменше на Львівській залізниці (11,5 %).

Стрілочні переводи обладнані ЕЦ. Відносно розгорнутої довжини головних колій найкращі показники мають Придніпровська (77,6 %) і Одеська залізниці (75,3 %), найменший показник на Львівській залізниці (59,0 %). Відносно загальної кількості переводів на головних і станційних коліях УЗ (53459 компл.) найбільше їх на Донецькій (19,4 %) і Південно-Західній залізницях (18,6 %), найменше на Львівській залізниці (13,8 %) [6].

Проведений аналіз показав, що залізниці відрізняються не тільки технічним оснащенням, але й умовами роботи. Тому для оцінки впливу інтенсивності вантажного та пасажирського руху на витрати з утримання верхньої будови колії та контактної мережі необхідний диференційований підхід, який би враховував як структуру поїздопотоків, так і технічне оснащення залізниці, параметри плану й поздовжнього профілю.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Макаренко М. В. Підвищення ефективності функціонування залізниць / М. В. Макаренко, О. В. Шевченко, М. М. Сергієчко // Зб. наук. пр. - К.: Вид-во ун-ту економіки і технологій транспорту: Серія «Економіка і управління». Вип. 4. - КУЕТТ, 20030. - С. 60-62.
2. Федюшин Ю. М. Прогноз грузооборота и пассажирооборота на железнодорожном транспорте Украины // Залізничний транспорт України. – К., 1999. - № 6. - С. 2-4.
3. Шаров В. А. Перевозки грузов в условиях рыночных отношений // Ж.-д. транспорт.- 1991.- № 11. - С. 15-18.
4. Калина І. І. Перспективи розвитку залізничного транспорту // Проблеми економіки транспорту: Тези доповідей VI Міжнародної наукової конференції. - Д.: ДІТ, 2007.- 237 с.
5. Крихтіна Ю. О. Аналітичний огляд структури експлуатаційних витрат господарства сигналізації і зв'язку по мережі залізниць // Проблеми економіки транспорту: Тези доповідей VI Міжнародної наукової конференції. - Д.: ДІТ, 2007. - 237 с.
6. Блохина А. С. Аналіз состояния грузового парка подвижного состава железных дорог и его прогноз на 2010-2015 годы // Проблеми економіки транспорту: Тези доповідей VI Міжнародної наукової конференції. - Д.: ДІТ, 2007. - 237 с.

Надійшла до редакції 15.09.2007.

МАРКЕТИНГОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

В даній статті розглянута необхідність використання маркетингових принципів в управлінській діяльності. Описана доцільність перевезення різних видів вантажу в контейнерах, визначені основні переваги та недоліки використання середньотонажних контейнерів. Розглянуті напрямки тарифної політики, що потребують перегляду в умовах конкуренції різних видів транспорту та ринкової економіки.

В данной статье рассмотрена необходимость использования маркетинговых принципов в управленческой деятельности. Описана целесообразность перевозки различных видов груза в контейнерах, определены основные преимущества и недостатки использования среднетоннажных контейнеров. Рассмотрены направления тарифной политики, требующие пересмотра в условиях конкуренции различных видов транспорта и рыночной экономики.

This article tackles the problem of necessity of the applying the marketing principles in the management activity. There were defined the main advantages and disadvantages the utilization of the middle-tonnage containers. The aspects of the existing tariff policy were revised as well. Under the conditions of the competitiveness between the different means of transport, in our opinion, the existing tariff policy need to be considerably revised and improved.

В соответствии с концепциями [1, 2] к основным проблемам, которые сдерживают развитие железнодорожного транспорта, относятся: несовершенство нормативно-правовых актов, регулирующих деятельность железных дорог; несоответствие организационной структуры железнодорожного транспорта тенденциям развития рыночной экономики Украины; низкий уровень конкуренции на рынке железнодорожных перевозок. Кроме внутренних проблем, которые необходимо решить в ходе реформирования, необходимо преодолеть определенное отставание в развитии украинских железных дорог от железных дорог стран Евросоюза и России.

Экономические факторы определили характер контейнерных перевозок Украины – транзит контейнеров из Европы в Россию, далее в Азию и обратно. В тоже время на транспортном рынке обострилась внутренняя конкуренция (рис. 1, 2), что вынуждает железнодорожный транспорт проводить маркетинг, нацеленный на более полное удовлетворение потребностей клиента и, тем самым, создавать благоприятные условия для экспорта отечественной продукции.

В настоящее время стремительно растет объем грузов, перевозимых морским и железнодорожным транспортом в контейнерах (рис. 3, 4). Особенно быстро увеличивается грузопоток из стран Дальнего Востока на Запад в Европу (порядка 8 миллионов контейнеров в год). Примерно такие же размеры в обратном направлении.

Украина обеспечивает лишь 1 процент транзита грузов на этом направлении.

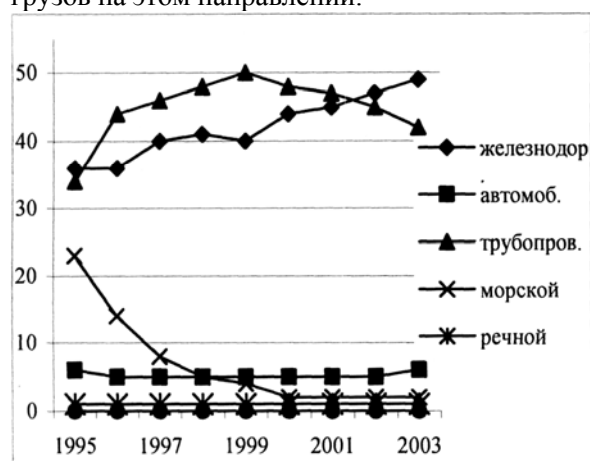


Рис. 1. Процентное распределение грузооборота по отдельным видам транспорта по годам

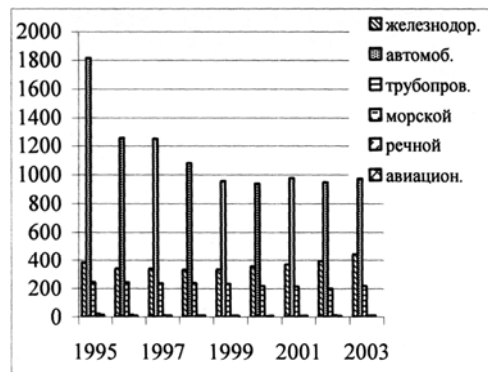


Рис. 2. Перевозки грузов по видам транспорта, млн тонн по годам



Рис. 3. Анализ погрузки контейнеров, физ. ед.



Рис. 4. Анализ выгрузки контейнеров, физ. ед.

Увеличение объемов перевозок транспортными коридорами в значительной степени зависит от экономической целесообразности и умения операторов (судовладельцев или экспедиторов) сбалансировать движение груженых и порожних контейнеров [4]. Например, между восточным и западным направлениями (Европа–Юго-Восточная Азия и Юго-Восточная Азия–Европа) дисбаланс увеличился за последние 5 лет от 25 % до 40 %, т. е. около 1 миллиона контейнеров (в 20 т. исчислении) движутся из Европы в порожнем состоянии различными путями. Аналогичная ситуация наблюдается по направлениям Север–Юг и обратно.

Чтобы не возвращать контейнеры на Восток порожними, судоходные компании, осуществляющие контейнерные перевозки, предлагают очень низкие ставки для перевозки любых грузов в контейнерах в сторону Дальнего Востока. Сложилась ситуация, когда металлопрокат, лес и даже балкерные грузы дешевле отправлять контейнерами, чем, как происходило ранее, обычными судовыми партиями на балкерах и судах универсального флота.

Стоимость загрузки груза в контейнер (стафировки) такая же, а зачастую (учитывая хранение и сопутствующие портовые расходы) и ниже, чем стоимость перевалки в порту при отправке грузов на обычных судах.

Самым важным преимуществом при отправке грузов в сторону Дальнего Востока контейнерами, является более низкая стоимость перевозки. По данным компании «Голден Эйкс», отправка металлопроката (квадратной заготовки, арматуры, катанки) во Вьетнам в контейнерах на 12-14 \$/т дешевле, труб – на 20 \$/т. Выигрыш при отправке грузов в Китай еще больше.

