

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ



ВІСНИК

Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 38

2011

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

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

За загальною редакцією проф. О. М. ПШІНЬКА

Засновано в 2003 році

Випуск 38

Дніпропетровськ
2011

УДК 625.1+626.2

ББК 39.2

В 53

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

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна від 31.05.2011 р., протокол № 12

Редакційна колегія:

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

Члени редакційної колегії:

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

Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 38. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2011. – 305 с.
ISSN 1993-9175

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

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

УДК 625.1+626.2
ББК 39.2

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

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

ISSN 1993-9175

© Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн.
трансп. ім. акад. В. Лазаряна, оригінал-макет, 2011

ЗМІСТ

ГАЛУЗЬ ТЕХНІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ»

Е. П. БЛОХИН, Л. В. УРСУЛЯК (ДИИТ), Я. Н. РОМАНЮК (ПКТБ АСУ УЗ, Киев) ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ДЛИННОСОСТАВНЫХ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ	7
С. А. КОСТРИЦЯ, Б. М. ТОВТ (ДІТ) ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕСУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАНУВАЛЬНИКА БАЛАСТНОЇ ПРИЗМИ СПЗ-5/UA	17
В. А. ПОЛЯКОВ, Н. М. ХАЧАПУРИДЗЕ (Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, Днепропетровск) ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА.....	24
Н. А. РАДЧЕНКО (ИТСТ, Трансмаг НАН Украины), О. В. ЗВОНАРЕВА (ДИИТ), Т. И. КУЗНЕЦОВА (ИТСТ, Трансмаг НАН Украины) О ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТАХ ОЧЕРТАНИЯ ПУТЕВЫХ КОНТУРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ С ПЛОСКОЙ ПУТЕВОЙ СТРУКТУРОЙ	30
В. Г. СОЛОНЕНКО, Ж. С. МУСАЕВ, А. Н. НЕМАСИПОВА (Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, Алматы, Казахстан) ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА «TALGO» НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН.....	32

РОЗДІЛ «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ»

В. И. БОБРОВСКИЙ, А. И. КОЛЕСНИК, А. С. ДОРОШ (ДИИТ) ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАНА СОРТИРОВОЧНЫХ ПУТЕЙ	35
Л. М. ЛУБЕНСКАЯ, П. В. КОЛОДЯЖНЫЙ (ВНУ им. В. Даля, Луганск) ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЗА СЧЕТ УПРОЧНЕНИЯ ИХ ПОВЕРХНОСТИ	41
В. В. МЯМЛИН, С. В. МЯМЛИН (ДИИТ) МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПОТОКА ДЛЯ РЕМОНТА ВАГОНОВ КАК МУЛЬТИФАЗНОЙ ПОЛИКАНАЛЬНОЙ МНОГОПРЕДМЕТНОЙ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ	47
Є. В. НАГОРНИЙ (ХНАДУ, Харків), А. М. ОКОРОКОВ, Г. І. ПЕРЕСТА (ДІТ) ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАНТАЖОВЛАСНИКІВ У ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛАХ	58

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ»

В. М. БЕЗРУЧЕНКО, О. А. ХОРОШКО (ДІТ) ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ТА ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ.....	63
Д. С. БЛУХІН (ДІТ) ОТРИМАННЯ СТІЙКИХ АВТОКОЛИВАНЬ В СИСТЕМІ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ КІЛ ЕЛЕКТРОВОЗА ВЛ8	68
В. А. БРАТАШ, Т. И. ЕФИМОВА, Ю. В. ПОВОЛОЦКАЯ (Днепропетровский НПК «Электровозостроение») ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗГРУЗОК (ДОГРУЗОК) КОЛЕС И ПРОГИБОВ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ЧЕТЫРЕХОСНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ДСЗ С ТЯГОВОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ВТОРОГО РОДА ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИЛ ТЯГИ ОТ ТЕЛЕЖЕК К КУЗОВУ ПРИ ПОМОЩИ НАКЛОННЫХ ТЯГ	73

С. М. ГОЛІК (ДІТ) ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОЗРАХУНКІВ, ЩО ҐРУНТУЮТЬСЯ НА ВИКОРИСТАННІ УНІВЕРСАЛЬНОЇ МАГНІТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ	79
Ю. П. ГОНЧАРОВ, Н. В. ПАНАСЕНКО, В. В. ЗАМАРУЄВ, В. В. ИВАХНО, С. Ю. КРИВОШЕЕВ, Ю. В. ЧУРСИНА, Н. В. ДАНИЛОВ (НТУ «ХПИ», Харьков), В. Г. СЫЧЕНКО, В. Ю. ИВАНОВ (ДИИТ) СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПИТАНИЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ЗВЕНОМ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	82
О. О. КАРЗОВА (ДІТ) МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ УСТАВКИ СПРАЦЬОВУВАННЯ АПАРАТІВ ЗАХИСТУ ВІД КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ У СИЛОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ	90
О. С. КУЧМІЙ, О. М. БОГУТЕНКО (ДІТ) НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ.....	95
П. Є. МИХАЛІЧЕНКО, М. О. КОСТІН (ДІТ) МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ В ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ ЇЇ РОБОТИ. 1. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	99
Т. М. МІЩЕНКО (ДІТ) МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ЗМІННОГО СТРУМУ «ТЯГОВА МЕРЕЖА – ЕЛЕКТРОВОЗ». 3. ВМІКАННЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЕЛЕКТРОВОЗА В РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ; АНАЛІЗ НАПРУГ І СТРУМІВ У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	105
В. Г. СИЧЕНКО (ДІТ) МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	110

РОЗДІЛ «ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ»

М. Б. КУРГАН, О. С. ЧЕРНИШОВА (ДІТ) ДОДАТКОВІ ВИТРАТИ ЗАЛІЗНИЦІ ПРИ ВИНИКНЕННІ ОБМЕЖЕНЬ ШВИДКОСТІ РУХУ НА КРУТИХ ЗАТЯЖНИХ ПІДЙОМАХ	114
К. В. МОЙСЕЄНКО (ДІТ) ВПЛИВ ДОВЖИНИ ПРЯМОЇ ВСТАВКИ НА ДОПУСТИМІ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ СУМІЖНИМИ СТРІЛОЧНИМИ ПЕРЕВОДАМИ, УКЛАДЕНИМИ ЗА ПЕРШОЮ СХЕМОЮ	117
В. В. РИБКІН, О. М. БАЛЬ, І. О. БОНДАРЕНКО (ДІТ) АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ	127

РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»

Д. О. БАННИКОВ (ДИИТ), А. Э. ГУСЛИСТАЯ (ГВУЗ «ПГАСА», Днепропетровск) КОРРЕКТИРОВКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЙ ПО МКЭ МЕТОДОМ HSS	134
Н. В. ЗУЕВСКАЯ (НТУУ «КПИ», Киев), С. А. ДВОРНИК, В. Е. ГУБАШОВА (СП «Основа-Солсиф»), Ю. В. ВОЛЫК (НТУУ «КПИ», Киев) ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ГЛУБОКИХ ВЫЕМОК	142
І. І. КИРПА, А. О. ГРИНИШИН (ДІТ) ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МІЖПОВЕРХОВОГО ПЕРЕКРИТТЯ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО РІШЕННЯ.....	148
А. В. КРАСНЮК, Т. В. УЛЬЧЕНКО (ДІТ) МОДУЛЬНА СИСТЕМА ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРИ ВИВЧЕННІ НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ СТУДЕНТАМИ ТЕХНІЧНИХ ВНЗ.....	153
А. В. НІКОЛАЙЧУК (ТОВ «Гідрозахист»), І. П. ГАМЕЛЯК (НТУ, Київ), А. С. ЛИТВИНЕНКО (ДерждорНДІ, Київ), І. В. ЛЯХОВИЙ (Південно-Західна залізниця України, Київ), Г. В. ЖУРБА (ТОВ «Євроізол-Geosynthetics») ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БАЛАСТНОЇ ПРИЗМИ НА СЛАБКІЙ ОСНОВІ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ.....	157

Ю. Я. ПОПУДНЯК, Т. В. УЛЬЧЕНКО, А. С. ЩЕРБАК (ДІТ) НАБЛИЖЕНІ РОЗГОРТКИ СФЕРИ.....	162
А. П. ПРИХОДЬКО, Т. М. ПАВЛЕНКО, А. Р. АББАСОВА (ПГАСА, Днепропетровск) ВИБРОВАКУУМИРОВАННЫЕ ШЛАКОЗОЛОБЕТОНЫ И ЗОЛОБЕТОНЫ.....	165

РОЗДІЛ «ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ»

Н. Н. БЕЛЯЕВ, Л. Ф. ДОЛИНА, Е. Ю. ГУНЬКО (ДИИТ) МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТЕКАНИЯ ТОКСИЧНОГО ГАЗА В ПОМЕЩЕНИЕ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ АВАРИИ НА ТЕРРИТОРИИ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОГО ОБЪЕКТА	170
Н. Н. БЕЛЯЕВ (ДИИТ), П. С. КИРИЧЕНКО (Криворожский технический университет) ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЙВАНИЯ ШАХТНЫХ ВОД В АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ.....	177
І. Я. ПЕРЕСТА, Л. О. ЯРИШКІНА, С. І. МУЗИКІНА, Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО, І. Л. ЖУРАВЕЛЬ (ДІТ) ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ВИТОКІВ НАФТОПРОДУКТІВ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕНЬ	181

РОЗДІЛ «АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ»

К. В. ГОНЧАРОВ (ДИИТ) КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ ПУТЕВОЙ ПРИЕМНИК ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ	188

РОЗДІЛ «МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ»

В. В. ЛАГУТА (ДІТ) ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ НА МНОЖИНІ ПАРЕТО ЗА ДВОМА ПОКАЗНИКАМИ	194

РОЗДІЛ «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

С. Е. БЕЛЬСКИЙ (Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь), И. П. ВОЛЧОК, А. А. МИТЯЕВ (ЗНТУ, Запорожье) МЕТОДИКА УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ВЫНОСЛИВОСТЬ	201
Л. Н. БУНИНА (Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь), И. П. ВОЛЧОК (ЗНТУ, Запорожье) ПОВЫШЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ МАРГАНЦЕВЫХ СТАЛЕЙ.....	207
М. О. КУЗІН (ДТГО «Львівська залізниця»), Т. М. МЕЩЕРЯКОВА (Львівська філія ДІТу) МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ СТРУКТУРНО- НЕОДНОРІДНИХ МЕТАЛІЧНИХ СИСТЕМ.....	213
І. М. ПОГРЕЛЮК, О. В. ТКАЧУК (Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України), З. О. СІРИК (Львівська філія ДІТу) ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ І ДЕКОРАТИВНОГО ЗАБАРВЛЕННЯ ДЕТАЛЯМ З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ПРИ ХІМІКО-ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ У КОНТРОЛЬОВАНОМУ АЗОТОКИСНЕВМІСНОМУ СЕРЕДОВИЩІ	220
Ю. С. ПРОЙДАК, А. В. РАБИНОВИЧ, Г. Н. ТРЕГУБЕНКО, Ю. А. БУБЛИКОВ, Г. А. ПОЛЯКОВ, А. А. КАТРИЧ (НМетАУ, Днепропетровск), А. В. ПУЧИКОВ (ИЧМ НАНУ, Днепропетровск) РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА И ЛИТЬЯ ИЗ СТАЛЕЙ С КАРБОНИТРИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ДЛЯ ВАГОНОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ.....	225
Ю. Г. ЧАБАК, В. Г. ЕФРЕМЕНКО, Р. Р. СТАНИШЕВСКИЙ (Приазовский государственный технический университет, Мариуполь) СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В КОМПЛЕКСНОЛЕГИРОВАННОМ БЕЛОМ ЧУГУНЕ ПРИ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩЕМ НАГРЕВЕ.....	229

ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»

Ю. С. БАРАШ, А. А. ПОКОТІЛОВ, Т. Ю. ЧАРКІНА (ДІТ) ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПОСЛУГ, ЩО НАДАЮТЬСЯ ПАСАЖИРСЬКИМИ ВИДАМИ ТРАНСПОРТУ	233
Н. В. БАЧАЛ (Національна академія державного управління при Президентові України, Київ) САМОРЕГУЛЮВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧАСНИКІВ ФОНДОВОГО РИНКУ: СУТНІСТЬ, ЦІЛІ Й ПРИНЦИПИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ	238
Н. Ф. ЗЕНЬЧУК, А. В. ЗАЛУЖНАЯ (УО «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Беларусь) ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСХОДОВ НА РЕМОНТЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО РАСХОДАМ НА ТОПЛИВО	242
А. М. КОЗУБЕРДА, Л. В. ПРИВАЛОВА (ДІТ) УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛІКУ ТА АНАЛІЗУ ВИКОРИСТАННЯ ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ У ДИСТАНЦІЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ	249
Г. А. КРАМАРЕНКО, А. В. НЕЧАЙ, В. В. СКАЛОЗУБ (ДІИТ) МЕТОДЫ ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ В ЗАДАЧАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВАГОНПОТОКОВ	254
Н. В. МИРОШНИК (ДІТ) ФОРМИ ЕФЕКТИВНОЇ РЕГІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ ТА УПРАВЛІННЯ	259
О. І. МІЛАЙ (ДІТ) ФІНАНСОВА БЕЗПЕКА НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	263
О. П. ПІНЧУК (ДІТ) ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТАРИФІВ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ У ПРИМІСЬКОМУ ТА РЕГІОНАЛЬНОМУ СПОЛУЧЕННІ	270
Г. Я. МОЗОЛЕВИЧ, В. І. ТІТЯПОВ, І. С. ЗАСУХА (ДІТ) КОНЦЕПЦІЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЯК ОДНОГО З КЛЮЧОВИХ ФАКТОРІВ ТУРИСТИЧНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ МІСТА	277
І. П. САДЛОВСЬКА, В. В. СОКОЛОВА (НАУ, Київ) ІНСТИТУЦІОНАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ В УКРАЇНІ	281
Н. В. РАДІОНОВА, О. І. КОБЕЦЬ (ДІТ) СУЧАСНІ ІНСТРУМЕНТИ МАРКЕТИНГУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У РИНКОВИХ УМОВАХ УКРАЇНИ	287
В. В. СКАЛОЗУБ, І. В. КЛИМЕНКО (ДІТ) ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ НА ОСНОВІ УЗАГАЛЬНЕНОГО ЛОГІСТИЧНОГО ВІДОБРАЖЕННЯ	291
Р. Б. СОКОЛЬСЬКА, В. Д. ЗЕЛІКМАН (НМетАУ, Дніпропетровськ), Є. Ю. ЗАХАРОВА (ВАТ «Дніпропетровський агрегатний завод») УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛІКУ МАЛОЦІННИХ І ШВИДКОЗНОШУВАНИХ ПРЕДМЕТІВ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	296
В. А. ГОРЬ, В. В. СМОЛЯНСЬКА (ДІТ) ЕВОЛЮЦІЯ ПОНЯТТЯ СТРАХУВАННЯ	299

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ДЛИННОСОСТАВНЫХ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

Наведено результати теоретичних досліджень поздовжніх зусиль, які виникають у довгоскладових вантажних потягах при гальмуванні. Результати отримані за допомогою комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: поздовжні зусилля, математичне моделювання, гальмування, вантажні поїзди

Приведены результаты теоретических исследований продольной нагруженности длинносоставных грузовых поездов при торможении, полученные с помощью компьютерного моделирования.

Ключевые слова: продольные усилия, математическое моделирование, торможение, грузовые поезда

The description of the developed computer system possibilities and its use to solve problems of motion safety and stability is given.

Keywords: longitudinal forces, mathematical modeling, braking, freight trains

Введение

Как известно, вождение наливных поездов, особенно увеличенной длины, как правило, всегда связано с определенными трудностями. Несмотря на разнообразие и большое количество вопросов, рассмотренных и решенных в области переходных режимов движения наливных поездов, проблема динамики поезда, в частности его продольных колебаний, по-прежнему, остается актуальной, особенно при наиболее опасном режиме вождения – торможении.

Постановка задачи

Оценить продольную нагруженность длинносоставных наливных поездов при торможении с помощью математического моделирования. Сравнить наибольшие продольные силы, возникающие в соединенных поездах, сформированных из вагонов-цистерн или полувагонов. Рассмотреть различные способы управления тормозами головного и вспомогательного локомотивов для различных схем формирования поездов.

Научные результаты

Оценивая продольную нагруженность поездов при торможении, предполагалось, что вагоны оборудованы воздухораспределителями с условным № 483, включенными на средний или груженный режим работы и композиционными тормозными колодками, а междвагонные соединения – упруго-фрикционными поглощающими аппаратами Ш-1-ТМ [1]. Исследование тормо-

жений растянутых поездов позволило получить наибольшие ударные усилия, а сжатых – оценить усилия квазистатического характера.

Численные значения параметров, характеризующих работу тормозных систем и междвагонных соединений принимались по результатам многолетних, многочисленных опытов, проведенных с поездами в реальных условиях опытного кольца на станции Щербинка Московской ж.д. учеными ДИИТа, ВНИИЖТа в содружестве, в ряде случаев, с другими организациями.

При моделировании переходных режимов движения поездов, в состав которых входят цистерны с неполным наливом, жидкость представлялась одной подвижной относительно бака цистерны массой и массой неподвижной относительно котла цистерны части жидкости [2]. Предполагалось, что подвижная масса на высоте выше верхней «кромки» неподвижной массы «сочленена» с баком посредством «пружины». Определение масс и жесткостей «пружин» определялось по методике, изложенной в работе [4]. В данных исследованиях учитывалось перемещение подвижной части жидкости только в продольном направлении. Оценки наибольших ожидаемых продольных сил в поезде получены по наибольшим расчетным значениям так, как указано в работе [3].

Определим сначала длину и массу поезда, состоящего из одинаковых по типу и массе вагонов-цистерн, для которых уровень наибольших сил не будет превышать допустимый по условиям прочности и устойчивости вагонов от выжимания (2,5 МН).

Для решения данной задачи рассматривались поезда, составленные из 4-осных вагонов-цистерн массой 89 тонн и 2-х локомотивов ВЛ-80т, расположенных в голове поезда. При математическом моделировании предполагалось, что в цистерны залита жидкость плотностью $\rho = 0,81 \text{ т/м}^3$ с уровнем свободной поверхности жидкости, удаленной на 0,35 м от верхней внутренней поверхности котла цистерны. Рассматривалось экстренное торможение со

скорости 20 км/ч на горизонтальном участке пути.

На рис. 1 приведены наибольшие значения растягивающих (+) и сжимающих (-) продольных усилий для поездов различной длины.

Из графиков, изображенных на рис. 1, следует, что в поезде массой 10000 т, состоящего из 109 вагонов-цистерн при экстренном торможении усилия превышают допустимые значения.

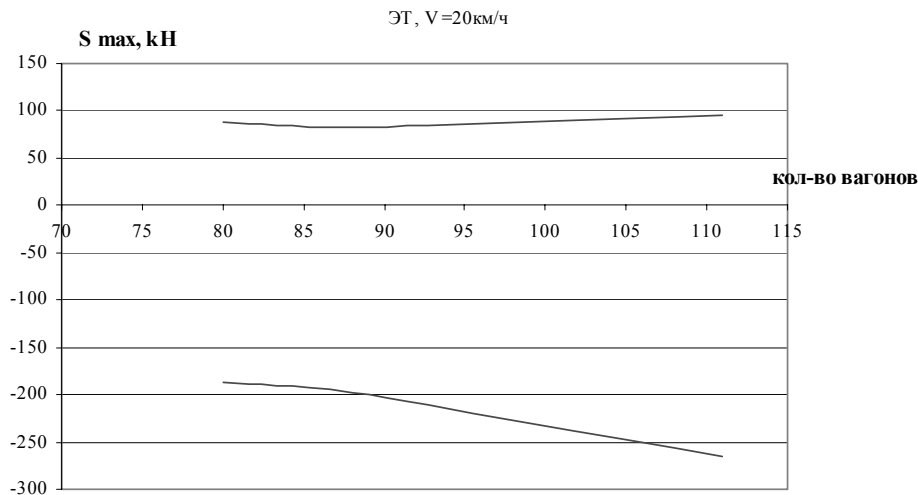


Рис. 1. Зависимость наибольших в поезде продольных сил от количества в нем вагонов-цистерн

Как известно, одним из способов снижения продольной нагруженности в поездах увеличенной длины является постановка вспомогательного локомотива в середину или в хвостовую часть состава.