В современных условиях успешное функционирование железных дорог возможно только на основе рыночных методов организации и управления. Весь производственный процесс должен быть ориентирован на клиента. Поэтому, одна из главных задач системы фирменного транспортного обслуживания заключается во внедрении маркетинговых принципов в процесс принятия управленческих решений [4]. Железные дороги смогут решить свои задачи, только чутко реагируя на требования рынка и удовлетворяя запросы своих заказчиков. Это обуславливает необходимость делегирования ответственности и полномочий по принятию оперативных решений на более низкие уровни управления, оставив за «центром» лишь вопросы стратегического планирования и построения общей маркетинговой стратегии поведения на рынке перевозок.

Большинство грузовых станций с контейнерными пунктами не оборудованы средствами технологической связи и автоматизированной системой управления, что резко уменьшает экономический эффект от контейнеризации перевозок грузов из-за повышенной продолжительности нахождения контейнеров в начальном-конечных пунктах.

Переход на рыночные отношения создает благоприятные условия для возникновения большого числа мелких предприятий-поставщиков продукции, т. е. роста перевозок случайных грузов. Для освоения отправок грузов, масса или размеры которых, как правило, будут меньше их грузоподъемности, или вместимости вагонов, потребуется развивать перевозки в средне- и крупнотоннажных контейнерах или мелкими отправлениями. С полной уверенностью можно сказать, что наиболее эффективным вариантом будет доставка таких партий грузов в среднетоннажных контейнерах. По грузоподъемности и вместимости они в большей мере удовлетворяют потребностям мелких и средних

производителей; по объему или массе грузовых отправок, предъявляемых к перевозке, пригодны для транспортировки на всех видах транспорта. Для переработки таких контейнеров можно применять разные средства механизации погрузочных работ: козловые краны, краны на автомобильном ходу, автопогрузчики, автопоезда, оборудованные собственными грузовыми механизмами. Возможно выполнение грузовых операций с такими контейнерами на неспециализированных грузовых фронтах. К преимуществам следует отнести также относительно невысокие требования к мощности и качеству покрытия контейнерных площадок, возможность погрузки и выгрузки контейнеров как вне, так и внутри закрытых складских помещений без больших дополнительных затрат, экономию затрат на транспортную тару, складские помещения, повышение степени сохранности груза и др.

Учитывая, что среднетоннажные контейнеры будут использоваться для перевозки небольших партий дорогостоящих тарно-штучных грузов, оборудования и других грузов по разовым или неустойчивым корреспонденциям, потребуются развивать техническую и технологическую базу. С этой целью следует увеличить парк существующих контейнеров, создать новые конструкции универсальных и специальных среднетоннажных контейнеров, расширить сеть согласованных перевозок «от двери до двери» под общим началом железной дороги, внедрить систему оперативного планирования и управления процессом комплектообразования, которая обеспечивала бы минимальные затраты транспортировки грузов при оптимальных для каждой их категории сроках доставки.

Организация перевозок на железнодорожном транспорте и уровень обслуживания в Украине должен отвечать европейским стандартам и в первую очередь на тех направлениях, которые входят в транспортные коридоры, где основная часть грузов (кроме массовых) планируется к перевозке в контейнерах. Необходимо усовершенствовать транспортно-экспедиционное обслуживание контейнерной транспортной системы, которая служит важной организационной основой ее функционирования. Отношения в области транспортно-экспедиционной деятельности регулируются Гражданским кодексом Украины, Хозяйственным кодексом Украины, законами Украины «О транспорте», «О внешнеэкономической деятельности», «О транзите грузов», «О транспортно-экспедиционной деятельности».

Транспортно-экспедиционное обслуживание должно взять на себя функции планирования погрузки и разгрузки контейнеров, заботу о заводе и вывозе контейнеров, оформление перевозочной и таможенной документации, обеспечивать контроль времени нахождения контейнеров под грузовыми операциями и в их ожидании, доставкой груза «от двери до двери» [3].

Наряду с упрощением ряда вспомогательных операций при контейнерных перевозках возникают дополнительные операции, которые требуют более четкой и достоверной информации в обратной связи, т. е. со стороны клиентуры. В ней будут содержаться сведения, необходимые для планирования завоза-вывоза контейнеров, обеспечения клиентуры порожними контейнерами (с указанием их типов), организации работы обменных пунктов, нахождению грузов для обратной загрузки высвобождающихся контейнеров.

Существует несколько основных проблем, которые возникают при использовании контейнерной транспортной системы:

- информационный поток, который сопровождает перевозку, не всегда успевает за перемещением контейнеров;
- возникают задержки на контейнерных пунктах, связанные с поиском контейнеров;
- не всегда существует баланс объемов прямых и обратных перевозок грузов в контейнерах; когда в одном направлении есть груз, а в обратном нет, возникает проблема порожних пробегов;
- нужны значительные капитальные вложения на создание отдельных линий (специализированные терминалы, транспортные средства);
- большая масса тары;
- по причине задержек в каждой из систем, от грузоотправителя к грузополучателю использование контейнеров находится на низком уровне.

Мелкий клиент (перевозка грузов мелкими партиями в контейнерах) сегодня все чаще обращается к автомобилистам в силу простоты заказа, возможности регулярных отправок маленькими партиями (обращения капитала), доставки без перевалки «от двери к двери», высокой скорости доставки, доступности информации о нахождении груза, сохранности [3].

Для Европы контейнерные перевозки – это реальность, которая подтверждается тем фактом, что треть грузового потока, который направляется из Японии, Южной Кореи, Сингапура и Китая в Европу – это контейнерные перевозки. Европа уделяет большое внимание

этим перевозкам и инвестирует их, т.к. контейнерные перевозки удовлетворяют большинству требований пользователей транспортными услугами. Создается тем самым спрос на услуги железнодорожного транспорта: универсализация подвижного состава, надежность и высокая безопасность перевозок, доставка груза «от двери к двери» и «точно в срок», достаточно высокая скорость продвижения грузопотока, наличие специализированных транспортных терминалов с современным оснащением для механизации погрузочно-разгрузочных работ и собственным парком специальных автомобилей.

В Украине есть все возможности для создания должного уровня перевозок. Для этого необходимо не только вкладывать средства в обновление материальной базы, но и использовать новые научные идеи и разработки.

Для формирования равновесного состояния на рынке транспортных услуг необходимо достижение разумного компромисса между субъектами конкурентной среды, позволяющего получить интегральный экономический эффект всем участникам рынка.

Поскольку транспортная продукция не «складируется», то предложение должно подстраиваться под самый высокий уровень спроса, который, в общем случае, значительно изменяется под воздействием сезонных колебаний различного характера. Другими словами объем перевозок на транспорте примерно следует за изменением объемов экономической деятельности. По этим причинам спрос, а иногда и предложение, очень изменчивы. Поскольку обе эти величины относительно неэластичны, по крайней мере, в течение короткого промежутка времени, то возможны существенные изменения цены, способные привести к нарушению достигнутого компромисса на рынке транспортных услуг.

В условиях плановой экономики и отсутствия конкуренции потребности в перевозках превышали возможности железнодорожного транспорта. Главной задачей его было удовлетворение этих потребностей (обеспечение вагонами, повышение провозной способности и т. д.). Качество транспортного обслуживания считалось решенной проблемой и до настоящего времени остается на довольно низком уровне.

Технология составления сетевого и дорожных планов формирования не изменилась и по-прежнему ориентирована на средние вагонопотоки, которые существенно меняются по месяцам, дням недели и даже в течение суток.

Стремление направлять грузопотоки по кратчайшим расстояниям приводит к следующим отрицательным явлениям:

- направление вагонопотоков в смежные районы железнодорожной сети через разные сортировочные станции;

- отправление вагонопотоков дальних попутных назначений с соседних сортировочных станций узла;

- использование тепловозных ходов и малорентабельных линий для пропуска транзитного потока при наличии параллельных электрифицированных линий, эксплуатация которых почти в 3 раза дешевле;

- редкое формирование отправительских маршрутов из технических;

- неиспользование возможности ускорения продвижения грузов за счет реализации более высокой массы поезда, отказавшись от кратчайшего пути;

- неиспользование возможности увеличения унифицированной весовой нормы путем формирования тяжеловесных поездов.