Для решения данной задачи рассматривались соединенные поезда длиной 1390 метров, составленные из 110 четырехосных вагонов-цистерн массой 90 тонн и 2-х локомотивов ВЛ-80т. При математическом моделировании предполагалось, что в цистерны залита карбамида-аммиачная смесь плотностью $\rho = 1,31 \text{ т/м}^3$ с уровнем свободной поверхности жидкости, удаленной на 1,35 м от верхней внутренней поверхности котла цистерны.

Рассматривались две схемы формирования соединенного поезда. В первой схеме предполагалось, что вспомогательный локомотив расположен в середине состава, во второй – на расстоянии одной трети от хвостовой части поезда. При моделировании торможений на площадке предполагалось, что вспомогательный локомотив управляется либо синхронно с головным локомотивом либо по волне разрядки тормозной магистрали, когда головной локомотив осуществляет требуемые действия, а вспомогательный – с приходом волны снижения

давления в тормозной магистрали производит экстренное или полное служебное торможение. Изучая продольную нагруженность соединенных поездов, рассмотрено два способа соединения тормозной магистрали: сквозная и разобщенная (автономные). Для случая сквозной тормозной магистрали рассмотрены также варианты, когда торможение осуществлялось только головным или только вспомогательным (вторым) локомотивом.

Для оценки наибольших ударных продольных сил моделировались торможения растянутых поездов, при этом полагалось что зазоры в межвагонных соединениях равнялись 65 мм.

Численные эксперименты проводились для различных видов торможений на горизонтальном участке пути – экстренного (ЭТ) и полного служебного (ПСТ) и различных режимов работы воздухораспределителей – среднего или груженого. Начальные скорости движения принимались равными 20 и 80 км/ч.

Для сравнения уровня продольных усилий рассматривались аналогичные режимы торможения поездов, сформированных из полувагонов и двух локомотивов. Так длина полувагона (14 метров) больше длины 4-осной цистерны (12 метров), то их количество было уменьшено

до 94 экипажей, но чтобы массы сравниваемых поездов были одинаковы, масса полувагона принималась 100 тонн.

При моделировании экстренных торможений со скорости 80 км/ч оценивалась также величина тормозного пути.

В качестве примера, на рис. 2 приведены графики распределения наибольших продольных сил по длине поезда, сформированных из 110 вагонов-цистерн при экстренном торможении со скорости 20 км/ч в случае расположения второго локомотива в середине состава.

Результаты, приведенные на рис. 2, соответствуют грузеному режиму работы воздухораспределителей и управлению тормозными средствами по волне разрядки тормозной магистрали. Линиями 1 представлены зависимости, полученные для сквозной тормозной магистрали, а линиями 2 – для автономной тормозной магистрали. Сплошные линии соответствуют значениям продольных сил, полученных при экстренном торможении предварительно растянутых, а точечные линии – предварительно сжатых поездов.

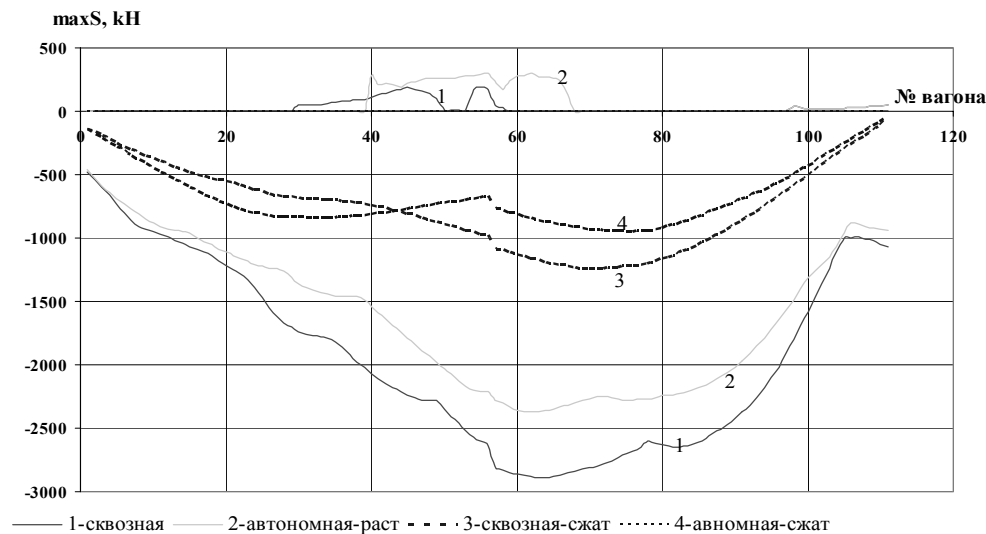


Рис. 2. Распределение максимальных значений продольных сил по длине поезда, составленного из цистерн при экстренном торможении головным локомотивом и размещенным в середине состава вторым локомотивом по волне разрядки тормозной магистрали предварительно растянутых (сплошная линия) и сжатых (точечная линия) составов

Как следует из приведенного рисунка, разобщение тормозных магистралей первого и второго составов при рассмотренном способе управления тормозами, снижает уровень наибольших ударных продольных сил на 13 %, а наибольших сил квазистатического характера – на 24 %. Квазистатическими продольными силами будем считать силы, действующие в междвагонных соединениях более 2 секунд [5]. При включении воздухораспределителей на грузеный режим работы значения наибольших продольных усилий для сквозной тормозной магистрали превышает допустимый.

При торможении предварительно сжатых поездов разобщение тормозных магистралей позволяет получить усилия в междвагонных соединениях, не превышающие опасного значения – 1000 кН с позиции выжимания загруженного вагона.

На рис. 3 изображены графики распределения максимальных продольных сил по длине поезда, составленных из 110 вагонов-цистерн при экстренном торможении только вторым локомотивом, расположенным в середине состава предварительно растянутого (сплошная линия) и сжатого (пунктирная линия) поездов. Полученные результаты соответствуют движению поездов со сквозной тормозной магистралью и воздухораспределителями, включенными на грузеный режим работы.

Из рис. 3 следует, что при экстренном торможении только вторым локомотивом, расположенного в середине состава, уровень наибольших ударных и квазистатических продольных сил не превышает допустимый. Следует отметить, что при торможении предварительно сжатых поездов уровень растягивающих усилий в первой половине состава значительно

превышает аналогичные величины, полученные в предварительно растянутых поездах. Это связано с особенностями торможения наливных

поездов, в которых подвижная часть жидкости способствует более резкому проявлению зазоров.

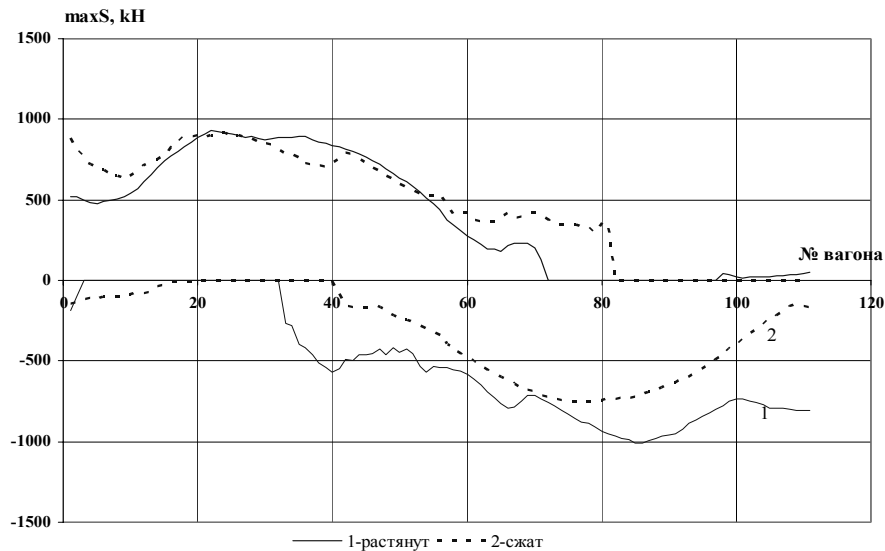


Рис. 3. Распределение максимальных значений продольных сил по длине предварительно растянутого и сжатого поездов, сформированных из цистерн при экстренном торможении со скорости 20 км/ч только вторым локомотивом (сквозная тормозная магистраль)

Зависимости максимальных продольных усилий от номера экипажа при экстренном торможении со скорости 20 км/ч предварительно сжатого поезда, состоящего из 110 вагонов-цистерн и расположении вспомогательного локомотива в середине состава при различных способах управления тормозными средствами приведены на рис. 4. Кривая 1 соответствует варианту, когда головной локомотив осуществляет экстренное торможение, а вспомога-

ный производит аналогичные действия только с приходом волны снижения давления в тормозной магистрали; кривая 2 – синхронному управлению тормозами головным и вспомогательным локомотивами; кривая 3 – торможению только вторым локомотивом. При моделировании торможений предполагалось, что воздухораспределители включены на грузе-ный режим при сквозной тормозной магистрали.

ЭТ сжатого, сквозная магистраль

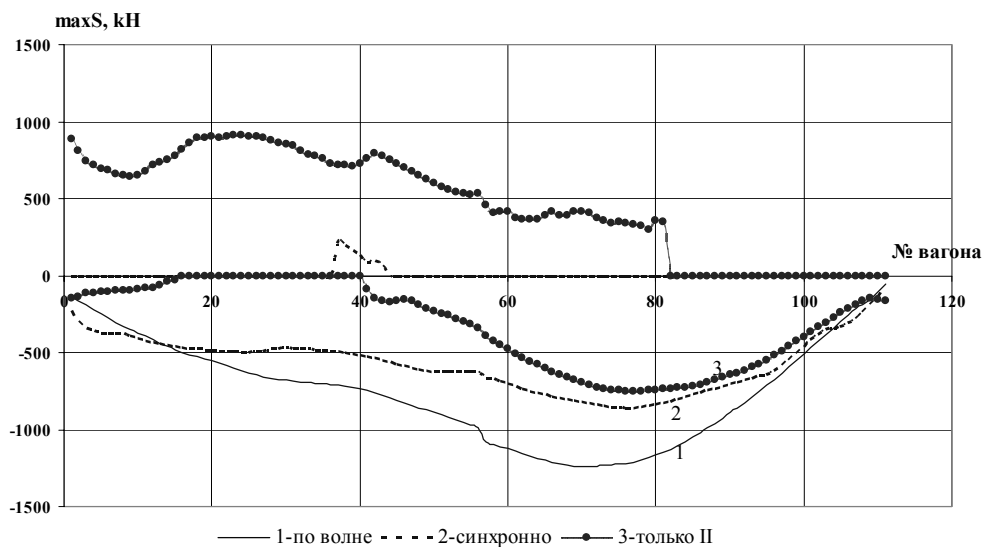


Рис. 4. Распределение максимальных значений продольных сил по длине поезда при экстренном торможении предварительно сжатых поездов, сформированных из цистерн при различных способах управления тормозами

На рис. 5 приведены зависимости наибольших значений продольных сил, полученных при торможении предварительно растянутых поездов, составленных из вагонов-цистерн, от

места расположения вспомогательного локомотива для различных способов управления тормозами.

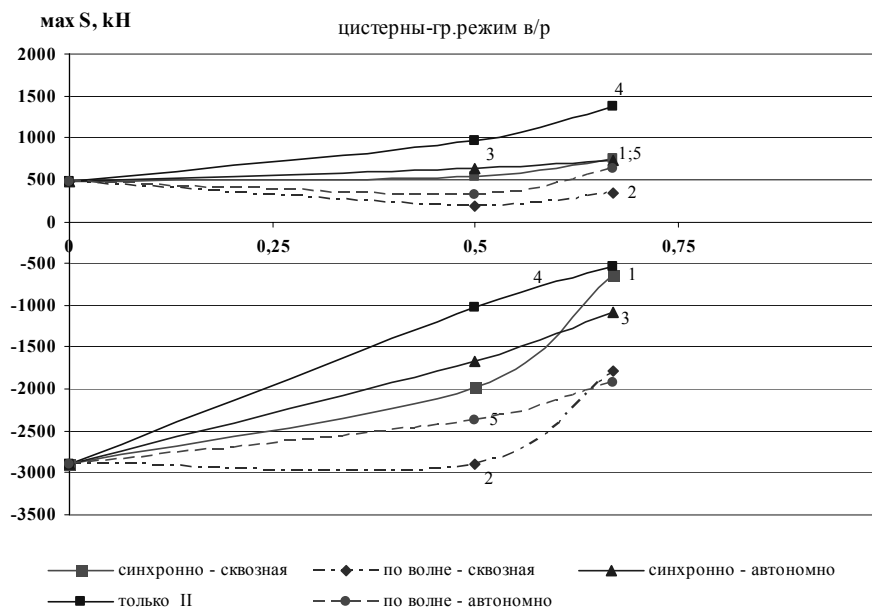


Рис. 5. Зависимость наибольших продольных усилий в зависимости от способа управления тормозами и типа тормозной магистрали

На рис. 5 линии 1 и 3 – соответствуют синхронному способу управления тормозами, линии 2 и 5 – управлению тормозами по волне разрядки тормозной магистрали, линии 3 – торможению только вторым (вспомогательным) локомотивом. Линии 3 и 5 – соответствуют разобщенной (автономной) тормозной магистрали, остальные линии – сквозной. По горизонтальной оси условно показано место расположения локомотивов:

- «0» – головной локомотив (торможение только головным локомотивом);
- «0,5» – вспомогательный локомотив расположен в середине состава;
- «0,67» – вспомогательный локомотив расположен на расстоянии 1/3 от хвостовой части поезда.

Как следует из приведенных зависимостей, наименьший уровень продольных сжимающих усилий получен при торможении только из вспомогательного локомотива, но при этом возникают наибольшие растягивающие усилия. Размещения вспомогательного локомотива на расстоянии 1/3 от хвостовой части поезда уменьшает уровень продольных усилий ударного характера.

На рис. 6 изображены распределения максимальных значений продольных сил по длине

поезда при экстренном торможении со скорости 20 км/ч. Результаты, приведенные на данном рисунке, соответствуют синхронному способу управления тормозами для случая сквозной тормозной магистрали и грузеному режиму работы воздухораспределителей. Линии 1 соответствуют варианту формирования поезда только из полувагонов, линии 2 – только из цистерн. Сплошные линии соответствуют торможениям предварительно растянутых поездов, а пунктирные – сжатых.

Из графиков, изображенных на рис. 6, следует, что в поезде, состоящего из полувагонов, при экстренном торможении предварительно растянутого поезда значения наибольших продольных сжимающих усилий незначительно превышают аналогичные величины в поезде такой же длины, но сформированного из цистерн, уровень же наибольших растягивающих сил больше оказался в наливном поезде. При торможении предварительно сжатых поездов наибольшие значения сжимающих сил квазистатического характера оказываются больше в поездах сформированных только из цистерн.

Эта тенденция сохраняется и для других способов управления тормозами независимо от способа соединения тормозной магистрали и режима работы воздухораспределителей.

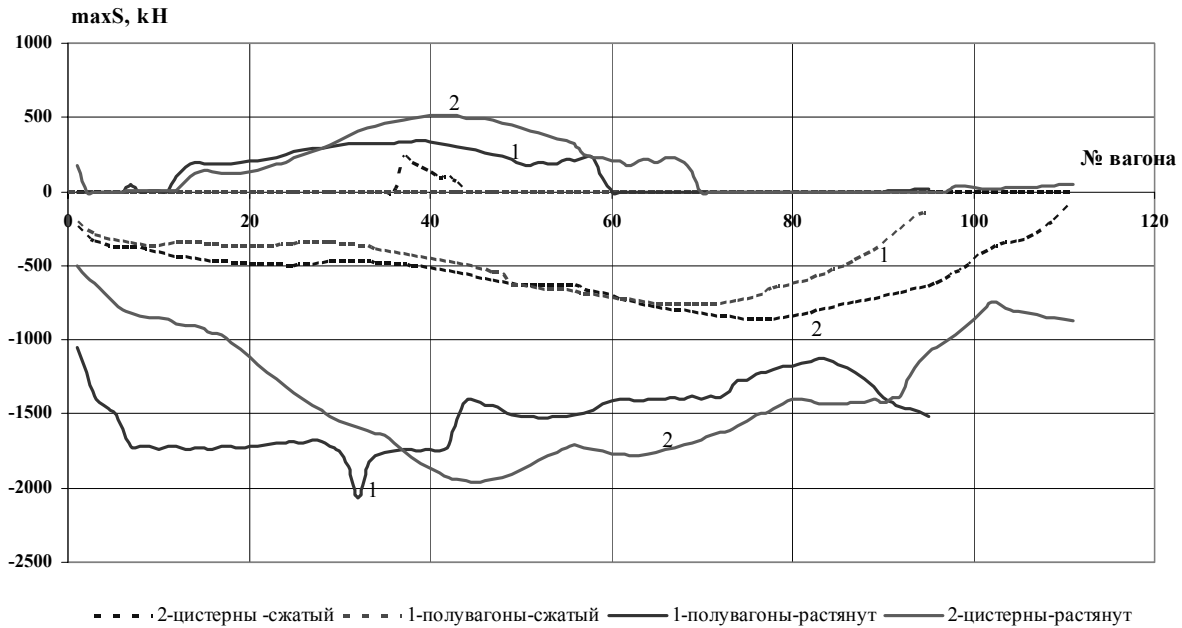


Рис. 6. Распределение максимальных значений продольных сил по длине поезда при экстренном торможении поездов, составленных из цистерн (линия - 2) или полувагонов (линия - 1) при синхронном способе управления тормозами и сквозной тормозной магистрали. Сплошные линии соответствуют торможению предварительно растянутых, а пунктирные – сжатых поездов

В табл. 1 приведены значения наибольших сжимающих и растягивающих сил в кН для ЭТ и ПСТ со скорости 20 км/ч и величины тормозных путей в метрах для ЭТ со скорости 80 км/ч для поездов, составленных из вагонов-цистерн, а в табл. 2 – для поездов, сформированных из полувагонов.

Как следует из результатов численных экспериментов, приведенных в табл. 1 и 2, при экстренном торможении уровень наибольших сжимающих сил ударного характера, когда зазоры в межвагонных соединениях оказывают существенное влияние на переходной процесс, в поездах, составленных из полувагонов, как правило, превышает аналогичные величины в наливных поездах. Это различие более существенно для груженого режима работы воздухо-распределителей от 5 до 22 % для различных способов управления тормозами. Для случая, когда воздухо-распределители были включены на средний режим работы, наибольшие значения сжимающих сил в наливных поездах оказались меньше на 3...12,5 %, чем в поездах из полувагонов. Следует отметить, что различие между уровнем наибольших сжимающих сил

ударного характера в наливных и сухогрузных поездах уменьшается с увеличением длины тормозной магистрали. Например, при торможении только вторым локомотивом или при синхронном способе торможения двумя локомотивами для случая разобщенной тормозной магистрали, когда ее длина равняется половине длины поезда, это различие может достигать 35 %.