Поэтому давно существует проблема компьютерной оперативной корректировки планов формирования, главной целью которой должно стать ускорение продвижения вагонопотоков, а также выделение назначений повышенной транзитности.

Расстояния перевозок на Украине не такие большие, как в России, где грузоотправителям (грузополучателям) почти не остается выбора в использовании вида транспорта. Различная ширина нашей и западноевропейской колеи требует выполнения дополнительных операций (перегрузка, замена тележек), которые ведут к увеличению финансовых и временных затрат. В Украине, не говоря уже о европейских странах, до которых не так далеко, относительно хорошо развиты автомагистральные дороги, поэтому пользователи транспортной продукции все чаще делают свой выбор не в пользу железнодорожного транспорта.

В конкурентных сегментах транспортного рынка максимальный предел железнодорожного тарифа согласно закону Украины «О железнодорожном транспорте» обусловлен стоимостью доставки другими видами транспорта с учетом подвоза, вывоза, перегруза, переоформления перевозочных документов и различий в общих сроках транспортировки, сохранности и уровне сервиса, включая информационное, таможенное обслуживание и другие дополнительные услуги, предоставляемые грузоперевозчиками.

В ходе реформирования железнодорожного транспорта запланировано в соответствии со структурными изменениями провести усовершенствование управления финансами, принципов ценовой и тарифной политики, согласно [2]. Намечается поэтапная либерализация ценообразования и государственного ценового регулирования железнодорожного транспорта, установления двухставочного тарифа (начально-конечные операции и движущая составляющая) с выделением части за пользование инфраструктурой; разработка методов комплексного регулирования тарифов для основных грузопотоков экспортных грузов, формирование условий для создания рынка транспортных услуг и повышения конкурентоспособности операторских и транспортно-экспедиционных компаний на транзитных направлениях и в рамках международных транспортных коридоров.

В целях повышения конкурентоспособности и стабилизации уровня погрузки Укрзализныцей разработан и проведен ряд мероприятий по переключению объемов перевозок грузов на железную дорогу. Создание сети дорожных центров позволило аккумулировать проводимые маркетинговые исследования на дирекциях, проводить единую маркетинговую политику на железных дорогах. Следует отметить, что

формирование стратегии происходило с учетом специфики работы каждой дороги. Основная цель, которая стоит перед каждым отделом маркетинга в сложных условиях затянувшегося реформирования экономики, – удержать целевой рынок традиционных для дороги грузов и освоить новый. Для этого маркетинговыми структурами проводится всесторонний анализ потребностей производителя и потребителя груза, характеристик перевозимой продукции, объемов промышленного производства (включая особенности технологического процесса), размер транспортной составляющей в цене продукции и т. д. Поэтому применение исключительных тарифов стало более обоснованным с точки зрения текущей маркетинговой конъюнктуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України. – К.: НАБЛА, 1998. – 145 с.
2. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту України. – Магістраль № 45, 2006.
3. От двери до двери – без проблем и лишних затрат: новая инициатива УСПП. - Транспорт и логистика № 6, 2006.
4. Музикіна Г. І. Проблема управління вантажними перевезеннями в умовах впливу економічних факторів / Г. І. Музикіна, А. С. Савенко, П. В. Бех // Вісник Академії митної служби України. – 2005. – Вип. 1. – С. 51-57.

Поступила в редакцію 20.09.2007.

В. І. РОМАНКО (ДПТ), І. В. МАЛИШКО (Укрзалізниця)

ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРАЦІ В ГОСПОДАРСТВІ ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

Розглядається продуктивність праці в господарстві електрифікації та електропостачання залізниць України, методи її оцінки та аналіз за 2001-2006 роки.

Рассматривается производительность труда в хозяйстве электрификации и электроснабжения железных дорог Украины, методы ее оценки и анализ за 2001-2006 годы.

The article is considered the productivity of labor in economy of electrification and of electrosupply of Ukrainian railway, it's methods of estimation and analysis for 2001-2006.

Підвищення продуктивності праці в господарстві електрифікації та електропостачання залізниць має велике значення, як для залізничного транспорту, так і для народногосподарського комплексу держави. На залізницях України працює майже 440 тис. чол., у тому числі в господарстві електрифікації біля 14300 чол., що складає близько 3,25 % від загальної чисельності працівників транспорту.

Структура господарства електропостачання складається із 59 структурних підрозділів, у тому числі 6 служб електропостачання, 43 дистанції електропостачання, 6 структурних підрозділів (Енергозбут), є електромеханічні майстерні, будівельно-монтажний поїзд, окремі майстерні залізничі.

Ці данні по галузі вказують на те, що колективи підприємств, окремих структурних підрозділів займаючи близько 3,25 % від загальної чисельності галузі забезпечують значну долю науково-технічного прогресу по транспорту у цілому.

Так, питома вага залізничного транспорту в загальному електроспоживанні по Україні складає приблизно 4,5 %, що складає біля 6027 млрд кВт/год. електроенергії.

Питання розрахунку продуктивності праці в господарстві електрифікації завжди мали певні підходи та особливості. Це пов'язано як з умовами праці працівників галузі в різних підрозділах господарства, так із особливостями переробки електроенергії. З одного боку, працівники галузі повинні підтримувати все устаткування у належному стані з метою подачі електроенергії певного виду в тягову мережу, а з іншого, на цю електроенергію повинен бути попит, тобто, повинні бути поїзди. Якщо їх не буде у достатній кількості, що доказано ще у минулому сторіччі, то і електрифікація не потрібна.

Отже ми будемо розглядати варіант, коли рух поїздів достатній, є певний вантажообіг і електрифікація вантажонапружених дільниць завершена.

Як відомо, основним відокремленим структурним підрозділом галузі електрифікації та енергетики є дистанція електропостачання. В середньому на одній дистанції по Україні колектив складає біля 300 чоловік. Головним завданням дистанції електропостачання є безперебійне забезпечення всіх споживачів електричною енергією високої якості, а також забезпечення нормального функціонування всіх пристроїв та устаткування.

Як відомо, продуктивність праці визначається кількістю продукції, виготовленою робітником в одиницю часу (година, зміна, місяць, рік), або витратами часу, необхідного для виготовлення одиниці продукції. Отже, чим більше продукції виготовляється в одиницю часу, або менше часу витрачається на виготовлення тієї ж кількості продукції, тим вище продуктивність праці. У виробництві будь-якої продукції приймає участь як жива праця (тобто праця робітника), яка витрачається в самому процесі виготовлення продукції, так і опосередкована праця, тобто праця, яка була витрачена на утворення засобів виробництва, необхідних для виготовлення цієї продукції.

В результаті науково-технічного прогресу жива праця призводить до руху все більшу кількість опосередкованої праці. Разом з тим, абсолютна величина витрат живої та опосередкованої праці на одиницю продукції постійно знижується.

На залізничному транспорті України постійно втілюються досягнення науки та техніки в різні підрозділи галузі, у тому числі і в господарство електрифікації, що позитивно відобра-

жається і на продуктивності праці. Так, як що дистанція електропостачання повинна забезпечувати електроенергією тягову мережу, то при цьому повинні бути споживачі цієї електроенергії, - тобто поїзди. Отже, можна стверджувати, що ефективність роботи господарства електрифікації може бути оптимальною, коли ефективно працюють усі галузі залізничного транспорту, та задовольняють потреби народногосподарського комплексу в перевезеннях.

Продуктивність праці у дистанціях електропостачання визначають як відношення кількості технічних одиниць ($N_{\text{т.од}}$) до чисельності працівників дистанції ($Ч_{\text{екс}}$), тобто

$$П_{\text{пр}} = N_{\text{т.од}} / Ч_{\text{екс}} \text{ (т.о./чол.)}$$

Одна технічна одиниця – це кількість технічних засобів, на обслуговування яких треба витратити працю одного працівника за один місяць, тобто 169 годин робочого часу.

Результати продуктивності праці по залізницях України (табл. 1 та табл. 2).

Таблиця 1

**Продуктивність праці по дистанціях електропостачання
т.о./чол., які досягли найвищих показників**

Роки	Найменування дистанцій електропостачання	Продуктивність праці, т.о./чол	Контингент, чол.
2001	Коростень	101,0	243
2002	Херсон	97,5	124
2003	Коростень	86,8	234
2004	Коростень	83,5	244
2005	Луганськ	84,8	105
2006	Івано-Франківськ	73,9	99

Таблиця 2

**Продуктивність праці по дистанціях електропостачання
т.о./чол., які мають найнижчі показники**

Роки	Найменування дистанцій електропостачання	Продуктивність праці, т.о./чол	Контингент, чол
2001	Павлоград	31,0	247
2002	Львів	31,3	347
2003	Красний Лиман	31,1	414
2004	Львів	33,8	349
2005	Львів/Лловайськ	34,0/34,0	349/400
2006	Львів	35	344

Аналіз показників (див. табл. 1, табл. 2) показує, що дистанції електропостачання істотно різняться по контингенту та кількості технічних одиниць, що впливає на рівень продуктивності праці. У зв'язку з цим постає питання про визначення оптимального контингенту по кожній дистанції, відповідно до технічних одиниць, тобто до обсягів необхідної роботи по обслуговуванню контактної мережі, тягових підстанцій та інших пристроїв.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Примаць Т. О. Економіка підприємств. – К.: Вікар, 2006.
2. Економічний справочник залізничника України. - К., 2006.
3. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2000-06 роках. – К., 2006.

Надійшла до редколегії 19.09.2007.

МЕТОДИЧНІ ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБГРУНТУВАННЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ МІЖНАРОДНОГО МАРКЕТИНГОВОГО МЕНЕДЖМЕНТУ АВІАЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Визначена необхідність економічного обґрунтування управлінських рішень, пов'язаних з міжнародним маркетинговим менеджментом авіаційного підприємства, розглядаються методи економічного обґрунтування управлінських рішень, використовуючи економіко-математичне моделювання для побудови оптимізаційних моделей і їх реалізація автоматизованою підсистемою управління «Міжнародний маркетинг авіаційного підприємства» на базі автоматизованої системи управління (АСУ) авіаційним підприємством

Определена необходимость экономического обоснования управленческих решений, связанных с международным маркетинговым менеджментом авиационного предприятия, рассматриваются методы экономического обоснования управленческих решений, используя экономико-математическое моделирование для построения оптимизационных моделей и их реализация автоматизированной подсистемой управления «Международный маркетинг авиационного предприятия» на базе автоматизированной системы управления (АСУ) авиационным предприятием.

The questions of economic ground of administrative decisions are affected, related from by the Marketing management of aviation enterprise, methods are examined economic of administrative decisions, and utilizing mathematical design for constructions of optimization models and their realization automated control the system «Marketing of aviation enterprise» on a base automated control the system (TO THE ACE) by an aviation enterprise.

Постановка проблеми

Розвиток сучасної функції управління міжнародним маркетингом авіаційного підприємства має таке саме важливе значення, як і інша діяльність, пов'язана з операційною, інноваційною, фінансовою, інвестиційною, кадровою, зовнішньоекономічною (в т. ч. експортно-імпортною) системами авіаційного підприємства, неможливий без впровадження різних нововведень (новітніх технологій, удосконалення технічних операційних засобів, управлінських форм і методів господарювання використовуючи новітні наукові досягнення, у т. ч. і науково-технічний прогрес) для прогнозування необхідних умов виробництва конкурентоспроможної продукції (послуг) і її реалізацію на сучасні і перспективні вимоги міжнародного ринку, активного впливу на ринок, стратегічного прогнозування його потреб, стимулювання збуту і формування іміджу авіаційного підприємства.

Прийняття управлінських рішень, необхідних для впровадження міжнародних маркетингових нововведень на авіаційному підприємстві для ефективного його функціонування вимагає розширення його стратегічних міжнародних маркетингових проектів і раціонального використання інвестицій в тому чи іншому міжнародному маркетинговому проекті з необхідним

економічним обґрунтуванням кожного управлінського рішення з врахуванням подолання підприємством економічних ризиків, небезпеки кризових явищ і ситуацій.

Для створення необхідних умов для ефективного використання міжнародних маркетингових нововведень на підприємстві в цілях отримання ним максимального прибутку, необхідно на авіаційному підприємстві впроваджувати автоматизовану систему управління (АСУ) міжнародним маркетинговим процесом «Міжнародний маркетинг авіаційного підприємства» [5].

Виклад основного матеріалу

Успіх впровадження міжнародного маркетингового менеджменту на авіаційному підприємстві залежить від новітніх наукових досягнень, перше всього в Україні, від розвитку її наукового потенціалу і визначення національних стратегічних пріоритетів в міжнародній маркетинговій діяльності, використовуючи досвід промислово розвинутих країн. При цьому варто враховувати те, що вибір багатьох підприємств для виконання різних міжнародних маркетингових проектів, накладає свої особливості на прийняття економічно обґрунтованих управлінських рішень для вибору міжнародної структури, яка зможе створити високоефектив-

ний міжнародний маркетинговий механізм розробки і впровадження міжнародних маркетингових проєктів, враховуючи [1]:

- прогностичну стратегію виконання маркетингового бізнес-плану;
- перспективне і поточне маркетингове бізнес-планування;
- проектування нових виробів (послуг);
- проектування маркетингового операційного процесу;
- реалізацію оновлення маркетингового операційного процесу;
- виробництво конкурентоспроможної продукції (послуг);
- використання інформаційно - телекомунікаційної системи для управління стимулюванням міжнародного збуту продукції (різні види реклами, виставкової діяльності, інструменти внутрішніх та зовнішніх публік рилейшнз, управління торговим персоналом, управління процесом продаж) і управління інформаційно-телекомунікаційним інструментарієм для формування міжнародного іміджу авіаційного підприємства.

Аналізуючи менеджером по міжнародному маркетингу особливості стратегії міжнародних маркетингових систем різних авіаційних підприємств, можна визначити основні етапи формування стратегії розробки і впровадження системи міжнародного маркетингового менеджменту авіаційного підприємства [1, 2, 5].

Знаючи поставлені завдання, цілі, менеджер аналізує і оцінює зовнішнє середовище (товарний ринок, ринок капіталу і ринок праці) вибирає і реалізує стратегічну альтернативу відповідних управлінських рішень. На першому етапі визначає завдання і цілі по конкурентоспроможній продукції, її якості і прибутку, фінансовий стан і інше, на другому - створення стратегії отримання прибутку, оцінюючи існуюче позитивне і негативне становище сьогодення міжнародних систем управління, діяльність персоналу виробництва продукції, стан ринку, техніку і обладнання; принципи міжнародного розподілу прибутку; дослідження структури капіталу, податкової системи та інше; дослідження стратегічних можливостей та економічних ризиків в сферах економічних, технічних, соціальних, політичних, юридичних; на третьому місці - вибір методів дослідження (емпіричних, моделювання та ін.) [2].

Аналіз зовнішнього середовища - це майбутній контроль зовнішніх факторів, відпрацьованих в стратегічному плані, для майбутньої реалізації завдань і цілей, аналізу і оцінки еко-

номічних ризиків і подолання підприємством можливих небезпек міжнародного конкурентного середовища та небезпеки кризових явищ і ситуацій.

Процедура стратегічних досліджень системи міжнародного маркетингового менеджменту наступна [5]:

- в стратегії міжнародної маркетингової операційної системи ведуться пошуки можливості виробництва конкурентоспроможної продукції (послуг) порівняно з конкурентами, товарів на замовлення і інше;
- стратегія міжнародного маркетингового прогнозування процесу виробництва продукції (можливі потужності і технології, операційний ритм, доступ до ресурсів і ін.).