При торможении же только головным локомотивом (в этом случае длина тормозной магистрали равна длине поезда) различие между наибольшими сжимающими усилиями не превышает 5 %.

Следовательно, с увеличением длины поезда различие между наибольшими значениями продольных сил, возникающих в поездах, составленных из полувагонов, и наливных поездах уменьшается. Этот факт подтверждается проведенными ниже численными экспериментами.

Рассмотрим соударения локомотива с полувагоном или с цистерной, а также торможения поездов различной длины, составленных только из полувагонов или вагонов-цистерн.

Таблица 1

Наибольшие значения растягивающих и сжимающих продольных сил в кН в поездах, составленных из цистерн, при различных режимах торможения и разных режимах работы воздухораспределителей

Расположение вспомогат. локомотива				1/2			1/3 от хвоста		
тип ма-гис	способ управления тормозами	состоя-ние состава	режим в/р	ЭТ, $V_0 = 20$ км/ч max S, кН	ЭТ, $V_0 = 80$ км/ч тормоз. путь	ПСТ, $V_0 = 20$ км/ч max S, кН	ЭТ, $V_0 = 20$ км/ч max S, кН	ЭТ, $V_0 = 80$ м/ч тормоз. путь	ПСТ, $V_0 = 20$ км/ч max S, кН
сквозная	I и II синхронно	сжат	гр	-820		-800	$\frac{+490}{-470}$		$\frac{+520}{-460}$
			ср	$\frac{+100}{-660}$		-640	$\frac{+370}{-360}$		$\frac{+440}{-380}$
		раст	гр	$\frac{+530}{-1970}$	593	$\frac{+390}{-1630}$	$\frac{+750}{-640}$	538	$\frac{+490}{-640}$
			ср	$\frac{+430}{-1670}$	675	$\frac{+340}{-1463}$	$\frac{+600}{-575}$	665	$\frac{+400}{-630}$
	только II	сжат	гр	$\frac{+940}{-790}$		$\frac{+900}{-600}$	$\frac{+1900}{-450}$		$\frac{+1800}{-350}$
			ср	$\frac{+720}{-620}$		$\frac{+635}{-450}$	$\frac{+1580}{-360}$		$\frac{+1450}{-270}$
		раст	гр	$\frac{+970}{-1030}$	618	$\frac{+740}{-980}$	$\frac{+1380}{-530}$	592	$\frac{+1670}{-450}$
			ср	$\frac{+720}{-870}$	696	$\frac{+630}{-900}$	$\frac{+980}{-580}$	720	$\frac{+1350}{-500}$
	только I	сжат	гр	-1280		-1180	-1245		-1150
			ср	-970		-890	-940		-870
		раст	гр	$\frac{+480}{-2890}$	700	$\frac{+750}{-2300}$	$\frac{+530}{-2850}$	700	$\frac{+850}{-2315}$
			ср	$\frac{+850}{-2375}$	830	$\frac{+730}{-2025}$	$\frac{+840}{-2325}$		$\frac{+570}{-1990}$
	I, затем II по волне	сжат	гр	-1240		-930	-760		$\frac{+250}{-605}$
			ср	-980		-710	-560		$\frac{+270}{-460}$
		раст	гр	$\frac{+190}{-2900}$	627	$\frac{+300}{-2325}$	$\frac{+340}{-1790}$	575	$\frac{+425}{-1440}$
			ср	$\frac{+300}{-2280}$	710	$\frac{+430}{-1950}$	$\frac{+390}{-1550}$	700	$\frac{+830}{-1275}$
автономная	I и II синхронно	сжат	гр	$\frac{+240}{-620}$		$\frac{+250}{-540}$	$\frac{+890}{-670}$	590	$\frac{+1010}{-520}$
			ср	$\frac{+240}{-480}$	557	$\frac{+200}{-400}$	$\frac{+650}{-540}$		$\frac{+800}{-410}$
		раст	гр	$\frac{+630}{-1670}$	684	$\frac{+440}{-1440}$	$\frac{+725}{-1075}$		$\frac{+660}{-820}$
			ср	$\frac{+450}{-1375}$		$\frac{+370}{-1270}$	$\frac{+600}{-900}$	722	$\frac{+650}{-650}$
	I, затем II по волне	сжат	гр	-950		-725	$\frac{+520}{-980}$		$\frac{+650}{-660}$
			ср	$\frac{+120}{-740}$		-575	$\frac{+450}{-740}$		$\frac{+620}{-550}$
		раст	гр	$\frac{+330}{-2375}$	588	$\frac{+240}{-2210}$	$\frac{+640}{-1920}$	613	$\frac{+950}{-1270}$
			ср	$\frac{+425}{-2025}$	714	$\frac{+360}{-1875}$	$\frac{+850}{-1530}$	740	$\frac{+920}{-1130}$

Таблица 2

Наибольшие значения растягивающих и сжимающих продольных сил в кН в поездах, составленных из полувагонов, при различных режимах торможения и разных режимах работы воздухораспределителей

Расположение вспомогат. локомотива				1/2			1/3 от хвоста		
тип ма- ги- стр али	способ управления тормозами	состояние состава	режим в/р	ЭТ, $V_0 = 20$ км/ч max S , кН	ЭТ, $V_0 = 80$ км/ч тормоз. путь, м	ПСТ, $V_0 = 20$ км/ч max S , кН	ЭТ, $V_0 = 20$ км/ч max S , кН	ЭТ, $V_0 =$ $= 80$ км/ч тормоз. путь, м	ПСТ, $V_0 = 20$ км/ч max S , кН
с к в о з н а я	I и II синхронно	сжат	гр	-720		-650	$\frac{+510}{-370}$		$\frac{+620}{-260}$
			ср	-610		-520	$\frac{+420}{-320}$		$\frac{+600}{-260}$
		растя- нут	гр	$\frac{+320}{-2070}$	575	$\frac{+310}{-1500}$	$\frac{+460}{-763}$	575	$\frac{+550}{-650}$
			ср	$\frac{+390}{-1850}$	710	$\frac{+350}{-1375}$	$\frac{+380}{-730}$	705	$\frac{+480}{-570}$
	только II	сжат	гр	$\frac{+1100}{-540}$	601	$\frac{+780}{-600}$	$\frac{+1700}{-310}$		$\frac{+1550}{-260}$
			ср	$\frac{+990}{-420}$	737	$\frac{+810}{-510}$	$\frac{+1430}{-270}$	761	$\frac{+1330}{-250}$
		растя- нут	гр	$\frac{+680}{-1250}$	600	$\frac{+750}{-1020}$	$\frac{+1200}{-750}$	622	$\frac{+1470}{-570}$
			ср	$\frac{+550}{-1150}$	734	$\frac{+650}{-940}$	$\frac{+870}{-690}$	761	$\frac{+1170}{-500}$
	только I	сжат	гр	-1110		-1040	-1100		-1040
			ср	-850		-820	-830		-820
		растя- нут	гр	-3020	704	-2090	-2950	705	-2075
			ср	$\frac{+120}{-2400}$	840	-1840	-2375	841	-1840
	I, затем II по волне	сжат	гр	-1060		-740	-785		$\frac{+380}{-665}$
			ср	-830		-610	-610		$\frac{+370}{-510}$
		растя- нут	гр	$\frac{+620}{-3090}$	610	$\frac{+170}{-2150}$	$\frac{+500}{-2150}$	610	$\frac{+550}{-1410}$
			ср	$\frac{+710}{-2340}$	748	$\frac{+470}{-1790}$	$\frac{+630}{-1660}$	744	$\frac{+660}{-1050}$
а в т о н о м н а я	I и II синхронно	сжат	гр	$\frac{+290}{-540}$		$\frac{+250}{-510}$	$\frac{+770}{-540}$		$\frac{+840}{-490}$
			ср	$\frac{+200}{-420}$		$\frac{+200}{-400}$	$\frac{+700}{-460}$		$\frac{+680}{-440}$
		растя- нут	гр	$\frac{+570}{-1880}$	606	$\frac{+420}{-1440}$	$\frac{+650}{-1080}$	617	$\frac{+720}{-770}$
			ср	$\frac{+500}{-1590}$	740	$\frac{+550}{-1330}$	$\frac{+550}{-950}$	753	$\frac{+600}{-680}$
	I, затем II по волне	сжат	гр	-850		-710	$\frac{+550}{-920}$		$\frac{+610}{-630}$
			ср	-650		-550	$\frac{+480}{-740}$		$\frac{+670}{-520}$
		растя- нут	гр	$\frac{+530}{-2400}$	625	$\frac{+350}{-2100}$	$\frac{+1100}{-2150}$	644	$\frac{+1000}{-1470}$
			ср	$\frac{+1130}{-2000}$	760	$\frac{+840}{-1800}$	$\frac{+880}{-1840}$	780	$\frac{+1150}{-1250}$

На рис. 7, в качестве примера, приведены осциллограммы продольных сил, полученные при соударении локомотива ВЛ-80т и цистерны массой 90 тонн, заполненной карбамидо-аммиачной смесью плотность $\rho = 1,31 \text{ тс/м}^3$ с недоливом 1,35 метров (линия 1) и локомотива и полувагона массой 90 тонн при скорости 4 км/ч.

Как следует из приведенного рисунка, уровень сил при соударении локомотива и полувагона значительно выше, чем при соударении с той же скорости такого же локомотива и цистерны. Сравнение аналогичных величин при других скоростях соударения для рассматриваемых вариантов соударения приведены в табл. 3.

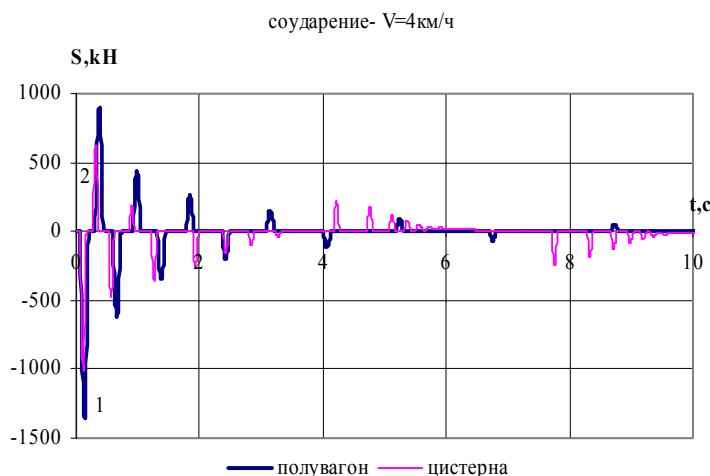


Рис. 7. Осциллограмма продольных сил при соударении локомотива с полувагоном (линия 1) и локомотива с цистерной (линия 2)

Из результатов, приведенных в табл. 4, следует, что в поездах длиной 800 и 1000 метров, составленных только из полувагонов наибольшие значения ударных сжимающих сил превышают аналогичные величины в наливных поездах соответственно на 22...35 % и 7...17 %. Меньшие значения процентов соответствуют грузеному режиму работы воздухораспределителей, большие – среднему режиму.

Таблица 3

Наибольшие значения продольных сжимающих и растягивающих сил при различных скоростях соударения локомотива с полувагоном или с цистерной

Скорость соударения V , км/ч	Продольные силы S , кН	
	Локомотива с полувагоном	Локомотива с цистерной
4	+900/ -1350	+630/ -1010
8	+2000/ -3070	+1270/ -1990
10	+2940/ -3950	+1720/ -2850

В табл. 4 приведены наибольшие значения продольных сил при экстренном торможении со скорости 20 км/ч в поездах длиной 800 и 1000 метров, сформированных только из полувагонов или только из цистерн при различных режимах работы воздухораспределителей. По-

езд длиной 800 метров был составлен из 52 полувагонов массой 100 тонн или из 60 цистерн массой 90 тонн, заполненных карбамидо-аммиачной смесью плотность $\rho = 1,31 \text{ тс/м}^3$ с недоливом 1,35 метров. Поезд длиной 1000 метров – из 67 полувагонов или из 78 цистерн.

Таблица 4

Наибольшие значения продольных сжимающих и растягивающих сил в кН при экстренном торможении со скорости 20 км/ч предварительно растянутых поездов различной длины

Длина поезда	800 метров		1000 метров	
	полувагоны	цистерны	полувагоны	цистерны
гр	-1940	$\frac{+200}{-1590}$	$\frac{+500}{-2160}$	$\frac{+240}{-2020}$
ср	-1725	$\frac{+370}{-1280}$	$\frac{+300}{-1930}$	$\frac{+630}{-1650}$

Приведенные результаты соударений и торможений поездов разной длины подтверждают тот факт, что с увеличением длины тормозной магистрали различие между наибольшими значениями сжимающих продольных сил, возникающих в поездах, составленных из полуваго-

нов, и наливных поездах при различных способах торможения уменьшается.

При торможении предварительно сжатых поездов (см. табл. 1 и 2) наибольшие значения сжимающих сил квазистатического характера в наливных поездах превышают аналогичные величины в поездах, составленных только из полувагонов, при различных способах управления тормозами в среднем на 15 %. При торможении сжатых поездов только вторым локомотивом наибольшие значения растягивающих усилий, которые в данном случае носят ударный характер, оказались меньше в наливных поездах на 20 % для груженого режима и на 30 % для среднего режима работы воздухораспределителей.

Тормозные пути при экстренном торможении сухогрузных и наливных поездов при различных режимах торможения отличаются не более чем на 8,5 %.

Анализ приведенных результатов позволяет сделать следующие выводы.

Наименьший уровень продольных сил в поезде получается при размещении второго локомотива на расстоянии 1/3 длины поезда от хвоста и синхронном способе управления тормозами. Этот вариант можно рекомендовать в эксплуатации как на среднем, так и на груженом режимах работы воздухораспределителей.

Для вариантов размещения вспомогательного локомотива в середине состава наименьшие продольные силы получают с автономными тормозными магистралями каждой его частей и синхронном способе управления. В случае сквозной магистрали наибольшие продольные силы значительно больше, чем с автономными. Если же управлять тормозами со сквозной магистралью только из второго локомотива, расположенного в середине поезда, то сжимающие силы будут минимальными. Однако при этом возникают значительные растягивающие силы.

Наибольший уровень сил в поезде получен при экстренном торможении как предварительно растянутых, так и сжатых поездов при управлении тормозами по волне разрядки тормозной магистрали. При размещении вспомогательного локомотива в середине состава уровень сил оказался такого же порядка, как при торможении только головным локомотивом. Сжимающие продольные силы, возникающие при экстренном торможении предварительно сжатых поездов могут быть опасны с позиции устойчивости вагона от выжимания, т.к. они носят квазистатический характер (действуют в

течение 1,5...2 секунд) и превышают допустимое значения 1000 кН для полностью загруженных вагонов [5]. Разобшение тормозной магистрали для случая, когда вспомогательный локомотив производит экстренное торможение с приходом волны снижения давления в магистрали, позволило снизить уровень наибольших усилий.

Выводы

Полученные результаты показывают, что при необходимости вождения наливных поездов массой свыше 10 тыс. тонн их формирование должно производиться с установкой локомотивов в голове и на расстоянии 1/3 длины от хвоста поезда.

Поезда должны быть оснащены системой синхронного торможения с резервной системой по тормозной волне.

В случае, когда по условиям эксплуатации вспомогательный локомотив оказывается в середине поезда, управление тормозами должно осуществляться с этого локомотива по радиокомандам машиниста головного локомотива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блохин, Е. П. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания) [Текст] / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. – М.: Транспорт, 1982. – 222 с.
2. Программно-вычислительный комплекс для исследования продольной нагруженности наливных поездов [Текст] / Е. П. Блохин [и др.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 30. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 36-48.
3. О вождении длинносоставных поездов [Текст] / Е. П. Блохин [и др.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 30. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 48-56.
4. Рыжов, А. В. Исследование нагруженности восьмиосных цистерн при соударениях [Текст] / А. В. Рыжов, Ю. М. Черкашин, Н. Я. Гаркави // Вестник ВНИИЖТ. – 1982. – № 6. – С. 37-40.
5. Вершинский, С. В. Устойчивость вагонов от выжимания продольными силами при торможении поезда [Текст] / С. В. Вершинский // Труды ВНИИЖТа. – 1970. – Вып. 425. – С. 4-38.

Поступила в редколлегию 12.01.2011.

Принята к печати 25.01.2011.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕСУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАНУВАЛЬНИКА БАЛАСТНОЇ ПРИЗМИ СПЗ-5/UA

У статті наведено результати аналітичних та експериментальних досліджень напружено-деформованого стану (НДС) несучих елементів конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA. Аналітичні дослідження виконані з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). Їх результати використані при проведенні ходових динамічних випробувань на міцність. На основі аналізу отриманих розрахункових та експериментальних даних виконано оцінку міцності конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA при дії навантажень, які відповідають різним експлуатаційним режимам.

Ключові слова: конструкція планувальника баластної призми, напружено-деформований стан, метод скінченних елементів, ходові динамічні випробування на міцність, експлуатаційний режим

В статье приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований напряжённо-деформированного состояния (НДС) несущих элементов конструкции планировщика балластной призмы СПЗ-5/UA. Аналитические исследования выполнены с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Их результаты использованы при проведении ходовых динамических испытаний на прочность. На основе анализа полученных расчётных и экспериментальных данных выполнена оценка прочности конструкции планировщика балластной призмы СПЗ-5/UA под действием нагрузок, соответствующих разным эксплуатационным режимам.

Ключевые слова: конструкция планировщика балластной призмы, напряжённо-деформированное состояние, метод конечных элементов, ходовые динамические испытания на прочность, эксплуатационный режим

In the article the results of analytical and experimental studies of the stressed-and-strained state of load-bearing elements of structure of ballast prism planner of SPZ-5/UA are presented. The analytical research is performed using the finite element method (FEM). Its results are used during realization of performance dynamic tests on durability. On the basis of analysis of the calculation and experimental data obtained the estimation of durability of construction of ballast prism planner SPZ-5/UA under the action of loads corresponding to the different operating modes is executed.

Keywords: construction of ballast prism planner, stressed-and-strained state, finite element method, performance dynamic tests on durability, operating modes

Планувальник баластної призми – колійна машина, призначена для планування і перерозподілу свіжовідсипаного баласту за всіх видів ремонту та поточного утримання залізничної колії, а також при її будівництві [1].

Загальний вигляд планувальника баластної призми СПЗ-5/UA виробництва ВАТ «Каховський завод електрозварювального обладнання» зображено на рис. 1.



Рис. 1. Планувальник баластної призми СПЗ-5/UA

Планувальник баластної призми СПЗ-5/UA має три режими роботи: робочий, самохідний і

транспортний. У робочому (технологічному) режимі машина виконує технологічні завдання; самохідний режим дозволяє машині рухатися, як окремою транспортною одиницею (зі швидкістю до 80 км/год) і буксувати причіп максимальною масою до 270 т; у транспортному режимі планувальник баластної призми СПЗ-5/UA рухається у складі потягу зі швидкістю до 100 км/год.

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA проводилося за п'ятьма видами навантажень:

- навантаження від сил власної ваги несучої конструкції та встановленого на неї обладнання у транспортному режимі (режим статичного навантаження з урахуванням коефіцієнту динаміки);
- робочий режим «А» (робота двох бічних і двох центральних плугів);

- робочий режим «B» (робота одного бічного і двох центральних плугів);
- робочий режим «C» (робота одного бічного плуга);
- робочий режим «D» (робота двох центральних плугів).

До сил тиску, діючих у робочих режимах, належать повздовжні сили на різак F_r , сили на крила F_p і сили на центр плуга F_s . У табл. 1 показано значення цих сил за робочими режимами.

Таблиця 1

Значення повздовжніх сил тиску, діючих на робочі органи машини у робочих режимах

Робочий режим	Сили тиску на робочі органи машини СПЗ-5/UA, кН		
	F_r	F_p	F_s
«A»	2·20	2·10	0
«B»	1·25	1·15	2·5
«C»	1·40	0	0
«D»	0	0	2·25

На рис. 2 показані місця прикладення повздовжніх сил тиску на робочі органи планування баластної призми СПЗ-5/UA.

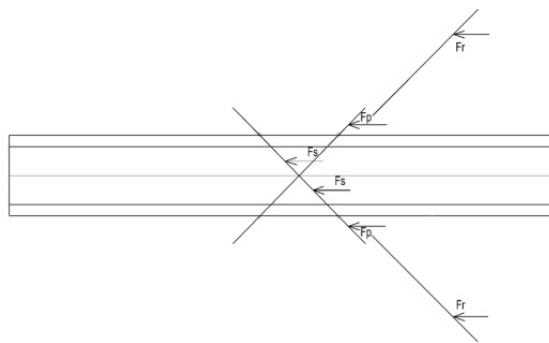


Рис. 2. Схема розташування місць прикладення повздовжніх сил тиску на робочі органи

Метою дослідження НДС несучої конструкції планування баластної призми СПЗ-5/UA за методом скінченних елементів (МСЕ) є:

1. перевірка відповідності конструкції умовам міцності;
2. визначення місць встановлення тензOMETРИЧНИХ датчиків для проведення ходових міцнісних випробувань машини;

Окрім того, за результатами розрахунку несучої конструкції планування баластної призми СПЗ-5/UA за МСЕ були визначені ста-

тичні напруження $\sigma_{ст}$ з послідуною оцінкою коефіцієнту запасу втомлювальної міцності n_{σ} .

Для проведення досліджень несуча конструкція досліджуваної машини була змодельована скінченними елементами – трьох- і чотирьох вузовими пластинками (рис. 3). Товщини пластинок обиралися відповідно до розмірів поперечних перерізів елементів конструкції.

Рама планування баластної призми СПЗ-5/UA складається з двох основних повздовжніх балок 1 з профілю НЕВ 300, двох кінцевих балок, що входять до складу буферних брусів 2 та трьох проміжних поперечних балок 3 з труби 200×300×10 EN10210, двох поперечних балок 4 з труби 200×100×10 EN10210. Зокрема, модель вміщує буксові вузли, зображені під номером 5.

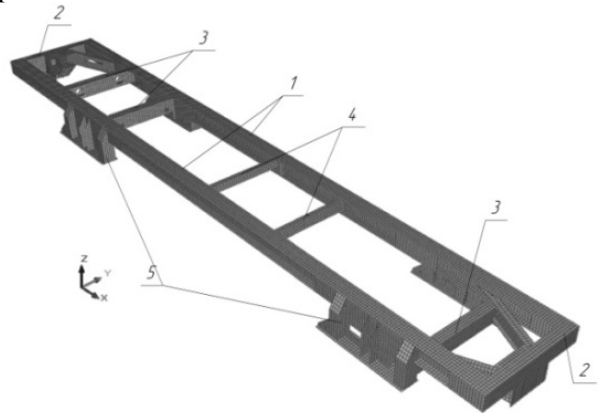


Рис. 3. Скінченно-елементна модель рами планування баластної призми СПЗ-5/UA

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

Для прикладу, на рис. 4. зображено схему навантаження скінченно-елементної моделі рами планування баластної призми СПЗ-5/UA силами власної ваги та встановленого на неї обладнання.

Проілюструємо дослідження НДС несучої конструкції планування баластної призми СПЗ-5/UA за МСЕ у вигляді графіків розподілу за конструкцією рами головних σ_1 і еквівалентних напружень за енергетичною теорією міцності Губера-Мізеса-Генкі. На рис. 5 – 6 ці графіки наведені для режиму статичного навантаження.

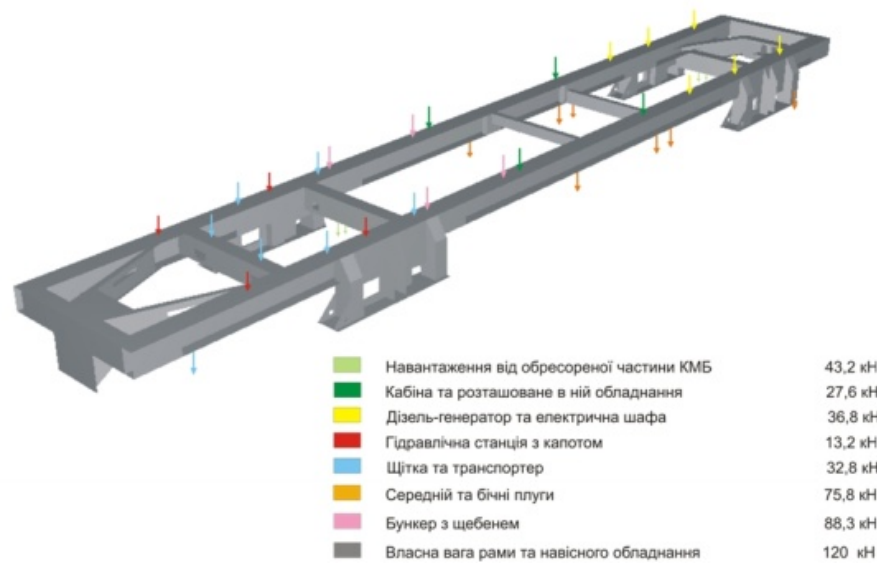


Рис. 4. Схема навантаження скінченно-елементної моделі рами планувальника баластної призми СПЗ-5/UA силами власної ваги та встановленого на неї обладнання

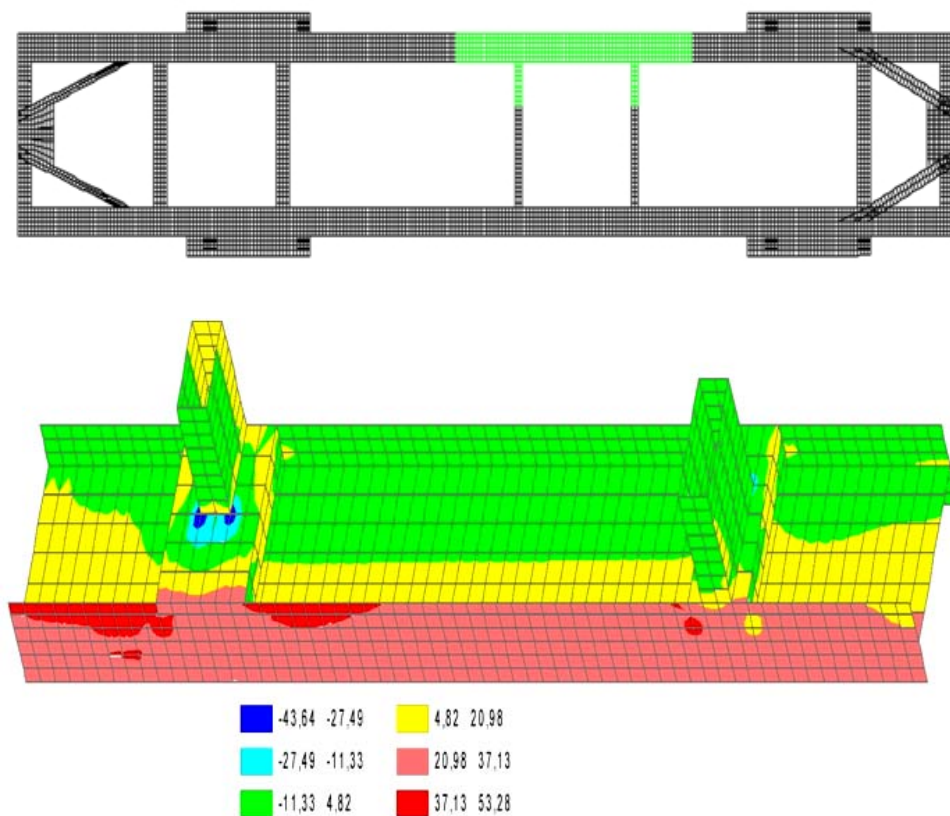


Рис. 5. Поля головних напружень σ_1 у центральній частині несучої рами.
Режим статичного навантаження (МПа)

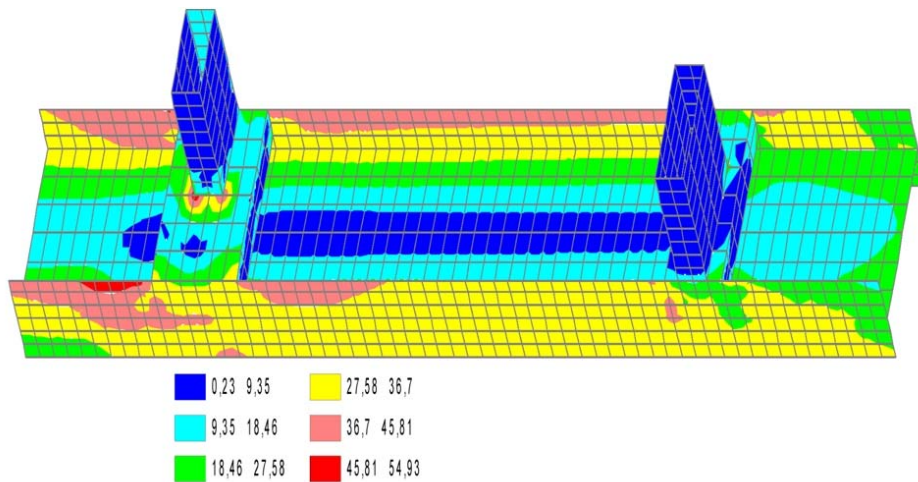


Рис. 6. Поля еквівалентних напружень у центральній частині несучої рами.
Режим статичного навантаження (МПа)

На рис. 7 – 8 наведено графіки розподілу за конструкцією рами головних σ_1 і еквівалентних напружень для робочого режиму «D» експлуатації планувальника баластної призми

СПЗ-5/UA. Наводиться саме робочий режим «D», тому що при ньому були отримані найбільші значення напружень серед усіх можливих робочих режимів.

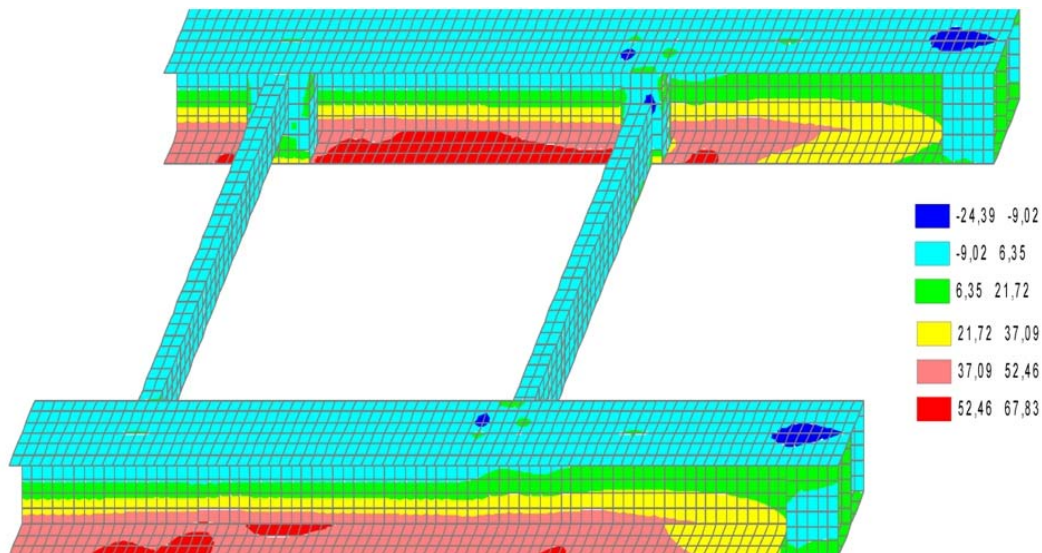


Рис. 7. Поля головних напружень σ_1 у центральній частині несучої рами. Робочий режим «D» (МПа)

Дослідження НДС несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA від дії статичного навантаження показало, що середня частина конструкції є найбільш навантаженою частиною, що видно з рис. 5 – 6. Зона максимальних напружень розташована у полиці основної несучої поздовжньої балки, поряд із місцем підвищення середнього плуга у транспортному положенні. У зоні концентрації напружень максимальне значення еквівалентних напружень за теорією міцності Губера-Мізеса-Генкі з урахуванням коефіцієнту динаміки, який приймався рівним $k = 1,5$ [3], складає близько 82,5 МПа, що є значно нижчим за допус-

тимі напруження, що становлять 155 МПа [2, 3].

У робочих режимах найбільші значення напружень спостерігалися у місцях кріплення бічних і середніх плугів. Саме робочий режим «D», при якому працюють два центральних плуги, виявився найбільш несприятливим для конструкції з поміж інших робочих режимів. Значення головних напружень σ_1 у режимі «D» досягли 68 МПа, еквівалентних напружень – 72 МПа. Як видно з рис. 7 – 8, зоною максимальних напружень є центральна частина рами між поперечними балками кріплення середніх плугів.

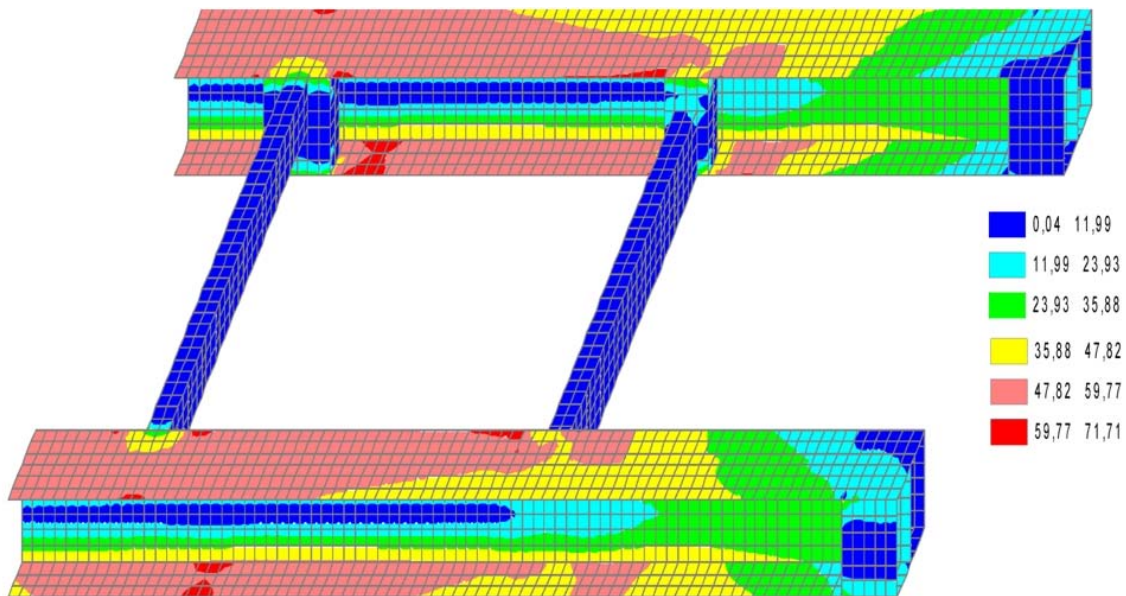


Рис. 8. Поля еквівалентних напружень у центральній частині несучої рами. Робочий режим «D» (МПа)

Результати, отримані у ході дослідження НДС конструкції при дії різних експлуатаційних режимів, зведені до порівняльної табл. 2.

Таблиця 2

Максимальні напруження у несучій конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA (у місці кріплення центральних і бічних плугів)

Режим експлуатації	Значення напружень, МПа		
	Головні σ_1	Еквівалентні за теорією Губера-Мізеса-Генкі	Допустимі $[\sigma]$
Статичний	53	55	155
Транспортний	79,5	82,5	155
«A»	51	51	155
«B»	62	61	
«C»	56	55	
«D»	68	72	

Галузевою науково-дослідною лабораторією динаміки та міцності рухомого складу (ГНДЛ ДМРС) Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна були проведені ходові динамічні випробування на міцність дослідної машини планувальника баластної призми СПЗ-5/UA. Метою випробувань були перевірка відповідності конструкції дослідного зразка машини СПЗ-5/UA та її міцнісних показників вимогам Технічного завдання, нормативних документів, що визначають умови безпеки руху та експлуатації. Ходові динамічні випробування на міц-

ність були проведені згідно програми-методики, розробленої на підставі Технічного завдання і [4].

Міцнісні випробування планувальника баластної призми СПЗ-5/UA проводилися на перегоні зі швидкостями до 100 км/год у транспортному режимі. На несучу раму дослідного зразка машини були встановлені тензометричні резистори у місцях виникнення найбільших напружень. Найбільш навантажені ділянки несучої конструкції були встановлені згідно вищенаведеного дослідження НДС конструкції дослідної машини за МСЕ.

Коефіцієнт запасу втомлювальної міцності розраховувався за відомим виразом [5]:

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

де σ_{-1} – межа витривалості гладкого лабораторного зразка за симетричного циклу для базової довговічності;

σ_m – середнє значення циклу напружень. Приймалося рівним значенню напруження, отриманому згідно розрахунку конструкції за МСЕ від дії статичного навантаження $\sigma_{ст}$, тобто $\sigma_m = \sigma_{ст}$;

σ_a – номінальне значення амплітуди циклу зміни напружень;

Ψ_{σ} – коефіцієнт чутливості й асиметрії циклу;

K_{σ} – сумарний коефіцієнт, який враховує вплив концентрації напружень, масштабною і технологічного факторів.

Схема розташування тензометричних датчиків, розроблена на основі дослідження НДС несучої конструкції за МСЕ, показана на рис. 9.

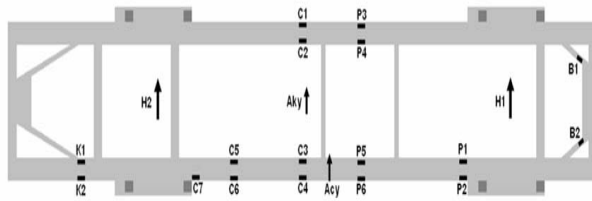


Рис. 9. Схема розташування тензометричних датчиків на несучій рамі дослідної машини

У зведеній табл. 3 наведено значення коефіцієнтів запасу втомлювальної міцності за найбільш навантаженими елементами несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA для транспортного режиму.

Таблиця 3

Коефіцієнти запасу втомлювальної міцності у найбільш навантажених елементах несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA. Транспортний режим

Датчик	$\sigma_{ст}$, МПа	v , км/год	n
1	2	3	4
C1	48	35...45	5,66
		46...55	3,89
		56...65	3,44
		66...75	3,48
		76...85	3,56
		86...95	3,49
		96...105	3,75
C2	31	35...45	4,30
		46...55	4,06
		56...65	4,98
		66...75	3,84
		76...85	3,44
		86...95	6,23
		96...105	5,53

1	2	3	4
C4	38	35...45	3,58
		46...55	3,70
		56...65	3,88
		66...75	2,84
		76...85	3,09
		86...95	3,94
		96...105	4,53
P4	33	35...45	4,62
		46...55	5,15
		56...65	6,47
		66...75	3,77
		76...85	4,81
		86...95	6,94
		96...105	6,52
P5	33	35...45	4,94
		46...55	4,82
		56...65	6,33
		66...75	4,47
		76...85	4,00
		86...95	7,00

Оцінка міцності несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA для робочих режимів експлуатації проводилася за допустимими напруженнями, для транспортного режиму навантаження – за допустимими напруженнями та коефіцієнтами втомлювальної міцності.