В фінансовій стратегії системи міжнародного маркетингового менеджменту авіаційного підприємства менеджер досліджує наступне: фінансові можливості розробки і впровадження системи міжнародного маркетингового менеджменту в управлінській структурі фінансових відносин (визначення потреб у фінансових ресурсах, основні види фінансування, джерела фінансування та особливості їх отримання: зовнішнє , акціонерне, довгострокове, кредити під заставу обладнання /іпотечний кредит/, відсоткова ставка, інвестиції за допомогою облігацій, акцій і інше); оборотний капітал і його вартість, кредитні можливості, фінансовий контроль, стан ринку капіталу і інше[1, 2, 4, 5].

В міжнародному маркетинговому дослідженні стратегії функціонування системи міжнародного маркетингового менеджменту розглядається:

- стан товарного ринку і конкурентний захист продукції (асортимент та якість продукції /послуг/, дослідження ринкової ціни, міжнародні канали реалізації продукції, пропозиції до і після реалізаційного обслуговування продукції (послуг);
- стан інформаційно-телекомунікаційної системи для створення міжнародного іміджу авіаційного підприємства (різні види реклами, виставкова діяльність, управління стимулюванням збуту, публік рилейшнз та ін.).

Стратегію матеріально-технічним забезпеченням системою міжнародного маркетингового менеджменту авіаційного підприємства менеджер досліджує:

- стратегію технологічного процесу по виробництву та постачанню необхідних матеріалів, запасів сировини та напівфабрикатів - вхідні міжнародного маркетингового менеджменту (X_i і C_i), перетворені міжнародною маркетин-

говою операційною системою авіаційного підприємства на її вихідні-готової продукції (V_i);

- стратегічне забезпечення своєчасної доставки системі міжнародного маркетингового менеджменту авіаційного підприємства всіх видів ресурсів (сировини, матеріалів, комплектуючих виробів, технологічного обладнання, інструментів, транспортних засобів, палива і інше), в обсягах необхідних для нормального функціонування авіаційного підприємства по виробництву необхідної, конкурентоспроможної продукції (послуг) на міжнародному ринку.

Стратегія визначення збутової діяльності і після реалізаційного обслуговування покупців (замовників) виготовленої продукції авіаційного підприємства (як вирішальної стратегії по збуту продукції в існуючій жорсткій конкуренції в міжнародних ринкових відносинах) залежить від:

- масштабів виробництва, обсягів збутової діяльності, кількості та інтенсивності обслуговування покупців і інше;

- досягнення конкурентних переваг авіаційного підприємства, яке повинно запропонувати високоякісну продукцію /послугу/ за привабливою ціною на міжнародному товарному ринку і якому потрібно домогтися того, щоб високоякісні властивості продукції /послуги/ авіаційного підприємства стали відомі багатьом покупцям світу;

- розробки і впровадження системи інформаційно-телекомунікаційного менеджменту (рекламного менеджменту) авіаційного підприємства, спрямованого на ін формування покупців на міжнародному товарному ринку про свою діяльність і про запропоновану свою високоякісну продукцію (послуги), а також на досягнення взаєморозуміння між виробником продукції і суспільством, що формує міжнародний імідж авіаційного підприємства (паблік релейшнз) і інше.

Стратегія прогнозування економічного обґрунтування управлінських рішень здійснюється для забезпечення стратегічних процесів всього планування міжнародної маркетингової діяльності авіаційного підприємства, з визначенням майбутніх змін міжнародного товарного ринку, ринку капіталу і ринку праці, виходячи з аналізу минулого, теперішнього і майбутнього їх стану та маючи мету міжнародного маркетингового розвитку підприємства, з врахуванням динаміки росту різноманітних факторів, пов'язаних з виконанням міжнародного маркетингового бізнес-плану.

Планування підприємством для розробки і

реалізації високоефективних міжнародних маркетингових. проектів є довгострокове (стратегічне прогнозування) - до 10 років і більше, перспективне-п'ятирічний період, поточне - до одного року (уточнює терміни виконання управлінських рішень по плануванню виконання міжнародних маркетингових проектів) і оперативне (деталізує виконання міжнародних управлінських рішень поквартального і місячного планування).

На основі довгострокового, стратегічного прогнозування розробляються і здійснюються перспективне, поточне і оперативне планування, як єдина система міжнародного бізнес-планування авіаційним підприємством для розробки і реалізації міжнародних маркетингових проектів.

В прогнозній стратегії виконання міжнародного маркетингового бізнес-плану входять наступні основні етапи:

- на основі всесторонніх досліджень визначення стратегії виконання міжнародного маркетингового бізнес-плану на термін більше 5-ти років;

- реалізація методів прогнозування, використовуючи економіко-математичне моделювання для побудови оптимізаційних моделей на основі обробки зібраної достовірної інформації експертних оцінок;

- аналіз і використання оптимальних варіантів для виконання міжнародного маркетингового бізнес-плану, що передбачає найсуттєвіші особливості стратегії операційної системи в прогнозуванні виробничої діяльності в нових умовах функціонування, в системі матеріально-технічного забезпечення та управління збутом продукції, в системі матеріально-технічних запасів споживання в операційній інфраструктурі (ремонтні, інструментальні, енергетичні, транспортні, складські і інші структури).

До п'ятирічного планування для виконання міжнародного маркетингового бізнес-плану відносяться наступні основні етапи:

- планування по удосконаленню ефективних показників розробки і впровадження міжнародних маркетингових проектів за рахунок впровадження більш новітніх технологій і корегування змін в досягненнях науково-технічного прогресу;

- визначення етапів і основних розділів міжнародного маркетингового проекту (терміни розробки і завершення нової операційної системи, терміни установки обладнання, постачання комплектуючих матеріалів, притоку міжнародних інвестицій і іншого з конкретною дета-

лізацією розподілу по рокам і кварталам);

- забезпечення отримання прибутку авіаційним підприємством від використання міжнародного маркетингового менеджменту в більш прибуткові проекти матеріально-технічного забезпечення для своєчасної доставки всіх видів ресурсів (сировини, матеріалів, комплектуючих виробів, технологічного обладнання, інструментів, транспортних засобів, палива, тепло-електроенергії і іншого, що в значній мірі відображає стадію планування технологічного процесу виробництва та постачання матеріалів, сировини та напівфабрикатів - вхідні міжнародного маркетингового процесі (X_i та C_i), перетворені новою операційною системою на її вихідні – нову готову продукцію (Y_i), а також планування збутом продукції з використанням міжнародних інформаційно-телекомунікаційної системи для створення міжнародного іміджу авіаційного підприємства;

- зменшення ризиків інвестування за рахунок збільшення кількості міжнародних інвесторів і зменшення часу на використання міжнародних інвестицій (кругообіг інвестицій).

Поточне (оперативне) планування відображає і реалізує показники довгострокового, перспективного планування і вирішує конкретні питання теперішнього часу впровадження міжнародних маркетингових проектів з врахуванням більш ефективних маркетингових показників у відповідності з міжнародним маркетинговим бізнес-планом.

План розробки і впровадження міжнародних маркетингових проекту для оновлення підприємства є детальний, узгоджений у часі з виконавцями-розробниками міжнародних проектів і міжнародними фінансовими структурами документ - комплексний міжнародний маркетинговий проект, спрямований на конкретне досягнення мети - отримання прибутку від реалізації нової конкурентоспроможної продукції (послуг), а також збуту нової продукції (послуг), використовуючи. внесений в комплексний міжнародний маркетинговий проект виконавцями-розробниками міжнародного маркетингового проекту більш досконалу інформаційно-телекомунікаційну систему для створення міжнародного іміджу авіаційному підприємстві в системі міжнародного маркетингового менеджменту авіаційного підприємства.