Втомлювальна міцність несучої рами дослідної машини вважається забезпеченою, якщо в усьому діапазоні швидкостей, для яких проводилися випробування, отримані значення коефіцієнтів запасу втомлювальної міцності не перевищують нормативного значення, яке згідно [2, 3] приймалося $[n] = 1,5$.

В результаті обробки експериментальних даних мінімальне значення коефіцієнту запасу втомлювальної міцності 2,84 було отримано для точки C4, що не менше нормативного значення.

Отримані результати дають право стверджувати, що несуча конструкція планувальника баластної призми СПЗ-5/UA має значний запас міцності. Такі результати вказують на можливість оптимізації конструкції несучої рами досліджуваної машини.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Соломонов, С. А. Путевые машины [Текст] / С. А. Соломонов. – М.: Желдориздат, 2000. – 726 с.
2. Машины путевые. Нормы и требования безопасности, эргономики, санитарно-гигиенические и природоохранные. Основные положения. РД 32.65-96 [Текст] / ВНИИЖТ МПС РФ. – М., 1996.
3. Нормы прочности металлоконструкций путевых машин. ОСТ 32.62-96 [Текст] / ВНИИЖТ МПС РФ. – М., 1996.
4. Система испытаний подвижного состава. Организация и порядок проведения приёмочных и сертификационных испытаний тягового подвижного состава. ОСТ 32.53-96 [Текст] / ВНИИЖТ МПС РФ. – М., 1996.
5. Тимошенко, С. П. Сопротивление материалов [Текст] : т. II / С. П. Тимошенко. – М.: Наука, 1965. – 480 с.

Надійшла до редколегії 06.01.2011.

Прийнята до друку 12.01.2010.

В. А. ПОЛЯКОВ, Н. М. ХАЧАПУРИДЗЕ (Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, Днепропетровск)

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА

Визначено та описано фактори, які ускладнюють обстановку руху магнітолевітуючого поїзда. Відзначено вплив цих ускладнень на задачу його руху. Констатовано неможливість парирування описаної колізії без радикального підвищення його динамічних ресурсів. Доведено, що керованість системи досяжна лише за умови подолання її надлишкових ступенів свободи. Простежено раціональний шлях такого подолання. Розроблено методику побудування руху поїзда у непередбачуваній обстановці, що враховує його особливості.

Ключові слова: магнітолевітуючий поїзд, побудування руху, непередбачувана обстановка руху

Определены и описаны факторы, усложняющие обстановку движения магнитолевитирующего поезда. Отмечено влияние этих осложнений на двигательную задачу поезда. Констатирована невозможность парирувания описанной коллизии без радикального повышения его динамических ресурсов. Показано, что управляемость системы достижима лишь при условии преодоления её избыточных степеней свободы. Прослежен рациональный путь такого преодоления. Разработана методика построения движения поезда в непредсказуемой обстановке, учитывающая его особенности.

Ключевые слова: магнитолевитирующий поезд, построение движения, непредсказуемая обстановка движения

Factors, which complicate the situation of magnetic levitated train motion, are revealed and described. Influence of these complications on motion problems of a train is noted. The impossibility of parrying of the described collision without a radical rising of dynamic resources of a train is stated. It is shown that the achievement of controllability of the system is possible only if the overcoming of surplus degrees of its freedoms is achieved. The rational way of such an overcoming is shown. The technique of construction of the train motion in unpredictable conditions, which considers features of such a construction, is developed.

Keywords: magnetic levitated train, construction of motion, unpredictable conditions of motion

Інтенсифікація перевозочного процесу приводить до значительному обостренню внутрішньої і зовнішньої обстановки руху магнітолевітуючого поїзда (МЛП). Це, в свою чергу, ускладнює його двигальні задачі (ДЗ) як структурно, так і функціонально. Лавинообразно нарастає різноманітність реакцій, вимаганих від артефакта для збереження вимаганого якості руху. До цих реакціям пред'являються все більш високі вимоги диференційованості і точності. Осложняється їх зміст. Одночасно серед ДЗ МЛП постійно зростає кількість завдань непередбачуваних, разових, екстемпоральних – взаємно передбачуваних, стандартних, паттерних. Парирувати описану колізію неможливо без радикального підвищення динамічних ресурсів поїзда.

Механічні і електромагнітні системи, які можуть бути прийняті як адекватних розрахункових схем відповідуючих підсистем МЛП, як правило, є більшими і в багатьох аспектах складними. Звичайно вони не стаціонарні, суттєво не лінійні, не го-

лономні, багатов'язні і мають велику кількість надлишкових ступенів свободи. Більшість обмежень, накладуваних на зміну їх координат, мають динамічний, а не аналітичний характер. Тому зв'язями, строго говорячи, такі обмеження не є [1] і не скорочують кількість ступенів свободи своїх систем. Достигнути управляемості таких систем можливо лише, подолавши згадані надлишкові ступені свободи [2].

Для подавляючої більшості нинішніх технічних систем традиційним шляхом такого подолання є введення в них додаткових аналітичних зв'язей, як правило, мають контактну натурну реалізацію. Це – хоча і можливий, однак дуже примітивний і не вигідний в багатьох аспектах шлях розв'язання поставленої проблеми. Для МЛП це, очевидно, прийнятним не є, тим більше що в основі концепції такого поїзда лежить бесконтактний – полевий – принцип динамічного впливу на загальне положення і орієнтацію екіпажів [3].

Гораздо более рациональным и приемлемым для МЛП способом преодоления избыточных степеней свободы расчётной схемы (РС) его механической подсистемы (МПС) является координация её движений [4], их построение в форме динамически устойчивых, целостно слитных, структурно единых синергий. Для этого, прежде всего, эта подсистема должна иметь специально созданную структурно-параметрическую организацию, конгруэнтную такому способу управления ею.

Управляемое возмущённое движение РС МПС МЛП может быть описано моделью:

$$\begin{aligned} a_{\lambda\mu} \cdot \eta^\mu &= E_\lambda + \Pi_\lambda; \\ a_{\lambda\mu} &= c_{\lambda\mu} \cdot p^{(2)} + (C_{\lambda,\mu\nu} \cdot \eta^\nu + \beta_{\lambda\mu}) \cdot p + l_{\lambda\mu}; \\ p &= \frac{d}{dt} \quad \forall \lambda, \mu, \nu \in [\overline{1, L}], \end{aligned} \quad (1)$$

где $c_{\lambda\mu}, C_{\lambda,\mu\nu}, E_\lambda, \Pi_\lambda \quad \forall \lambda, \mu, \nu \in [\overline{1, L}]$ – ковариантный метрический тензор агрегата, выбранного в качестве этой РС, трехиндексный символ Кристоффеля первого рода такого агрегата в координатах $\eta^\lambda \quad \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$, а также сопряжённые с ними обобщённые возмущающие и управляющие силы; $\beta_{\lambda\mu}, l_{\lambda\mu} \quad \forall \lambda, \mu \in [\overline{1, L}]$ – диссипативные и квазиупругие коэффициенты модели; L, t – число степеней свободы упомянутого агрегата, а также время. Значения $c_{\lambda\mu}, C_{\lambda,\mu\nu}, \beta_{\lambda\mu}, l_{\lambda\mu} \quad \forall \lambda, \mu, \nu \in [\overline{1, L}]$ зависят от параметров и структуры РС МПС МЛП. Если уравнения этой модели упорядочены, то коэффициенты $a_{\lambda\lambda} \quad \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$ характеризуют динамические качества каналов подсистемы, соответствующих её координатам. Коэффициенты же $a_{\lambda\mu} \quad \forall \lambda \neq \mu; \lambda, \mu \in [\overline{1, L}]$ характеризуют взаимодействие таких каналов. Кроме того, имеют место соотношения:

$$\begin{aligned} E_\lambda &= S_\lambda^\alpha \cdot Q_\alpha; \quad \Pi_\lambda = S_\lambda^\alpha \cdot V_\alpha \\ \forall \alpha \in [\overline{1, N}]; \lambda \in [\overline{1, L}], \end{aligned} \quad (2)$$

где $Q_\alpha, V_\alpha \quad \forall \alpha \in [\overline{1, N}]$ – векторные (непосредственно реализуемые) возмущающие и управляющие воздействия на МПС МЛП; $N, S_\lambda^\alpha \quad \forall \alpha \in [\overline{1, N}], \lambda \in [\overline{1, L}]$ – число опорных координат её РС, а также структурная матрица агрегата, принятого в её качестве. Поэтому степень

влияния возмущающих $Q_\alpha \quad \forall \alpha \in [\overline{1, N}]$ и управляющих $V_\alpha \quad \forall \alpha \in [\overline{1, N}]$ воздействий на каналы подсистемы также зависит от ее структуры. Иными словами, результатом любой особенности РС МПС МЛП, ведущей к взаимосвязанности ее координат, является недиагональность матрицы $\{a_{\lambda\mu} \quad \forall \lambda, \mu \in [\overline{1, L}]\}$. Исходя из этого, степень связанности упомянутых координат можно эффективно характеризовать значениями элементов $a_{\lambda\mu} \quad \forall \lambda \neq \mu; \lambda, \mu \in [\overline{1, L}]$ этой матрицы.

Преодоление избыточных степеней свободы РС МПС МЛП может быть инициировано использованием многоканальных регуляторов, которые, помимо каналов автономного управления, содержат дополнительные внешние перекрестные связи каналов. Указанные внешние связи, дополняя имеющиеся внутренние перекрестные связи управляемого объекта, должны создавать достаточные условия для внутригруппового согласования его связываемых фазовых координат. Поведение же каждой согласуемой группы таких координат, свобода изменения которых ограничена межканальными связями, должно быть эквивалентно поведению единого канала. Тогда оно может синтезироваться методами, соответствующими лишь требованиям к качеству координированного движения.

Конкретизируем приведенные качественные соображения. Для этого разделим $2 \cdot L$ управляемых компонентов вектора состояния МПС поезда $\gamma^p = \{\eta^\lambda, \dot{\eta}^\lambda \quad \forall \lambda \in [\overline{1, L}]\} \quad \forall p \in [\overline{1, 2 \cdot L}]$ на две макрогруппы. В первую из них включим J таких компонентов, требующих автономного управления ими. К ним могут, например, относиться пути, пройденные центрами масс экипажей поезда, углы, определяющие ориентации их кузовов, а также производные этих величин по времени. Во вторую же из упомянутых макрогрупп включим $K = 2 \cdot L - J$ компонентов, подлежащих (хотя бы частичному) преодолению и составляющих группы координат, требующих внутригрупповой координации.

Внутри первой макрогруппы могут встречаться имманентно взаимосвязанные координаты. Стремление к изоляции соответствующих им каналов, стимулированное желанием упростить управление указанными координатами, может акцентироваться условиями нежелательности (или даже недопустимости) их взаимовлияния. Тогда разделение может быть достиг-

нуто, например, исходя из следующего. Как показано, условием независимости λ -го канала системы относительно μ -го является соблюдение соотношения

$$a_{\lambda\mu} \equiv 0; \lambda \neq \mu. \quad (3)$$

Совокупность выражений (1) и (3) позволяет находить для системы структурные и параметрические решения, реализация которых гарантирует полную сепарацию каналов, взаимодействия которых нежелательно.

Из принятого принципа разделения фазовых координат системы на описанные макрогруппы следует, что в части, соответствующей первой такой макрогруппе, построение движения может быть с успехом выполнено методами одноканального управления. Требуемый закон движения в части каждой из фазовых координат $\gamma^p = \{\eta^\lambda, \dot{\eta}^\lambda \mid \forall \lambda \in [1, J/2]\} \mid \forall p \in [1, J]$, подлежащих автономному управлению ими, может обеспечиваться, например, с помощью игровых минимаксных [5], а также терминальных [6] методов управления, концептуально гарантирующих заданное качество этого движения. Стратегии управления этими фазовыми координатами должны определяться из решения игровых минимаксных задач, задаваемых моделью (1), а также соотношениями вида

$$\gamma^p(t) \in \Gamma_p \mid \forall t \in [t_s, \tau], p \in [1, J]; \quad (4)$$

$$V_p^p(t) \in \Lambda_p^p \mid \forall t \in [t_s, \tau], p \in [1, J]; \quad (5)$$

$$\gamma^p(\tau) \in \Theta_p \mid \forall p \in [1, J]; \quad (6)$$

$$w_p(t) \in W_p \mid \forall t \in [t_s, \tau], p \in [1, J] \quad (7)$$

согласно выражениям:

$$I_p^p = \inf_{V_p^p(\bullet) \mid w_p(\bullet)} \sup_{\tau} \left\{ \int_{t_s}^{\tau} \lambda_p [V_p^p(\bullet), w_p(\bullet)] \cdot dt : \right. \\ \left. V_p^p(\bullet) \in \Lambda_p^p, w_p(\bullet) \in W_p, t \in [t_s, \tau] \right\} \\ \forall p \in [1, J], \quad (8)$$

где $I_p^p \mid \forall p \in [1, J]$ – показатели качества программных управлений $V_p^p(\bullet) \mid \forall p \in [1, J]$; $\lambda_p \mid \forall p \in [1, J]$ – заданные функции своих аргументов. В соотношениях (4)...(7) дополнительно

обозначено: $\Gamma_p, \Lambda_p^p, W_p$ – заданные замкнутые множества, ограничивающие допустимые состояния и программные управления подсистемы, соответствующей p -ой управляемой фазовой координате, а также возможные реализации её возмущений; $\Theta_p, [t_s, \tau]$ – целевое множество движения по p -ой фазовой координате и его терминальный интервал. Здесь везде функция с точкой на месте аргумента означает всю совокупность её возможных значений, как единое целое. Такие программные движения $\gamma^{pp}(t) \mid \forall p \in [1, J], t \in [t_s, \tau]$ оптимальны по критериям $I_p^p \mid \forall p \in [1, J]$ при любых возмущениях $w_p(t) \in W_p \mid \forall t \in [t_s, \tau], \forall p \in [1, J]$.

Входящие во вторую макрогруппу компоненты фазового вектора, как указано, составляют группы, требующие внутригрупповой координации. Для любой i -ой из этих групп $\gamma_i^\mu \mid \forall \mu \in [\Phi_i, \Delta_i]$ такое требование может быть формализовано соотношениями

$$\Phi_{ij}(\gamma_i^\mu \mid \forall \mu \in [\Phi_i, \Delta_i]) = 0$$

$$\forall j \in [1, H_i]; \Delta_i - \Phi_i = G_i, \quad (9)$$

где $\Phi_{ij} \mid \forall j \in [1, H_i]$ – операторы (конечные, дифференциальные, интегро-дифференциальные или иные), воздействующие на координаты $\gamma_i^\mu \mid \forall \mu \in [\Phi_i, \Delta_i]$; Φ_i, Δ_i – начальный и конечный порядковые номера таких координат среди $\gamma^\lambda \mid \forall \lambda \in [1, 2 \cdot L]$; G_i, H_i – числа координат, входящих в i -ю группу, а также ограничений, накладываемых на них условиями согласования.

Выдвинутое требование эквивалентности поведения группы согласуемых координат и единого канала удовлетворимо лишь, если

$$H_i = G_i - 1. \quad (10)$$

Если же фактически для группы координат $H_i < G_i - 1$, то результирующему координированному движению могут быть приданы новые полезные качества путем наложения дополнительных $D_i = G_i - (H_i + 1)$ ограничений на такие согласуемые координаты. Если же, напротив, $H_i > G_i - 1$, то «избыточные» $P_i = H_i - (G_i - 1)$ ограничений должны быть отброшены. Однако, в любом случае, все ограничения (9) должны быть непротиворечивыми. В про-

тивном случае согласованное движение нереализуемо.

Выражения (9) и (10) определяют поведение i -ой группы согласуемых координат с точностью до одной управляемой переменной

$$\sigma_i = \sigma_i(\gamma_i^\mu \forall \mu \in [\overline{\Phi_i}, \overline{\Delta_i}]), \quad (11)$$

которую назовем агрегированной. Таким образом, построение движения системы в части рассматриваемой группы согласуемых фазовых координат сводится к поддержанию соотношений (9) между ними (при соблюдении равенства (10)), а также управлению агрегированной переменной σ_i . При этом полная задача синтеза движения МПС МЛП упрощается до независимого управления

$$M = J + \Psi \quad (12)$$

фазовыми координатами, J из которых составляют первую упомянутую макрогруппу компонентов состояния такой подсистемы (требующих независимого управления ими изначально), а Ψ координат являются агрегированными и определяются соотношениями типа (11). Фактически Ψ – это число групп координат во второй из указанных их макрогруппе, требующих внутригрупповой координации. Поэтому

$$K = G_i \cdot e^i \forall i \in [\overline{1}, \overline{\Psi}], \quad (13)$$

где $e^i \forall i \in [\overline{1}, \overline{\Psi}]$ – Ψ -мерный единичный вектор-столбец.

В части, соответствующей второй макрогруппе координат РС МПС МЛП, конструирование высококачественного координированного движения осуществимо путем регулирования агрегированных переменных $\sigma_i \forall i \in [\overline{1}, \overline{\Psi}]$, а также возникающих при этом ошибок согласования, которые могут быть охарактеризованы матрицей уклонения

$$\delta_{ij} = \{\phi_{ij}(\gamma_i^\mu \forall \mu \in [\overline{\Phi_i}, \overline{\Delta_i}])\} \quad \forall i \in [\overline{1}, \overline{\Psi}], j \in [\overline{1}, \overline{H_i}]. \quad (14)$$

Соотношения (11) и (14) задают преобразование вектора $\gamma_i^\mu \forall \mu \in [\overline{\Phi_i}, \overline{\Delta_i}]$, характеризующего состояние МПС МЛП в части i -ой группы согласуемых фазовых координат, в агрегированную переменную σ_i , а также вектор уклонения $\delta_{ij} \forall j \in [\overline{1}, \overline{H_i}]$. Поэтому всегда, за исключением вырожденных случаев, требования к качеству соответствующего координированно-

го движения могут быть исчерпывающе полно и однозначно трансформированы в требования к закону изменения агрегированной переменной и уклонению от него. Таким образом, каждая из подзадач построения движения МПС МЛП в части, соответствующей группе согласуемых каналов, редуцируется до обеспечения требуемого характера агрегированного движения, а также минимального уклонения таких каналов.

Агрегированные переменные $\sigma_i \forall i \in [\overline{1}, \overline{\Psi}]$, в зависимости от необходимости, могут управляться различным образом. В частности, если каким-либо из составляющих их координат в результирующей динамике МПС МЛП желательно придать конкретные фазовые траектории, то они могут быть достигнуты путём соответствующих изменений агрегированных переменных, в состав которых они входят. Требуемые для этого стратегии $\sigma_i(t) \forall i \in [\overline{1}, \overline{\Psi}]$ $t \in [t_s, \tau]$ могут быть получены из соотношений типа (11) после подстановки в них выражений $\gamma_i^\mu(t) \forall \mu \in [\overline{\Phi_i}, \overline{\Delta_i}], i \in [\overline{1}, \overline{\Psi}], t \in [t_s, \tau]$, являющихся желаемыми законами изменения агрегированных фазовых координат. При этом на те из них, законы изменений которых не критичны, должны накладываться двусторонние ограничения, вытекающие из условий безопасности движения МЛП, а также иных естественных причин.

Немало особенностей возникает и на стадии создания регулятора МЛП. Предназначенный для построения движения поезда в непредсказуемой обстановке, он должен обеспечивать высокую результативность обработки и использования больших потоков информации. Это возможно лишь при реализации иерархических принципов такого построения [7] за счёт систематизации, структуризации, уровневой градации, детализации и конкретизации, а поэтому – полноты охвата и использования упомянутой информации о состоянии системы на различных уровнях построения её движения. Для каждого из таких уровней становится характерной структурная и функциональная информационная селективность и дифференциация, а поэтому – способность к высококачественной реализации избранного для него круга функций. Эмерджентность такой системы проявляется иерархической синтетичностью функционирования уровней построения движения в его результирующем качестве.

Основными факторами, влияющими на качество движения МЛП, являются: параметры и

структура системы, определяющие её кинематическую и динамическую достаточность для выполнения такого движения; текущая внутренняя и внешняя обстановка, в которой оно реализуется; свойства регулятора системы, в первую очередь – его алгоритма функционирования. Исходя из этого, минимально достаточна трёхуровневая структура упомянутого регулятора: на его низовом уровне – интроконтроллер, реализующий требуемый набор паттерн движений МЛП, а также их устойчивых синергий; на промежуточном уровне – адаптер, приспособляющий движения к обстановке; на верхнем уровне – координатор, исчерпывающе решающий, в синтетическом взаимодействии с блоками предыдущих уровней, двигательную задачу поезда. Функциональная глобальность этих блоков возрастает в инверсном порядке: координатор является ведущим, синтезирующим уровнем регулятора; адаптер – промежуточным, согласующим; интроконтроллер – фоновым, провайдерным.

Основная задача интроконтроллера – «внутрисистемное» управление создаваемым движением, состоящее в исходной инициации его требуемых первичных компонентов, а также их «внутренней» увязке. Это, в свою очередь, предполагает согласованное функционирование исполнительных органов, налаживание их нужных синергий и так далее. Необходимые сведения должны оперативно поступать от датчиков «внутреннего очувствления» системы и составляют первую из информационных макрогрупп регулятора. Для наилучшего соответствия своему предназначению, помимо широкого, точного и оперативного доступа к сведениям, составляющим указанную макрогруппу информационного обеспечения регулятора, интроконтроллер должен обладать как можно более полными наборами представлений мыслимых паттерн движений, а также законов, согласно которым должны изменяться управления этого уровня для реализации таких паттерн. С этой целью в памяти описываемого уровня регулятора целесообразно разместить словарь «движение – управление», выделение которого в виде отдельного блока позволит упростить логическую структуру алгоритма, а также достаточно просто менять и наращивать правила реагирования в процессе обработки.

Синтезируемое движение МЛП, происходя в условиях, в общем случае, непредсказуемо изменяющейся обстановки, должно гарантировано сохранять требуемое качество. Этого возможно достигнуть путём коррекции и коорди-

нации компонентов упомянутого движения, реализуемых интроконтроллером, в зависимости от складывающейся внутренней и внешней его обстановки. Поэтому основным функциональным предназначением промежуточного уровня построения такого движения должно стать придание ему свойства приспособляемости к обстановке, базирующегося на результатах обработки второй информационной макрогруппы регулятора.

При изменении внешней и (или) внутренней обстановки движения, должны приниматься решения относительно стратегии его адаптации, то есть – способа формирования управляющих воздействий на него со стороны адаптационного уровня регулятора (адаптера) в новых условиях. Иными словами, управление должно отслеживать обстановку, которая, как отмечалось, может изменяться непредсказуемо. Поэтому достаточно адекватные алгоритмы синтеза требуемых законов управления могут быть построены лишь с использованием дифференциально-игровых методов [5], концептуально гарантирующих качество адаптации,

Адаптационный уровень регулятора (аналогично предыдущему) может иметь в своем составе словарь «обстановка – управление». Для этого, помимо блока опознавания обстановки, обладающего богатым набором параметризованных ожидаемых обстановок движения, на этом уровне его построения должен иметься поисковый модуль, эффективно реализующий отображение множества классов обстановки во множество управлений адаптационного уровня построения движения.

Итогом реализации движения поезда должно явиться исчерпывающее решение стоящих перед ним задач. Однако описанные уровни построения указанного движения (ни порознь, ни в совокупности) не имеют возможности такое решение обеспечить. Это – предназначение верхнего уровня регулятора (координатора). Обработывая информацию третьей макрогруппы, и, следовательно, исходя из глобальных целей конструируемого движения, этот уровень его построения должен, прежде всего, определять алгоритм достижения таких целей, то есть осуществлять отображение множества целей, вытекающих из решаемых двигательных задач, во множество алгоритмов их решения. Такое отображение может достаточно целесообразно реализовываться соответствующим поисковым модулем после размещения в памяти координационного уровня регулятора словаря «задача – алгоритм».

Двигательные задачи, подлежащие решению (с их детализацией до преследуемых целей), должны ставиться перед системой извне (например, с помощью модуля-задатчика) и корректироваться с учетом складывающейся обстановки (которая оценивается адаптером). Вслед за выявлением общего алгоритма такого решения, должен определяться двигательный состав задачи (то есть – минимально достаточный набор паттерн движений), инициироваться запросы на их реализацию (под непосредственным управлением интроконтроллера во взаимодействии с адаптером), а также осуществляться тщательный контроль и корректировка этой реализации. В результате осуществления этого блока операций, синтезируются управления МЛП. Таким образом, в любой момент как информационные потоки координатора (между ним, с одной стороны, и адаптером, задатчиком, а также интроконтроллером – с другой), так и обслуживающие его функционирование фоновые паттерны движений должны быть релевантны решаемой ими (в совокупности) задаче. В то же время, функциональная организация такого решения всегда должна предшествовать его двигательной организации.

Итак, результирующее движение системы строится в процессе синтетического взаимодействия трех описанных уровней регулятора. Ведущая роль в таком построении всегда принадлежит верхнему уровню, который, с помощью синтезируемых им управлений, координирует работу двух нижележащих уровней так, чтобы упомянутое результирующее движение всегда оставалось целенаправленным (то есть, решало поставленные перед ним задачи). Базис того же построения составляют паттерны движений, а также их устойчивые синергии, конструируемые нижним уровнем регулятора (с учетом всех «внутренних» особенностей системы) под воздействием его управлений. Наконец, адаптация движения к обстановке осуществляется под воздействием управлений, синтези-

руемых промежуточным уровнем регулятора. Тот же уровень корректирует подлежащие решению двигательные задачи исходя из результатов оценки обстановки.

Реализация разработанной методики построения движения МЛП в непредсказуемой обстановке, в конечном итоге, ведёт к преодолению избыточных степеней свободы системы путём координации её движений. Это, в свою очередь, как показано, позволяет существенно повысить управляемость артефакта и, как следствие, – качество его движения без затраты на это чрезмерных обобщённых ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берёзкин, Е. Н. Курс теоретической механики [Текст] / Е. Н. Берёзкин. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – 645 с.
2. Управление движением механических систем [Текст] / Е. Я. Смирнов [и др.]. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1985. – 316 с.
3. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией [Текст] / В. А. Дзензерский [и др.]. – К.: Наук. думка, 2001. – 479 с.
4. Алгоритмы управления движением шагающего аппарата: препринт № 63 [Текст] / Д. Е. Охотимский [и др.]. – М.: ИПМ АН СССР, 1972. – 38 с.
5. Красовский, Н. Н. Управление динамической системой. Задача о минимуме гарантированного результата [Текст] / Н. Н. Красовский. – М.: Наука, 1985. – 520 с.
6. Бортовые терминальные системы управления: Принципы построения и элементы теории [Текст] / Б. Н. Петров [и др.]. – М.: Машиностроение, 1983. – 200 с.
7. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем [Текст] / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1973. – 332 с.

Поступила в редколлегию 19.04.2011.

Принята к печати 21.04.2011.

Н. А. РАДЧЕНКО (ИТСТ, Трансмаг НАН Украины), О. В. ЗВОНАРЕВА (ДИИТ),
Т. И. КУЗНЕЦОВА (ИТСТ, Трансмаг НАН Украины)

О ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТАХ ОЧЕРТАНИЯ ПУТЕВЫХ КОНТУРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ С ПЛОСКОЙ ПУТЕВОЙ СТРУКТУРОЙ

Описано два варіанти окреслення колійних контурів електродинамічної транспортної системи з плоскою колійною структурою, що відповідають умовам стійкості руху транспортного засобу в прямолінійних та криволінійних ділянках шляху.

Ключові слова: окреслення колійних контурів електродинамічної транспортної системи, плоска колійна структура, умови стійкості руху

Описаны два варианта очертания путевых контуров электродинамической транспортной системы с плоской путевой структурой, соответствующей условиям устойчивости движения транспортного средства в прямолинейных и криволинейных участках пути.

Ключевые слова: очертание путевых контуров электродинамической транспортной системы, плоская путевая структура, условия устойчивости движения

Two new shapes for ground coils of an electrodynamic transport system with plain track structure, providing stable motion of the levitating vehicle in the rectilinear and curvilinear track sections are proposed.

Keywords: shapes for ground coils of an electrodynamic transport system, plain track structure, conditions of motion stability

В ранее изложенных материалах [1, 2], посвященных описанию конструктивных схем и оценке динамики электродинамических экипажей для систем с плоской путевой структурой, предлагались в качестве путевых контуров прямоугольное их очертание в плане. Однако может оказаться целесообразным использование контуров шестиугольного очертания в плане по конструктивным соображениям и, в первую очередь, по условиям размещения на плоских донных поверхностях транспортных средств и по рациональным значениям намагничивающей силы в соленоидах магнитов.

Для таких систем важно, чтобы их параметры соответствовали бы условиям устойчивого прямолинейного и криволинейного движения транспортного средства.

Поэтому, изложенные в настоящей работе материалы представляют теоретический и практический интерес.

Рассмотрим возможность использования шестиугольных путевых контуров из условия устойчивости движения транспортного средства в прямолинейных и криволинейных участках плоской путевой структуры на основе оценки пространственных колебаний экипажа в широком диапазоне скоростей.

Будем рассматривать движение транспортного средства, представляемого электромеханической системой, состоящего из трех твердых тел (кузова и двух тележек с прикреплен-

ными к ним магнитами на плоских горизонтальных поверхностях) и путевых контуров, в которых индуцируются токи от экипажных магнитов. Кузов опирается на две тележки в вертикальном и поперечном направлениях посредством упруго-диссипативных элементов. Сверхпроводящие магниты установлены в два ряда, которые разнесены в поперечном направлении на максимально возможное расстояние по ширине тележек, и установлены так, чтобы проекции их продольных осей совпадали в состоянии равновесия с продольными осями путевых контуров.

Очертание шестиугольных путевых контуров получено путем деления на две равных части продольных сторон прямоугольных контуров и смещения точек их деления в наружную или во внутреннюю стороны от продольной оси контуров.

Математическая модель движения экипажа представляет собой систему связанных дифференциальных уравнений, описывающих его пространственные колебания с помощью уравнений Лагранжа II рода, и изменение наведенных токов в контурах от магнитов, перемещающихся вместе с экипажем [1].

На начальном этапе исследований были определены рациональные значения основных параметров системы, удовлетворяющие условию устойчивости движения экипажа в прямо-

линейных и криволинейных участках путевой структуры.

Для экипажа, масса кузова которого равна 25 т, а двух тележек по 3,75 т, рациональными значениями размеров соленоидов сверхпроводящих магнитов и путевых контуров оказались: диаметр прутков контуров 0,03 м, длина соответственно магнитов и контуров 1,2 и 1,0 м, ширина магнита 0,75 м, контура в верхней части 0,30 м, а в средней части 0,05 м (вариант I). Во втором в качестве рационального варианта рассматривался случай, когда ширина магнита равна 0,9 м, а контура в верхней части 0,3 м, в средней части – 0,5 м. Намагничивающая сила в соленоидах составила 690 тыс. А·витков для I-го варианта очертания контуров и 306 тыс. А·витков – для II-го варианта.

Рассматривалось движение по участку плоской путевой структуры следующего очертания в плане: прямолинейный участок пути протяженностью 150 м, входная переходная кривая длиной 500 м, круговая кривая радиусом 8000 м с углом наклона поверхности путевой структуры к горизонтальной плоскости в сторону центра кривизны 0,1 рад длиной 150 м, выходная переходная кривая протяженностью 400 м и прямолинейный участок пути – 400 м. Очертание переходных кривых принималось таким, при котором их кривизна изменялась по синусоидальному закону [3].

Рассмотрим полученные результаты расчетов, оценивая динамические качества экипажа по критерию устойчивости его движения по максимальным значениям перемещений кузова и тележек, левитационным зазорам под сверхпроводящими магнитами, ускорением кузова в вертикальном и поперечном направлениях.

Отметим, что перемещения всех твердых тел быстро затухают как в прямолинейных, так и в криволинейных участках путевой структуры, т.е. движение экипажа устойчиво, перемещения кузова и тележек в вертикальном направлении, углы их галопирования и виляния практически не зависят от кривизны пути, а перемещения бокового отбоя кузова y_k и тележек y_i (k и i – индексы для обозначения кузова и номера тележек) и углы боковой их качки θ_k и θ_i имеют наибольшие значения в круговой кривой, также как и значения поперечных ускорений кузова $\ddot{y}_k$. Поэтому ниже приведем значения перемещений тележек в вертикальном направлении и максимальные значения величин y_k , y_i , θ_k , θ_i , $\ddot{z}_k$, $\ddot{z}_i$.

Для случаев, когда имеет место левитационное движение в интервале скоростей 30 и 100 м/с:

I-й вариант очертания путевых контуров

а) значение скорости 30 м/с:

$$z_i = 0,05 \text{ м}, y_k = 0,099 \text{ м}, y_i = 0,05 \text{ м},$$

$$\theta_k = 0,017 \text{ рад}, \theta_i = 0,0053 \text{ рад},$$

$$\ddot{z}_k = 0,99 \text{ м/с}^2, \ddot{y}_k = 0,8 \text{ м/с}^2;$$

б) значение скорости 100 м/с:

$$z_i = 0,18 \text{ м}, y_k = 0,027 \text{ м}, y_i = 0,01 \text{ м},$$

$$\theta_k = 0,0082 \text{ рад}, \theta_i = 0,0047 \text{ рад},$$

$$\ddot{z}_k = 0,3 \text{ м/с}^2, \ddot{y}_k = 0,31 \text{ м/с}^2;$$

II-й вариант очертания путевых контуров

а) скорость 30 м/с:

$$z_i = 0,039 \text{ м}, y_k = 0,059 \text{ м}, y_i = 0,028 \text{ м},$$

$$\theta_k = 0,0135 \text{ рад}, \theta_i = 0,0053 \text{ рад},$$

$$\ddot{z}_k = 0,22 \text{ м/с}^2, \ddot{y}_k = 0,8 \text{ м/с}^2;$$

б) скорость 100 м/с:

$$z_i = 0,17 \text{ м}, y_k = 0,06 \text{ м}, y_i = 0,041 \text{ м},$$

$$\theta_k = 0,0128 \text{ рад}, \theta_i = 0,0049 \text{ рад},$$

$$\ddot{z}_k = 0,4 \text{ м/с}^2, \ddot{y}_k = 0,3 \text{ м/с}^2.$$

Как видно из приведенных результатов, для обоих вариантов очертания контуров путевой структуры имеет место левитационное движение экипажа при небольших перемещениях твердых тел системы.

Результаты этих исследований могут оказаться интересными и полезными для конструкторов, занимающихся созданием электродинамических транспортных средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колебания и устойчивость движения экипажей электродинамических транспортных систем нетрадиционных конструкций [Текст] / В. А. Дзензерский [и др.] // Вестник Херсонск. нац. ун-та «ХНТУ». – 2009. – Вып. 35. – С. 185-189.
2. К выбору рациональных конструктивных схем электродинамических транспортных систем [Текст] / Н. А. Радченко [и др.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 18-22.
3. Шахунянц, Г. М. Железнодорожный путь [Текст] / Г. М. Шахунянц. – М.: Транспорт, 1969. – 536 с.

Поступила в редколлегию 05.04.2011.

Принята к печати 14.04.2011.

В. Г. СОЛОНЕНКО, Ж. С. МУСАЕВ, А. Н. НЕМАСИПОВА (Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, Алматы, Казахстан)

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА «TALGO» НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Проведено аналіз технічних особливостей та конструктивних переваг вагонів виробництва іспанської компанії «Talго». Проведено аналіз експлуатації швидкісного рухомого складу «Talго» та розглянуто можливість використання нових пасажирських вагонів «Talго» для високошвидкісного руху.

Ключові слова: швидкісний рухомий склад, пасажирський вагон, залізнична колія, швидкість руху поїздів

Проведен анализ технических особенностей и конструктивных преимуществ вагонов производства испанской компании «Talго». Проведен анализ эксплуатации скоростного подвижного состава «Talго» и рассмотрена возможность использования новых пассажирских вагонов «Talго» для высокоскоростного движения.

Ключевые слова: скоростной подвижной состав, пассажирский вагон, железнодорожный путь, скорость движения поездов

The analysis of technical features and constructive advantages of cars manufactured by Spanish company «Talго» is carried out. The analysis of operation of the high-speed rolling stock «Talго» is carried out and the possibility of using new passenger coaches «Talго» for high-speed traffic is considered.

Keywords: high-speed rolling stock, passenger coach, railway track, traffic speed of trains

Одной из основных задач железнодорожного транспорта в условиях рынка является повышение скорости движения поездов. На предстоящие годы в Казахстане на участке Алматы – Астана технико-экономически обоснован уровень максимальной скорости движения грузовых поездов равный 140...180 км/ч, а в перспективе – более 200 км/ч. Повышение максимальной допускаемой скорости движения поездов требует более совершенной конструкции практически всех основных средств железнодорожного транспорта и, прежде всего, подвижного состава и пути.

Вагоны для скоростного и высокоскоростного движения должны обладать не только технико-экономическими характеристиками, а также большое значение приобретают их ходовые качества, высокая износостойкость, надежность и комфортабельность.

Пассажирские вагоны производства компании «Patentes Talго S.A.», эксплуатируемые в Республике Казахстан (РК), обладают традиционными характеристиками систем «Talго»: легкие и подвижные вагоны (легкость конструкции, направляемые оси с колесами независимого вращения, низкий центр тяжести, сочлененное соединение между вагонами), использование последних технологий и разработок специально для климатических и географических условий Республики Казахстан [1].

В поездах производства компании «Talго» используется система вертикальной стабилизации кузова вагона по принципу «Естественного маятника». Это единственная в своем роде и достаточно простая система, основанная на подъеме удерживающей платформы пневмобаллонов подвески над центром тяжести кузовов вагонов. Система предназначена для уменьшения эффекта бокового непогашенного ускорения, влияющего на пассажиров поезда в момент прохождения кривых участков пути. Особое расположение тележек между вагонами используется для установки пары подвесок на высоте близкой к крыше, выше центра тяжести кузовов. Таким образом, центробежная сила наклоняет вагон внутрь поворота. Результатом данного эффекта является достижение максимальной надежности, безопасности движения поездов и комфорта пассажиров.

Технические вагоны пассажирских составов оснащены дизельными генераторными установками, воздушными компрессорами и т.д., что обеспечивает автономность составов от локомотива.

Пассажирские вагоны оснащены электропневматическими тормозами, системой антиблокировки колес, системой антиобледенения водных труб системой кондиционирования воздуха, вакуумными туалетами противопожарной системой, а также электроникой контроля оборудования вагона и т.д.

Водяная система составов, включающая в себя водяные бойлеры и баки, позволяет снабжать пассажирские вагоны необходимым запасом воды на протяжении всей поездки.