Прийняття економічно обґрунтованих управлінських рішень для проведення науково-дослідних розробок і впровадження комплексного міжнародного маркетингового техніко-економічного проекту авіаційного підприємст-

ва пов'язані з [2, 3, 4]:

- пошуками виконавців розробки і впровадження комплексного міжнародного маркетингового проекту авіаційного підприємства, з розробкою автоматизованої системи міжнародного маркетингового менеджменту підприємства, використовуючи наукову організацію раціонального підбору працівників проектних, науково-дослідних організацій по принципу конкурсної експертизи на основі експертних оцінок висококваліфікованих спеціалістів (X_i та C_i) з обробкою достовірної статистичної інформації, використовуючи методи математичного моделювання для побудови статистичної оптимізаційної моделі і отримання оптимізаційних результатів (Y_i);

- розробкою комплексного міжнародного маркетингового проекту, застосовуючи техніко-економічний аналіз оцінки варіантів управлінських рішень, використовуючи систему показників (X_i та C_i) і їх реалізацію оптимальними управлінськими рішеннями (Y_i) (детальна розробка техніко-економічної документації міжнародної маркетингової системи, оцінка ефективності впровадження кожної складової міжнародної маркетингової системи, соціально-економічні і екологічні наслідки від реалізації комплексного міжнародного проекту, його маркетингового забезпечення, планові показники проектно-кошторисної документації міжнародної маркетингової системи, а також визначення чітких варіантів механізму реалізації комплексного міжнародного маркетингового проекту з очікуваними реальними показниками функціонування авіаційного підприємства та ін.).

Розробка і впровадження АСУ «Міжнародний маркетинговий менеджмент» необхідна для функціонування в оптимальному (автоматизованому) режимі усіх систем підприємства для економічного обґрунтування управлінських рішень в системі міжнародного маркетингового менеджменту, використовуючи економіко-математичне моделювання для побудови оптимізаційних моделей і їх реалізація підсистемою АСУ «Міжнародний маркетинговий менеджмент авіаційного підприємства».

Методична основа обґрунтування управлінських рішень, пов'язаних з системою міжнародного маркетингового менеджменту авіаційного підприємства необхідна для оцінки вибору оптимальних варіантів управлінських рішень, для визначення яких необхідно зібрати показники управлінської діяльності міжнародного маркетингового менеджменту авіаційного під-

приємства (достовірну статистичну техніко-економічну інформацію), використовуючи експертні оцінки менеджерів високої фахової підготовки.

На основі зібраного масиву достовірної техніко-економічної інформації будується статистична оптимізаційна модель показників економічного обґрунтування управлінських рішень в системі міжнародного маркетингового менеджменту авіаційного підприємства.

Статистична оптимізаційна економіко-математична модель показників економічного обґрунтування управлінських рішень в системі міжнародного маркетингового менеджменту - це набір техніко-економічних параметрів системи, об'єднаних в єдине ціле регресійними рівняннями.

Внаслідок проведення багатофакторного регресійного аналізу (визначення коефіцієнтів регресії, залишкову дисперсію, відсів незначних параметрів рівняння регресії, використовуючи багатоступеневий аналіз та ін.) одержуємо оптимальні значення показників від впровадження управлінських рішень, пов'язаних з системою міжнародного маркетингового менеджменту авіаційного підприємства, на основі реалізації алгоритмів визначення їх оптимальних варіантів на комп'ютерній техніці по економіко-математичній моделі. Одержання прогнозних (реальних) приростних оцінок прибутку і іншого, з врахуванням якісних показників продукції (послуг) проводиться економічне обґрунтування впровадження управлінських рішень, пов'язаних з міжнародним маркетинговим менеджментом авіаційного підприємства в умовах подолання авіаційним підприємством економічних ризиків, небезпеки кризових явищ і ситуацій.

Висновки

Впровадження економічно обґрунтованих управлінських рішень в систему міжнародного маркетингового менеджменту авіаційного підприємства створює необхідні умови для одержання належного прибутку на авіаційному підприємстві.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Азарян Е. М. Международный маркетинг. – К.: ИСМО МО Украины, НВФ «Студцентр», 1995. - 668 с.
2. Багиев Г. Л. Международный маркетинг. / Г. Л. Багиев, Н. К. Моисеева, С. В. Никифоров; СПб-М.-Харьков- Мн., 2001. – 368 с.
3. Дахно І. І. Міжнародна торгівля. - К.: МАУП, - 2003. - 426 с.
4. Управління зовнішньоекономічною діяльністю / Під заг. ред. А. І. Кредісова) – К., ВІРА-Р «АЛЬТЕРПРЕС»-2000.-448 С.
5. Циганкова Т. М. Управління міжнародним маркетингом. - К.: КНЕУ, 2001. – 426 с.

Надійшла до редакції 15.10.2007.

УПРАВЛІННЯ АЕРОПОРТАМИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Розглянуто значення аеропорту як частини авіаційної транспортної системи. Виконано аналіз структур управління аеропортами. Названі макроекономічні показники, що впливають на авіаційні перевезення.

Рассмотрено значение аэропорта как части авиационной транспортной системы. Выполнен анализ структур управления аэропортами. Названы макроекономические показатели, влияющие на авиационные перевозки.

The value of air-port is considered as parts of the aviation transporting system. The analysis of structures of management by air-ports is executed. Macroeconomic indexes influencing on air transportations are adopted.

Постановка проблеми

В сучасних умовах переходу до ринкової економіки аеропортам, як складової частини інфраструктури повітряного транспорту в державної політиці в галузі авіаційної діяльності відведене дуже важливе місце. Стійке та ефективне функціонування аеропортів є необхідною умовою забезпечення цілостності, національної безпеки країни, підвищення рівня життя населення. На сьогоднішній час на Україні активно проводиться структурна перестройка суб'єктів авіаційно-транспортної системи громадянської авіації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналізуючі останні наукові дослідження та публікації можна відзначити зацікавленість в вивченні світового та вітчизняного досвіду управління аеропортами в сучасних умовах. Сьогодні проблемам розвитку та розробці ефективних форм управління аеропортами приділяється дедалі більше уваги. Ґрунтовного висвітлення ці питання знайшли в роботах Кулаєва Ю. Ф., Запорожця В., Шматько М. та інших дослідників цієї сфери.

Мета статті

Головною метою статті є визначення значення аеропорту як частини авіаційної транспортної системи, яка забезпечує зліт і посадку повітряних суден та їх наземне обслуговування, прийом і відправлення пасажирів, багажу, пошти і вантажів, а також створює необхідні умови для функціонування авіакомпаній, державних органів регулювання авіаційної, митної та іншої діяльності, сприяє діловій активності, спрямованій на поліпшення рівня обслуговування пасажирів і забезпечення економічної стабільності аеропорту.

Виклад основного матеріалу

Транспорт є однією з найважливіших галузей суспільного виробництва і покликаний задовольняти потреби населення та суспільного виробництва в перевезеннях.

Розвиток і вдосконалення транспорту здійснюється відповідно до державних цільових програм з урахуванням його пріоритету та на основі досягнень науково-технічного прогресу і забезпечується державою.

Єдину транспортну систему України становлять:

- транспорт загального користування (залізничний, морський, річковий, автомобільний і авіаційний, а також міський електротранспорт, у тому числі метрополітен);

- промисловий залізничний транспорт;
- відомчий транспорт;
- трубопровідний транспорт;
- шляхи сполучення загального користування.

До складу авіаційного транспорту входять підприємства повітряного транспорту, що здійснюють перевезення пасажирів і вантажів, аерофотозйомки, сільськогосподарські роботи, а також аеропорти, аеродроми, аероклуби, транспортні засоби, системи управління повітряним рухом, навчальні заклади, ремонтні заводи цивільної авіації та інші підприємства, установи та організації незалежно від форм власності, що забезпечують роботу авіаційного транспорту [1].

Аеропорт є вигідним пунктом залучення великої кількості багатопрофільних підприємств, численних фірм і корпорацій регіону, що інтенсивно входять у світовий ринок [2].

Сучасний аеропорт має перш за все задовольняти потреби населення України та інших держав у авіаційних послугах, гарантувати експлуатантом повітряного транспорту – пасажирам, клієнтурі, орендарям, концесіонерам та

іншим – рівні можливості щодо надання послуг, а також «ефективно експлуатувати і розширювати виробничі потужності відповідно до потреб авіатransпортного ринку за умови забезпечення життя, здоров'я, майнових інтересів користувачів, дотримання чинних вітчизняних і міжнародних умов, норм, правил функціонування аеропорту [3].