Ходовая часть вагонов оборудована механизмом направления колес, что позволяет уменьшать износ колес.

Пассажирские составы эксплуатируются на территории Республики Казахстан с 2004 года по настоящее время.

Основными конструктивными преимуществами вагонов «Talго» являются:

- ✓ Наличие системы естественного наклона кузова (боковое ускорение = $1,5 \text{ м/с}^2$);
- ✓ Независимая подвеска колес;
- ✓ Шарнирное соединение вагонов в составе;

- ✓ Низкий центр тяжести;
- ✓ Легкий кузов;
- ✓ Возможность автоматического перевода колесных пар с ширины колеи 1520 на 1435 мм при скорости 15 км/ч;

- ✓ Конструктивная скорость 220 км/ч (при необходимости до 350 км/ч);

- ✓ Ширина вагона 3200 мм;
- ✓ Адаптация к условиям РК и СНГ;
- ✓ Система обеспечения жизнедеятельности – электрическое (конвертеры) и автономное (дизели-генераторы) питание;

- ✓ Соответствие требованиям международного стандарта безопасности (в т.ч. EN15227 по испытаниям на удар);

- ✓ Низкая посадка кузова, что обеспечивает комфортную посадку и высадку пассажиров, в т.ч. инвалидов.

Максимальные скорости на кривых участках пути наглядно демонстрируют схемы, представленные на рис. 1: схема прохождения кривых участков *а* – вагонами конструкции «Talго», *б* – вагонами традиционной конструкции. Сравнение максимально возможных скоростей движения в кривых для вагонов традиционной и перспективной конструкций показано на рис. 1, *в*.

Кузов вагонов «Talго» изготовлен из специальных профилей алюминиевых сплавов и отвечает европейским нормам структурных требований к корпусам подвижного состава и сварке железнодорожных транспортных средств и компонентов. Внешняя ширина 3200 мм отвечает нормам UIC 505-1 и ГОСТа. Несмотря на легкий вес кузова, его конструкция проверена на прочность многочисленными натурными экспериментами и компьютерным моделированием (рис. 2).

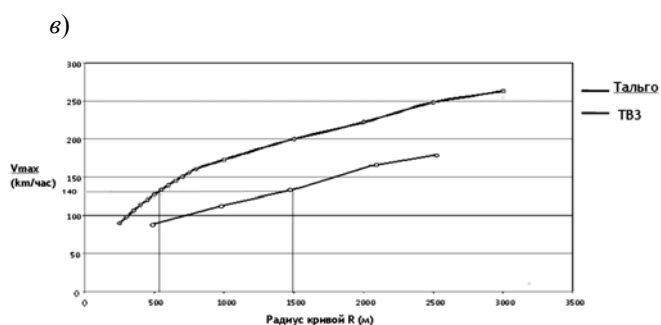
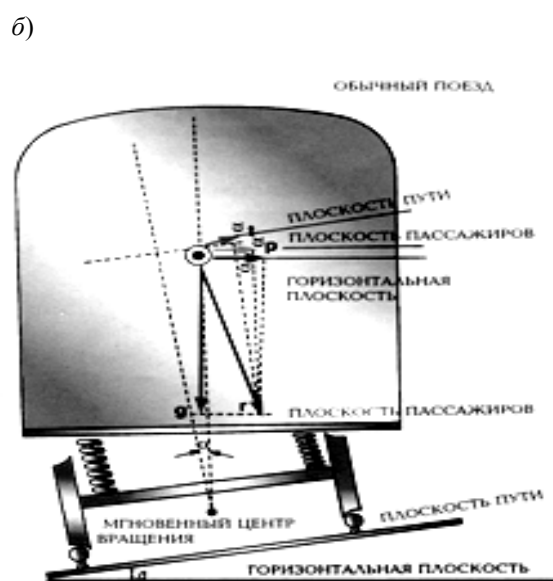
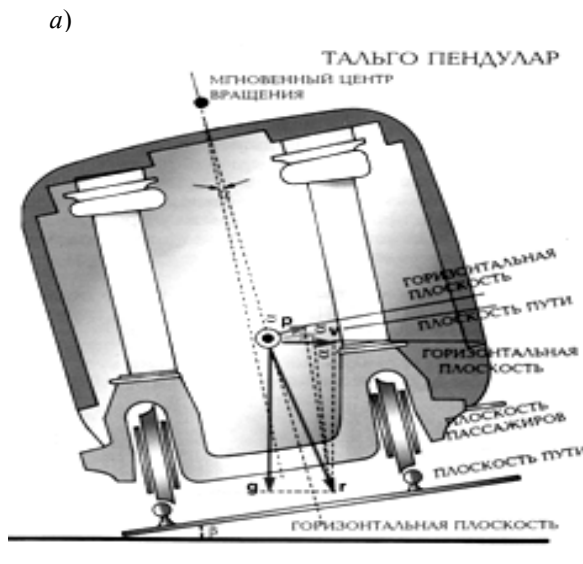


Рис. 1. Сравнительные характеристики скоростей и сил, действующих на вагоны, при движении в кривых: а) вагон «Talго»; б) традиционный пассажирский вагон; в) скорость движения в кривых

Концепция поездов «Talго» может быть представлена в следующих модификациях:

- поезда дальнего следования: могут применяться как для внутренних рейсов, так и для трансаказахстанских сообщений; «гости-

ница-офис» на колесах; формируется состав до 576 мест /35 вагонов;

– пригородные поезда: формируется состав на 540 мест /12 вагонов.

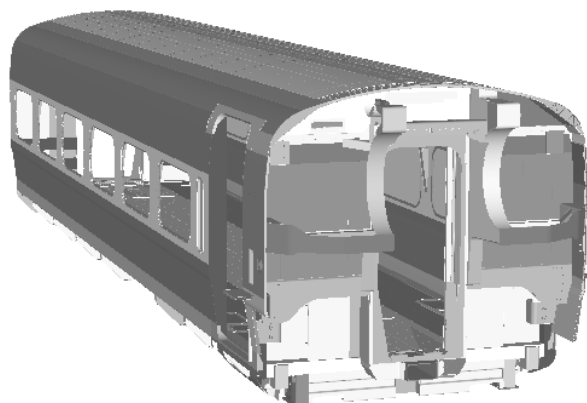


Рис. 2. Фрагмент компьютерного моделирования прочностных характеристик вагона «Talго»

Возможная конфигурация поездов дальнего следования может быть представлена в виде табл. 1.

Таблица 1

Вариант конфигурации поезда дальнего следования

Тип вагона	Кол-во вагонов	Кол-во мест	Всего мест
Технический вагон	2	0	0
Турист	26	20	520
Кафетерий	1	0	0
Ресторан	1	0	0
СВ	3	12	36
Гранд класс	2	10	20
Итого	35	42	576

Вагоны Гранд класса включают в себя 5 двухместных купе, в каждом купе имеются все необходимые удобства, такие как душ и туалет, кроме того, в каждом купе имеется возможность индивидуального просмотра аудио и видеопрограмм. Схема устройства вагонов Гранд класса приведена на рис. 3.

Анализ технологических принципов, использованных при создании подвижного состава «Talго» и обеспечивающих конструктивные преимущества поездов «Talго», представлен на рис. 4.

Согласно данным, представленным компанией «Patentes Talgo S.A.», стоимость вагона при производстве в РК составит € 567 000 ≈

≈ 113,133 млн тенге ≈ \$ 765,9 тыс. Предварительная средняя годовая стоимость технического обслуживания на один вагон при производстве в РК составит € 48 000 ≈ 9,5 млн тенге ≈ \$ 64,8 тыс. Межремонтный пробег до ТО-1 составит 7000 км (ТВЗ – 2000 км).

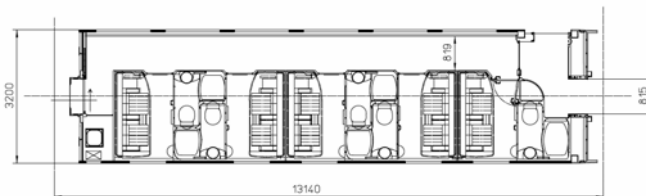


Рис. 3. Компоновка вагона Гранд класса



Рис. 4. Конструктивные преимущества поездов «Talго»

Вывод

Опыт эксплуатации подвижного состава «Talго» на железных дорогах республики подтверждает конструктивные преимущества пассажирских вагонов и возможность их использования в резко-континентальных климатических условиях Казахстана. Устройство ходовых частей подвижного состава «Talго» позволяет двигаться по железнодорожному пути с различной колеей 1520 мм или 1435 мм, при этом отпадает необходимость замены тележек или колесных пар, что позволяет избежать затрат времени на их перестановку и дает возможность осуществлять трансказахстанские пассажирские перевозки в направлении «Восток – Запад». Основным недостатком вагонов «Talго» является то, что конструктивно вагоны предназначены для эксплуатации на бесстыковом пути, а также при движении по звеньевому пути наличие стыковых неровностей обуславливает повышенный износ колесных пар.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструкция вагонов [Текст] : учебник / под ред. С. А. Алпысбаева. – Алматы, 2007. – 360 с.
2. [Electron. resource]. – Access mode: <http://www.talgo.com/index.php/en/home.php>

Поступила в редколлегию 18.02.2011.

Принята к печати 28.02.2011.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАНА СОРТИРОВОЧНЫХ ПУТЕЙ

Розроблено методику визначення оптимальних параметрів з'єднувальних кривих на сортувальних коліях, що забезпечують мінімальну відстань від головного пучкового стрілочного перевалу до уповільнювачів паркових гальмівних позицій. Дана методика може використовуватись під час проектування плану колійного розвитку гіркових горловин.

Ключові слова: сортувальні колії, з'єднувальні криві, пучковий стрілочний перевід, колійний розвиток гіркових горловин

Разработана методика определения оптимальных параметров соединительных кривых на сортировочных путях, которые обеспечивают минимальное расстояние от головного пучкового стрелочного перевода до замедлителей парковых тормозных позиций. Данная методика может использоваться при проектировании плана путевого развития горочных горловин.

Ключевые слова: сортировочные пути, соединительные кривые, пучковый стрелочный перевод, путевое развитие горочных горловин

The method of determination of optimum parameters of connecting curves on marshalling tracks, which insure the minimum distance from the first bunch switch to the seating of park car retarders is developed. This method can be applied in designing the plan of marshalling tracks.

Keywords: marshalling tracks, connecting curves, first bunch switch, hump yard

Конструкция плана путевого развития горочной горловины оказывает существенное влияние на высоту и профиль горки и, следовательно, на расход энергии, связанный с расформированием составов, а также на качество всего сортировочного процесса. Кроме того, от конструкции плана зависит степень износа рельсов и колесных пар вагонов, а также уровень эксплуатационных расходов на техническое обслуживание горловины. Поэтому, выбор рационального варианта плана путевого развития горочной горловины является одной из основных задач при расчете параметров сортировочной горки.

Данная задача имеет существенные особенности, связанные с требованиями к размещению стрелочных переводов, тормозных позиций, а также устройств автоматики с учетом допускаемых радиусов кривых, ширины междупутий и других технических условий. Кроме того, при проектировании необходимо определить положение и параметры дополнительных кривых на спускной части горки и на сортировочных путях.

В настоящее время существует ряд подходов к проектированию горочных горловин. Наиболее трудоемким является графический метод [1], который предусматривает предварительное приближенное определение положения отдельных пучков горловины с последующим аналитическим расчетом неизвестных углов.

Ускорить проектирование горочных горловин позволяет использование ЭВМ для расчета их неизвестных параметров. С этой целью в [2]

была предложена модель горловины в виде ориентированного бинарного дерева и разработан метод расчета, основанный на построении проекции элементов расчетного сортировочного пути на вертикальную ось, который позволяет рассчитать величину одного неизвестного угла на трассе данного пути. Метод позволяет существенно ускорить проектирование горловин, однако при этом проблема выбора рациональных значений совокупности неизвестных углов остается нерешенной.

Учитывая неопределенность выбора параметров горловины, в [3] была предложена методика оптимизации проектирования трассы расчетного крайнего пути по критерию его минимальной расчетной длины. С использованием метода множителей Лагранжа была решена условная вариационная задача нахождения всех неизвестных углов расчетного пути. Однако данный подход не получил широкого распространения, поскольку он не учитывает влияние углов расчетного пути на конструктивные параметры внутренних пучков горловины.

Следует отметить, что в большинстве работ, посвященных проектированию горочных горловин, основное внимание уделяется расчету неизвестных углов на спускной части горки; в то же время существенное влияние на качество проекта оказывают параметры соединительных кривых на сортировочных путях, от которых зависит как расчетная длина горловины в целом, так и сопротивление движению скатывающихся отцепов. Для решения данной задачи в [4] был предложен метод расчета параметров

всех элементов пучков сортировочных путей. Метод основан на представлении конструкции стрелочной зоны пучка путей, которая инвариантна относительно его положения в горловине, с помощью методов аналитической геометрии. Исследования, выполненные в [4] с использованием указанного метода, показали, что во многих случаях на сортировочных путях необходимо укладывать дополнительные соединительные кривые с различными параметрами и направлением поворота.

Выбор рациональных значений параметров соединительных кривых на сортировочных путях представляет собой достаточно сложную оптимизационную задачу, точное решение которой до настоящего времени не получено. В этой связи в [5] предложен интерактивный метод решения данной задачи, позволяющий с использованием ЭВМ осуществлять подбор приемлемых значений параметров конструкции плана сортировочных путей.

Таким образом, в результате анализа научных работ в данной статье была поставлена задача совершенствования конструкции плана горочной горловины путем оптимизации параметров сопрягающих кривых на сортировочных путях.

Одним из составляющих трассы каждого сортировочного пути является участок между последним разделительным стрелочным переводом и расчетной точкой (рис. 1).

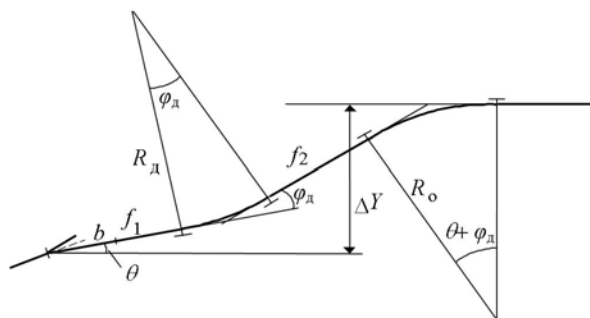


Рис. 1. Расчет параметров сопрягающих кривых на сортировочном пути

При этом план участка сопряжения в общем случае можно описать нелинейным уравнением вида:

$$\Delta Y = (b + f_1) \sin \theta + R_d \cos \theta - R_d \cos(\theta + \varphi_d) + f_2 \sin(\theta + \varphi_d) + R_o - R_o \cos(\theta + \varphi_d), \quad (1)$$

где ΔY – разность ординат центра стрелочного перевода и сортировочного пути;

θ – начальный угол наклона сортировочного пути;

f_1, f_2 – длины прямых вставок;

φ_d – угол дополнительной сопрягающей кривой;

R_o, R_d – радиусы, соответственно, основной и дополнительной сопрягающих кривых.

В качестве независимых переменных в (1) удобно принять параметры f_1, φ_d, R_o, R_d , величины ΔY и θ обычно известны, а величина вставки f_2 при этом находится из данного выражения.

Следует заметить, что в зависимости от параметров ΔY и θ конструкция плана сопрягающих кривых на сортировочном пути может быть трех видов. Указанные кривые могут быть направлены в разные стороны (*S*-образная кривая, см. рис. 1) либо в одну сторону (*U*-образная кривая, рис. 2, путь *i*). Третий простейший вариант конструкции (см. рис. 2, путь *i+1*) используется при отсутствии необходимости устройства дополнительной сопрягающей кривой ($\varphi_d = 0$).

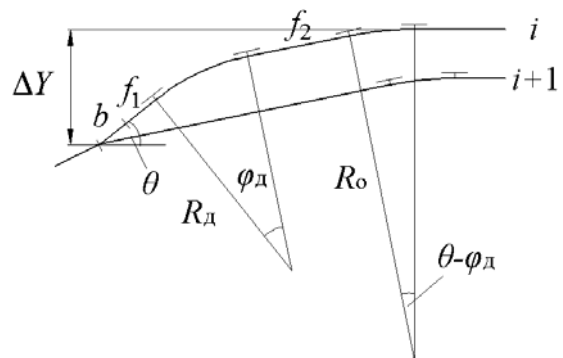


Рис. 2. Варианты сопрягающих кривых

Таким образом, при проектировании горочных горловин возникает задача выбора вида конструкции сопрягающих кривых, а также рациональных значений параметров $f_{li}, \varphi_{di}, R_{oi}, R_{di}, i=1 \dots M$, где M – число сортировочных путей. Как было отмечено выше, основным недостатком существующих методов решения данной задачи является то, что указанные параметры определяются методом подбора, что затрудняет выбор наилучшего варианта плана горловины. Поэтому в данной статье разработана методика оптимизации конструкции сопрягающих кривых на сортировочных путях.

Известно, что параметры сопрягающих кривых оказывают непосредственное влияние на размещение парковых тормозных позиций (ПТП). Поэтому возникает задача определения для каждого сортировочного пути такого вектора параметров $\mathbf{w}_i = (f_{li}, \varphi_{di}, R_{oi}, R_{di})$, при которых ПТП размещаются на минимальном расстоянии от головных стрелочных переводов соответствующих пучков. Это позволяет увеличить полезную длину сортировочных путей, а также уменьшить потребную высоту горки за

счет сокращения расстояния до расчетной точки и, соответственно, уменьшить расход энергоресурсов, необходимых для реализации сортировочного процесса.

Решение данной задачи целесообразно при использовании на ПТП таких замедлителей (например, РНЗ-2), которые допускается размещать в кривых; при этом обычно регламентируется минимальный радиус кривой $R_{\min}$ и ширина междупутья $e_{\min}$ [6].

Для решения данной задачи введем понятие точки возможной установки замедлителей P , в которой расстояния до осей двух смежных путей равны $e_{\min}/2$. Указанные точки P_i , $i = 1 \dots m-1$, где m – число путей в пучке, располагаются во всех междупутьях пучка (рис. 3) на расстоянии L_i от головной стрелки пучка, которое зависит от параметров w_i путей $(i, i+1)$.

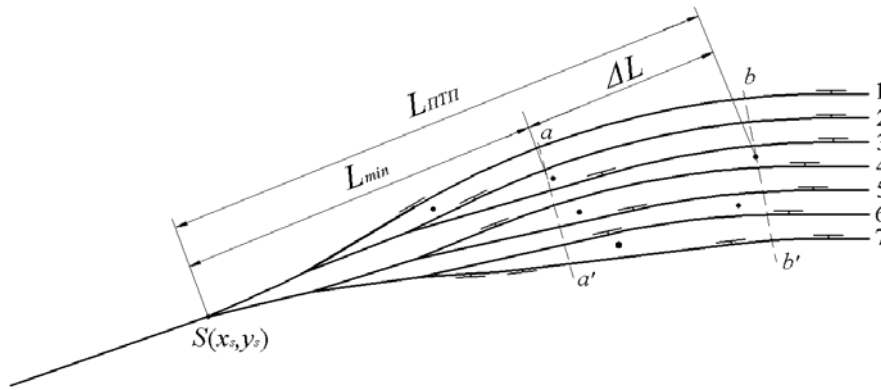


Рис. 3. План пучка путей горочной горловины

Тогда, учитывая требование о взаимном расположении замедлителей пучка путей в створе или «вразбежку» [6], ПТП должна располагаться от головной стрелки пучка (точка S) на расстоянии не меньшем, чем $L_{\text{ПТП}}$, которое соответствует наиболее удаленной точке P_i , т.е. $L_{\text{ПТП}} \geq \max \{L_i\}$, $i = 1 \dots m-1$ (см. рис. 3, сечение bb').