Україна має у своєму розпорядженні розгалужену мережу аеропортів, що розміщені на всій території, відповідно до існуючого структурою продуктивних сил і регіональних потреб зміцнення міжнародних зв'язків з іншими країнами. Особливо необхідно відзначити, що Україна розташована на перетинанні світових транспортних зв'язків. Мережа аеропортів України нараховує 37 аеропортів, що виконують авіаційні перевезення [4].

Сюди включені і колишні військові, і заводські аеродроми, що займаються, в основному, вантажними перевезеннями. З цієї кількості 29 аеропортів функціонують як самостійні підприємства, 1 – структурний підрозділ більш великого аеропорту, 2 – у складі авіакомпаній і 5 є підрозділами великих підприємств інших галузей.

Із загальної кількості аеропортів:

8 – знаходяться в державній власності: Бориспіль, Львів, Запорозжя, Заводське, Бердянськ, Северодонецьк, Сокольників, Антонов;

21 – у комунальній: Донецьк, Київ (Жуляни), Одеса, Сімферополь, Вінниця, Ізмаїл, Керч, Кіровоград, Кривої Ріг, Луганськ, Миколаїв, Полтава, Рівне, Суми, Тернопіль, Ужгород, Харків, Херсон, Хмельницький, Чернівці;

8 – у колективній (ТОВ): Дніпропетровськ, Джанкой, Івано-Франківськ, Краматорськ, Лиманское, Маріуполь, Озерне, Севастополь, Черкаси.

Зараз більшість польотів зорієнтовано на Державний міжнародний аеропорт «Бориспіль», який поступово перетворюється на аеропорт-хаб європейського типу. Передбачається подальший розвиток цього аеропорту, у т. ч. реалізація проекту з будівництва нового пасажирського терміналу з сучасним обладнанням.

Згідно укладених двосторонніх угод між Міністерством транспорту України та обласними державними адміністраціями з питань подальшого розвитку внутрішніх авіаперевезень значно активізувалась робота з модернізації усіх аеропортів. 2003 рік Мінтрансу оголошено як «рік аеропортів». З допомогою місцевих адміністрацій заплановано оновити будівлі аеровокзалів, здійснити заходи з технічного переозброєн-

ня аеродромних комплексів. В першу чергу це стосується питань безпеки польотів, покращання обслуговування авіапасажирів, збільшення обсягів перевезень для забезпечення самофінансування аеропортів в подальшому [5].

Найбільші міста України мають по два аеропорти: в Києві – це «Бориспіль» і «Київ» (Жуляни), в Одесі – «Центральний» і «Застава», в Сімферополі – «Сімферопольський» і «Заводський».

Державний міжнародний аеропорт «Бориспіль» – це багатoproфільне підприємство, що об'єднує роботу понад 50-ти різних служб (пасажирські та вантажні авіаперевезення, сервісно-технічна служба, організаційна та ін.), спрямованих на виконання основної функції аеропорту – надання послуг з обслуговування пасажирів і рейсів авіакомпаній. Державний міжнародний аеропорт «Бориспіль» надає послуги авіаційним компаніям, пасажирам та іншим клієнтам в авіаційній та неавіаційних сферах діяльності, забезпечуючи регулярність та безпеку польотів [6].

Перспектива аеропорту «Бориспіль» полягає в тому, щоб стати головним транзитним аеропортом Східної Європи, який забезпечив би якісне обслуговування зростаючого потоку літаків і пасажирів між Західною і Східною Європою, Азією, Японією, Америкою. Місія аеропорту полягає і в найбільш повному задоволенні клієнтів (авіакомпаній, пасажирів), і в розвитку економіки України. [7]

На відстані 8 км від центру Києва, практично в межах міста розташований муніципальний аеропорт «Київ» (Жуляни). Це дає можливість в термін 2-3 години дістатись з кожної області до столиці України, державних та ділових установ. Біля аеропорту проходять головні залізничні та автомобільні магістралі, що дає можливість за лічені хвилини дістатись до залізничного вокзалу та за незначний час – до аеропорту «Бориспіль». Керівництво аеропорту приділяє великої уваги створенню сприятливих умов для діяльності ділових осіб, невеликих туристичних груп, бізнес-польотів, поштових перевезень. Цим воно прагне внести свій вклад у розвиток економіки міста і держави в цілому. Послугами аеропорту користується Авіаційний ремонтний завод 410 цивільної авіації, авіаційні підрозділи Прикордонних військ, Міністерства внутрішніх справ та Міністерства оборони України. Станом на сьогодні проведена робота по ремонту та реконструкції частини аеровокзального комплексу, що дало змогу поліпшити якість і підвищити рівень обслуговування па-

сажирів[8]. Аеропорт має можливості у розширенні мережі бізнес-польотів, подальшому розвитку інфраструктури для надання додаткових послуг представництвом авіакомпаній, туристичним агентствам, населенню та гостям міста.

Аеропорт, як частина авіаційної транспортної системи, має певну організаційну структуру управління.

Структурі апарату управління аеропортом підпорядкована сукупність управлінських підрозділів і їхні організаційні взаємовідносини.

Організаційна структура управління виробничими підрозділами аеропорту повинна забезпечувати[3]:

- відображення змісту діяльності підрозділів аеропорту як об'єкта управління і основних елементів управління – цілей, принципів, методів, функцій, етапів, стадій прийняття і реалізації рішень;

- гнучкість, відповідність змінам, що відбуваються в об'єкті управління і зовнішньому середовищі, – появи нових цілей, розширенню виконуваних функцій;

- концентрацію однорідних управлінських функцій — зосередження видів робіт, пов'язаних із визначенням стратегії розвитку аеропорту і авіаперевезень (планово-регульовальних функцій), переважно на верхніх щаблях управління;

- спеціалізацію нижчих рівнів структури з метою оперативного управління трудовими процесами;

- концентрацію прав і відповідальності під час вирішення кожного конкретного управлінського завдання за рахунок раціонального перерозподілу компетенції на кожному рівні управління «по горизонталі» і фіксування повноважень «по вертикалі», тобто дотримання принципу персоніфікації відповідальності;

- зосередження повноважень і відповідальності на тому рівні управління, на якому є вся необхідна інформація для прийняття рішень щодо керівництва певним комплексом робіт;

- виконання всього комплексу функцій управління виробничим підрозділом аеропорту при мінімізації їх дублювання різними підрозділами;

- оптимізацію кількості щаблів в ієрархії управління;

- рівномірність навантаження на апарат управління і його окремі ланки, зчленування різноманітних видів робіт, що усувають різні перешкоди, за рахунок розподілу функцій між структурними розподілами.

Структура управління аеропортом може бу-

ти розподілена на управління персоналом і управління службами. Суть цих двох функцій управління для різних аеропортів може бути неоднакова.

Відділення персоналу здійснює адміністративне керівництво колективом аеропорту і відповідає за прийняття рішень, які кардинально впливають на всю організацію.

Відділення служб контролює щоденне функціонування аеропортової інфраструктури. Порівняно з відділенням персоналу воно потребує великої кількості співробітників. Засоби, з допомогою яких відділення персоналу і служб інформують адміністрацію аеропорту, теж суттєво відмінні для різних аеропортів.

В роботах В. Запорожця [3] та Ю. Ф. Кулаєва [9] розглянути три характерні структури управління аеропортом:

а) підрозділи персоналу інформують адміністрацію аеропорту;

б) підрозділи персоналу безпосередньо не підпорядковані адміністрації;

в) підрозділи персоналу та служб безпосередньо підпорядковані директору.

Наведемо ці структури управління схематично на рис. 3.

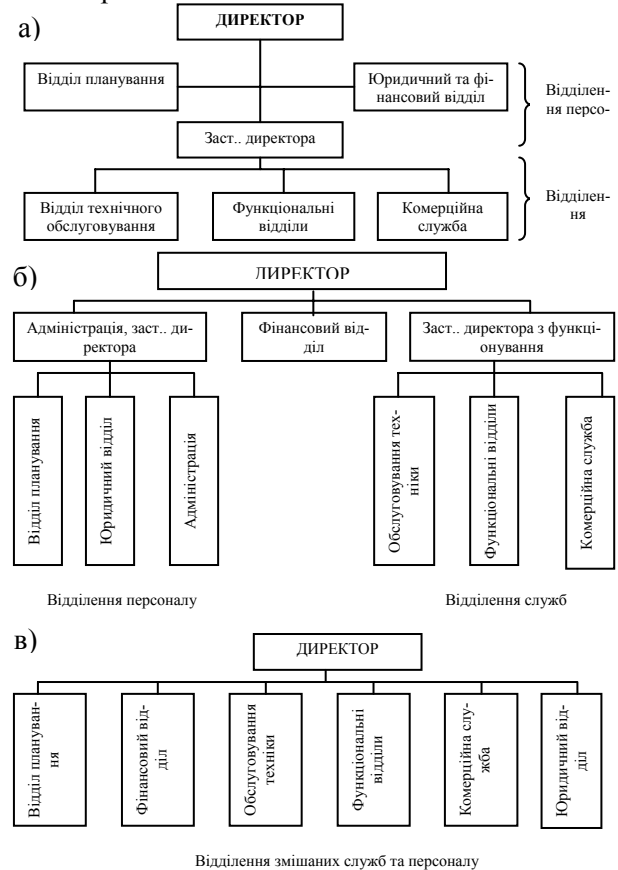


Рис. 3 Схема розташування відділень персоналу та служб в структурі адміністрацій аеропортів

Перша структурна (рис. 3, а) припускає, що підрозділи відділення персоналу безпосередньо інформують адміністрацію аеропорту. Така структура є бажаною для великих аеропортів, оскільки вона створює ситуацію, за якої адміністрація приймає основні рішення з управління, хоча і не бере безпосередньої участі у прийнятті щоденних оперативних рішень.

Друга структура (рис. 3, б) передбачає, що відділення персоналу безпосередньо не підпорядковані адміністрації і здійснюють свою діяльність самостійно. Метою відокремлення функцій персоналу підрозділів зі сфери безпосередньої діяльності адміністрації аеропорту є забезпечення більших можливостей керівника адміністрації у вирішенні фундаментальних завдань.

У третій структурі (рис. 3, в) відділення персоналу і служб безпосередньо інформують директора аеропорту. Це є нормальною ситуацією для невеликих аеропортів, у яких функції персоналу прості, а адміністрація бере безпосередню участь у щоденному управлінні аеропортом.

При формуванні структури управління аеропортами необхідно враховувати

- форму власності аеропортів;
- функції аеропортів;
- географічне положення аеропортів;
- показники фінансової діяльності;
- види та об'єми перевезень;

Діяльність аеропортів безпосередню пов'язана з діяльністю авіакомпаній в цілому. Відставання (диспропорція) в розвитку аеропортів може стримувати стратегічний розвиток авіакомпаній. Для обґрунтування передумов подальшого розвитку підприємств авіаційного транспорту, визначено три ключових макроекономічних показника, які безпосередньо впливають на зростання обсягів авіаційних перевезень: зростання доходів населення; розширення міждержавних економічних відносин; розвиток етнічних зв'язків. При цьому розвиток підприємств авіаційного транспорту відбувається за кількома напрямками: розвиток авіакомпаній, розвиток аеропортів, розвиток підприємств аеронавігаційного обслуговування та розвиток підприємств вітчизняної авіаційної промисловості. Разом з тим, зростання обсягів перевезень, в тому числі транзитних, розвиток нових маршрутів та збільшення зручних стиковок, в свою чергу, потребують розвитку обласних та регіональних аеропортів, їх технічної та технологічної модернізації у відповідності до міжнародних стандартів, тісної взаємодії між аеропортами. При цьому ефективно функціону-

вання аеропортів можливе за умови зростання обсягів авіаперевезень та досягнення рівня надходжень, достатніх для покриття поточних витрат, а також розвитку інфраструктури. В той же час розвиток обласних аеропортів можливий за умови випереджального розвитку внутрішніх авіаперевезень. Розвиток авіаційної промисловості передбачає широке застосування лізингових схем, в першу чергу, для вітчизняних авіаперевізників. Вказані напрями та взаємозв'язки дають змогу в комплексі визначити необхідність скоординованого розвитку авіакомпаній, аеропортів, аеронавігаційного обслуговування та підприємств авіаційної промисловості [10].

Висновки

Сьогодні авіаційні підприємства змушені працювати в умовах, що характеризуються високим рівнем невизначеності зовнішнього середовища. Орієнтація економічного механізму оперативного управління на забезпечення ефективної роботи підприємства в цих умовах припускає, що управлінські рішення, прийняті в будь-якій сфері діяльності підприємства, повинні обов'язково розглядатися й одержувати оцінку з погляду їхнього впливу на економічну безпеку підприємства як у даний час, так і в перспективі. Організація управління сучасним авіатранспортним підприємством, що працює в ринковому середовищі, повинна передбачати добре організований процес адаптації, що забезпечує швидку й адекватну перебудову його внутрішньої структури до впливів зовнішнього середовища [11].

Важливим напрямом в розвитку цивільної авіації є оновлення парку літаків сучасними повітряними суднами, а також ремонт та побудова нових аеровокзалів, що забезпечують можливість польотів українських авіаперевізників в країни Європи, Північної Америки, Азії. Україна, як відомо, знаходиться на перетині двох континентів, які в свою чергу є одними з найвагоміших у світі. Це дає нам колосальні перспективи розвитку. Правильно організована робота може давати небачені прибутки не лише державі, а й населенню. То ж якщо розвивати та далекоглядно підходити до справи розвитку авіації, Україна не лише стане економічно багатшою, а й значно покращить свій вплив та авторитет в міжнародній спільноті. Ремонт старих та побудова нових аеропортів дасть змогу країні покращити своє внутрішньодержавне становище авіації. Також не потрібно забувати про те, що в економіці все взаємопов'язане, тому при підвищенні стану авіаційної галузі зросте і загальний

стан транспорту, і все це буде мати вагомий вплив на економіку держави. Розвиток інфраструктури має дуже вагомий вплив на загальний економічний стан країни. І постійно необхідно шукати шляхи до її підняття, і невинно її розвивати. Адже авіація – один з основних критеріїв, за яким визначають загальний економічний та розумовий рівень розвитку країни.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Про транспорт_ від 10.11.1994 № 232_94-вр.htm.
2. Аль Шаханба Ібрагім Абдель Хафіз. Ефективність сталого розвитку авіапідприємств. Автореферат. – К., 2006.
3. Запорожець В. Аеропорт: організація, технологія, безпека / В. Запорожець, М. Шматько. – К.: Дніпро, 2002. - 168 с.
4. 28-а Московська міжнародна конференція «Стратегія управління аеропортами». Аеропорт партнер № 3-4. 2005.
5. Про авіаційний транспорт України. Міністерство транспорту та зв'язку України. –2003.
6. Державний міжнародний аеропорт Бориспіль. Адміністрація аеропорту. – 2004.
7. Робота та організація аеропорту Бориспіль. Адміністрація аеропорту. – 2004.
8. Аеропорт «Київ» (Жуляни). – Офіційний Інтернет-сайт.
9. Кулаев Ю. Ф. Экономика гражданской авиации Украины. Монография. – К: Феникс. 2004. – 667 с.
10. Садловська І. П. Формування стратегії економічного розвитку авіатранспортних підприємств спеціальність. Автореферат. – К., 2004.
11. Парій В. М. Формування економічного механізму оперативного управління аеропортом. Автореферат. – К., 2006.

Надійшла до редколегії 27.07.2007 .

Наукове видання

В І С Н И К

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

Випуск 19

Українською, російською та англійською мовами

Відповідальний за випуск *І. П. Корженевич*
Комп'ютерна верстка *Я. І. Заїц, Т. В. Шевченко*

Статті в збірнику друкуються в авторській редакції

Здано до набору 25.12.2007. Підписано до друку 25.12.2007. Формат 60×84 1/8.

Папір офсетний. Друк офсетний. Умов. друк. арк. 29,04.

Обл.-вид. арк. 30,61. Тираж 100 прим. Зам. № 1983. Вид. № 107.

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.diiitrvv.dp.ua, admin@diiitrvv.dp.ua