В то же время, очевидно, существует некоторое сечение aa' , в котором расстояние между крайними путями пучка составляет $e_{\min} \cdot (m-1)$. Сечение aa' представляет собой нижнюю границу возможного расположения ПТП, находящуюся на минимальном расстоянии $L_{\min}$ от головного стрелочного перевода пучка. Следовательно, при данном положении пучка и параметрах w_i путей на каждом из них имеется участок $\Delta L = L_{\text{ПТП}} - L_{\min}$, который нерационально увеличивает расчетную длину горочной горловины, что, в свою очередь, приводит к увеличению капитальных затрат и эксплуатационных расходов. Поэтому, возникает задача выбора такой совокупности параметров w_i на сортировочных путях пучка, при которой величина $L_{\text{ПТП}}$ минимальна.

При оптимизации конструкции сопрягающих кривых на сортировочных путях пучка в качестве частного критерия выбрана числовая функция, представляющая собой абсолютную величину разности ΔL_i расстояний L_{i-1} и L_i ,

соответственно, между точками (S, P_{i-1}) , а также (S, P_i) :

$$\Delta L_i = |L_i - L_{i-1}|. \quad (2)$$

Учитывая, что оптимальное значение частного критерия ΔL_i определяется при фиксированной конструкции сопрягающих кривых на путях $(i-1, i+1)$, смежных с i -м, расстояния L_{i-1} и L_i рассматриваются как функции $L_{i-1} = f_{i-1}(w_i)$, $L_i = f_i(w_i)$ параметров сопрягающей кривой i -го пути.

Указанные числовые функции ΔL_i , $i = 2 \dots m-1$ образуют векторный критерий

$$\mathbf{Z} = (\Delta L_2, \dots, \Delta L_{m-1}), \quad (3)$$

который принимает значения в арифметическом критериальном пространстве $\mathcal{R}^{m-2}$; при этом в векторе $\mathbf{Z}$ составляющие частные критерии ΔL_i должны быть упорядочены по убыванию.

Таким образом, задача выбора оптимальной конструкции сортировочных путей пучка, содержащая множество возможных решений $\mathbf{X}$ и векторный критерий $\mathbf{Z}$, является многокритериальной задачей.

Оптимальным решением данной задачи является такое значение $\mathbf{W}^*$ вектора параметров путей пучка $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_m)$, при котором вектор $\mathbf{Z}^*$ является лексикографически минимальным.

Сформулированная задача оптимизации содержит ряд ограничений в виде равенств вида (1) для каждого из m путей пучка. Кроме того, ограничены и компоненты вектора параметров $\mathbf{W}$:

$$f_{1i} \geq 0, f_{2i} \geq 0, \quad i = 1, \dots, m;$$

$$R_{oi} \in \mathbf{R}, R_{di} \in \mathbf{R}, \quad i = 1, \dots, m.$$

Здесь $\mathbf{R}$ – множество допустимых по правилам проектирования значений радиусов кривых на сортировочных путях.

Решение сформулированной задачи оптимизации осуществляется с использованием итеративной схемы. Процесс оптимизации начинается с некоторой начальной конструкции пучка, полученной после определения неизвестных

углов поворота кривых на спускной части горочной горловины. Для указанной конструкции при соответствующих значениях параметров вектора $\mathbf{W} = (\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \dots, \mathbf{w}_m)$ определяются координаты (x_i, y_i) всех точек возможной установки замедлителей P_i .

Точка P_i может быть определена как точка пересечения эквидистант двух смежных путей с номерами $(i, i+1)$, построенных для каждого из этих путей в их общем междупутье (рис. 4). Эквидистанта определяется как геометрическое место точек, которые являются концами нормалей длиной $e_{\min}/2$, восстановленных в каждой точке исходной кривой.

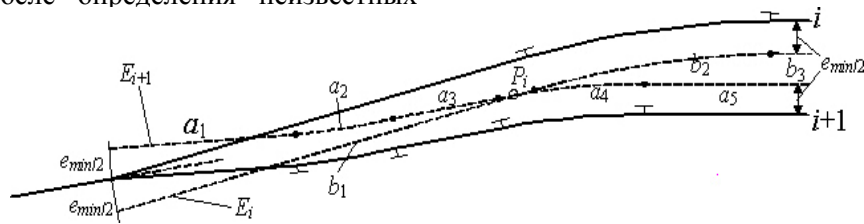


Рис. 4. Расчетная схема определения точки P_i с использованием эквидистант

В [5] предложена процедура построения эквидистант и алгоритм поиска точки их пересечения, основанный на методах вычислительной геометрии. Основным недостатком указанного метода является сложность расчетов, что существенно затрудняет его использование при решении задач оптимизации итерационными методами. Поэтому в данной статье разработан метод поиска точек P_i , равноудаленных от смежных путей, который основан на аппроксимации эквидистант модифицированными кубическими сплайнами дефекта 2. Такой подход, по сравнению с другими методами, обеспечивает более простую формализацию задачи и большую скорость ее решения при автоматизированном расчете.

Кубический сплайн представляет собой некоторую функцию $S(x)$, которая на каждом отрезке $[x_{j-1}, x_j]$ является полиномом третьей степени.

$$S_j(x) = a_j + b_j(x - x_j) + \frac{c_j}{2}(x - x_j)^2 + \frac{d_j}{6}(x - x_j)^3, \quad (4)$$

где $a_j, b_j, \frac{c_j}{2}, \frac{d_j}{6}$ – коэффициенты сплайна.

Каждый элемент j эквидистанты (см. рис. 4, эквидистанта E_i – элементы $b_1 - b_3$, эквидистанта E_{i+1} – элементы $a_1 - a_5$) представлен в виде отдельной функции $S_j(x)$.

Для определения точки пересечения эквидистант E_i, E_{i+1} необходимо найти пару их элементов, на которых располагается точка пересечения P_i (элементы a_4 и b_1), и решить уравнение $S_a(x) - S_b(x) = 0$.

Координаты точек пересечения эквидистант используются в дальнейшем для определения расстояний L_i до всех точек P_i пучка.

$$L_i = \sqrt{(x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2}, \quad (5)$$

где x_i, y_i – координаты точки P_i ;

x_s, y_s – координаты центра перевода головной стрелки пучка.

Следует заметить, что координаты (x_s, y_s) определяются в процессе построения плана спускной части горочной горловины и при оптимизации параметров вектора $\mathbf{W}_i$ не изменяются.

В дальнейшем на каждой итерации с использованием указанных расстояний L_i определяются компоненты ΔL_i вектора $\mathbf{Z}$ (3), которые упорядочивают по убыванию. После этого выбирают путь с номером j , у которого разность ΔL_i является максимальной (первая компонента текущего значения вектора $\mathbf{Z}$, рис. 5, a), и для данного пути решают задачу оптимизации конструкции сопрягающей кривой с использованием частного критерия ΔL_j ; в ре-

зультате величина ΔL_j достигает минимума (см. рис. 5, б).

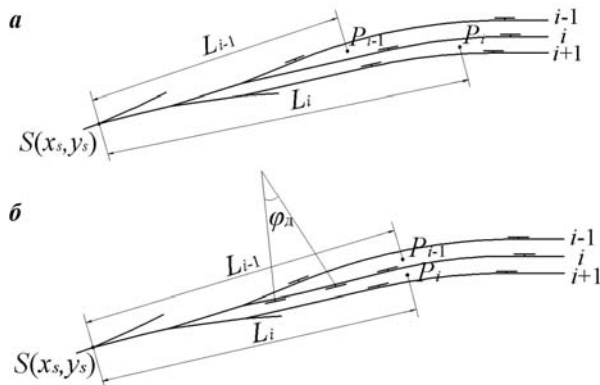


Рис. 5. Размещение точек возможной установки замедлителей P_i и P_{i-1} :
а – до оптимизации; б – после оптимизации

При этом, если на выбранном пути отсутствует дополнительная кривая, то вначале определяется направление угла ее поворота φ_{di} по соотношению расстояний L_{j-1} и L_j : в случае, если $L_j > L_{j-1}$, на пути необходимо устраивать S -образную кривую, в противном случае проектируется U -образная кривая.

Поиск величины угла дополнительной сопрягающей кривой φ_{di} , который обеспечивает $L_{i-1} = L_i$ равенство $L_{j-1} = L_j$, осуществляется методом дихотомии.

В некоторых случаях, когда вследствие особенностей конструкции пучка невозможно добиться равенства $L_{j-1} = L_j$ для j -го пути, на очередном шаге итерации в качестве расчетного выбирается следующий путь, имеющий меньшее значение ΔL .

Решение задачи оптимизации завершается, когда максимальная компонента вектора $\mathbf{Z}$ (3) $\Delta L_{\max}$ окажется меньше заданной точности решения ε ($\Delta L_{\max} \leq \varepsilon$), либо если будет установлено, что данной точности достичь невозможно.

Для выбора рациональных значений параметров (f_{li}, R_{oi}, R_{di}) при оптимизации углов φ_{di} были выполнены исследования их влияния на конструкцию горловины. Установлено, что радиус дополнительной сопрягающей кривой R_{di} незначительно влияет на величину расстояний L_{i-1} и L_i , однако увеличение R_{di} приводит к возрастанию угла φ_{di} при выполнении условия $L_{i-1} = L_i$, что увеличивает сопротивление движению скатывающихся отцепов. Кроме того, при достаточно больших значениях R_{di} вслед-

ствие увеличения длины дополнительной сопрягающей кривой, возможны случаи, когда не обеспечивается размещение основной сопрягающей кривой даже с минимальным радиусом; в этой связи при решении задачи оптимизации принято $R_d = 200$ м.

Радиус R_o вначале принимается равным 180 м; при достижении условия $L_{i-1} = L_i$ радиус основной сопрягающей кривой увеличивается до максимально возможного, если это не влияет на расположение точек P_{i-1} и P_i .

Как показали исследования, увеличение прямой вставки f_1 при наличии дополнительной сопрягающей кривой ухудшает конструкцию плана сортировочного пути и всей горочной горловины. В качестве примера на рис. 6 для одного из путей горловины показано влияние длины вставки f_1 на угол дополнительной сопрягающей кривой φ_d при разных величинах R_d и R_o (указаны, соответственно, в числителе и знаменателе), при которых выполняется условие $L_{i-1} = L_i$.

Каждый график имеет верхнее ограничение, поскольку существует некоторая предельная длина вставки f_{li} , при которой условие не может быть выполнено при любом значении угла дополнительной сопрягающей кривой φ_{di} . Следует отметить, что при варьировании вставки f_{li} координаты точек P_{i-1} , P_i остаются неизменными. В то же время, с увеличением f_1 возрастает угол φ_d , что ухудшает условия скатывания отцепа на данный путь; указанная зависимость характерна как для S -образных, так и U -образных кривых.

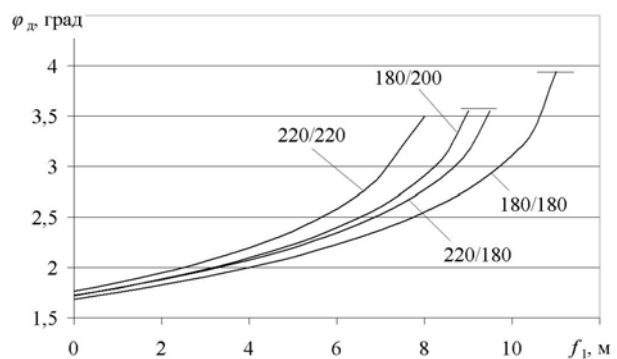


Рис. 6. Зависимость угла дополнительной кривой от длины вставки f_1

В этой связи при необходимости устройства дополнительной кривой φ_d прямая вставка f_1 не устраивается ($f_1 = 0$). Таким образом, при решении задачи оптимизации для достижения

условия $L_{i-1} = L_i$ достаточно варьировать только величину угла дополнительной сопрягающей кривой φ_{di} .

При проектировании крайних путей пучков (кроме крайних путей горловины) необходимо учитывать дополнительные ограничения их параметров w , связанные с необходимостью обеспечения минимального междупутья $e_{\min}$ между смежными пучками. Установлено, что на величину указанного междупутья основное влияние оказывают параметры кривых спускной части горочной горловины. Поэтому после определения допустимых значений векторов w для крайних путей пучков они фиксируются и дальнейшего участия в оптимизации не принимают.

Крайние пути горловины не имеют дополнительных сопрягающих кривых и их параметры при оптимизации также не варьируются.

После окончания оптимизации проверяется возможность увеличения радиусов основных сопрягающих кривых.

Если на i -м пути точки установки замедлителей P_{i-1} и P_i расположены за пределами данной кривой (рис. 7), то R_{oi} можно увеличивать с некоторым шагом ΔR , пока разность координат x начала кривой и любой из точек не станет меньше величины $\Delta R \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta + \varphi_d}{2}$. При этом начинать увеличение R_o следует поочередно, начиная с путей, расположенных ближе к оси горловины. Это связано с тем, что R_o внутренних путей значительно больше внешних и нарушение указанного требования, при условии $R_{oi-1} > R_{oi}$, может привести к появлению новой точки P , расположенной значительно дальше от пучкового стрелочного перевода.

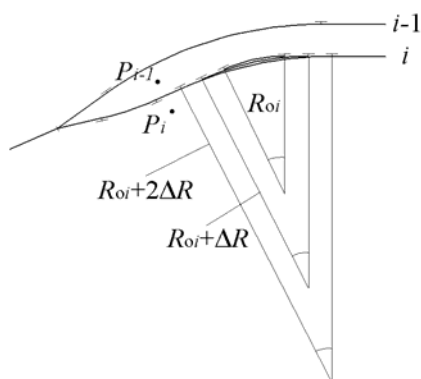


Рис. 7. Увеличение радиуса основной сопрягающей кривой

На рис. 8 показан план пучка путей горочной горловины (см. рис. 3) после оптимизации.

Как видно из рисунка, на всех путях пучка, за исключением 2 пути, выполняется требование $\Delta L \leq \varepsilon$.

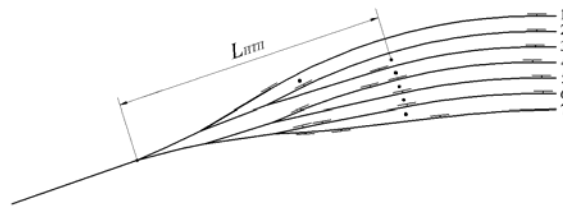


Рис. 8. План пучка путей горочной горловины после оптимизации

Выполненные исследования показали, что разработанная методика позволяет уменьшить длину горочной горловины на 20...30 м, и, таким образом, повысить качество проектирования сортировочных горок, снизив как капитальные затраты при их сооружении, так и эксплуатационные расходы при расформировании составов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бузанов, С. П. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных устройств [Текст] / С. П. Бузанов, А. М. Карпов, М. А. Рыцарев. – М.: Транспорт, 1965. – 232 с.
2. Муха, Ю. А. Использование ЭВМ при расчете плана горочной горловины сортировочного парка [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Применение вычислительной техники в учебном процессе: Тр. вузов МПС. – Вып. 591. – М.: МИИТ, 1977. – С. 140-147.
3. Павлов, В. Е. Элементы оптимального проектирования плана горловины автоматизированной сортировочной горки [Текст] / В. Е. Павлов // Железнодорожные системы автоматики и телемеханики с применением бесконтактных элементов: Сб. науч. тр. ЛИИЖТа. – Вып. 314. – Л.: Транспорт, 1971. – С. 148-155.
4. Бобровский, В. И. Автоматизация проектирования стрелочных горловин сортировочных парков [Текст] / В. И. Бобровский // Совершенствование технических устройств и технологии управления процессом расформирования составов на сортировочных горках: Межвуз. сб. науч. тр. – Д.: ДИИТ, 1986. – С. 42-49.
5. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций [Текст] : монография / В. И. Бобровский [и др.] – Д.: Изд-во Маковецкий, 2010. – 156 с.
6. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207-89 [Текст]. – М.: Транспорт, 1992. – 104 с.

Поступила в редколлегию 01.12.2010.
Принята к печати 06.12.2010.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЗА СЧЕТ УПРОЧНЕНИЯ ИХ ПОВЕРХНОСТИ

Виконано аналіз причин руйнування осей колісних пар при експлуатації. Встановлено зменшення глибини западин шорсткої поверхні у 3 рази при поєднанні чистового точіння та вібраційної обробки. Виявлено ефект зміцнення поверхневого шару на глибину 0,15 мм при дії вібрацій частотою 43 Гц та амплітудою $5 \cdot 10^{-3}$ м. Виявлено ефект зниження мікротвердості поверхневого зміцненого шару при збільшенні температури та тривалості дії вібрації.

Ключові слова: вісь колісної пари, аналіз причин руйнування, чистове точіння, вібраційна обробка, мікротвердість поверхневого зміцненого шару

Выполнен анализ причин разрушения осей колесных пар при эксплуатации. Установлено уменьшение глубины впадин шероховатой поверхности в 3 раза при сочетании чистового точения и вибрационной обработки. Выявлен эффект упрочнения поверхностного слоя на глубину 0,15 мм при воздействии вибраций частотой 43 Гц и амплитудой $5 \cdot 10^{-3}$ м. Обнаружен эффект снижения микротвердости поверхностного упрочненного слоя при увеличении температуры и продолжительности воздействия вибрации.

Ключевые слова: ось колесной пары, анализ причин разрушения, чистовое точение, вибрационная обработка, микротвердость поверхностного упрочненного слоя

The analysis of destruction causes of wheelset axles in service is performed. Reducing of depth of cavities of a rough surface is 3 times with a combination of the finish turning and vibration-formation processing. The effect of hardening the surface layer to a depth of 0.15 mm under the influence of vibration with frequency of 43 Hz and amplitude of $5 \cdot 10^{-3}$ m is exposed. The effect of reduction of microhardness of the hardened surface layer with increasing temperature and duration of exposure to vibration is detected.

Keywords: wheelset axle, analysis of destruction causes, finish turning, vibration-formation processing, microhardness of hardened surface layer

Введение

Наиболее важными задачами при создании скоростного транспорта, а также при ремонте эксплуатируемого подвижного состава является повышение технического уровня железнодорожного транспорта, его эксплуатационных характеристик, надежности и долговечности.

Оси колесных пар являются одним из ответственных элементов колесной пары, поэтому поверхностный слой стали осей должен иметь высокий уровень физико-механических свойств, который обеспечивал бы требуемые эксплуатационные свойства. Для повышения ресурса работы узлов и агрегатов необходимо глубокое изучение условий эксплуатации, причин и характера износа, а также процесса их разрушения.

Постановка проблемы в общем виде, ее связь с важными научными задачами

В процессе эксплуатации под действием повторно-переменных напряжений происходит процесс постепенного накопления повреждений, как в области шейки, так и в подступичной части оси.

Под влиянием эксплуатационных факторов механические свойства постепенно изменяются и их значения отличаются от характеристик, имеющих в проектно-конструкторской документации на момент изготовления изделия. В работах отечественных и зарубежных исследователей отмечается, что причинами изменения механических свойств при эксплуатации могут быть следующие процессы: разупрочнение, упрочнение, деформационное старение. Однако, воздействие вибраций различного диапазона частот и амплитуд на выносливость и утомляемость углеродистых сталей изучено недостаточно.

Цель работы: повышение эксплуатационных свойств осей колесных пар из стали марки ОС за счет упрочнения их поверхности.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Исследовать процесс разрушения осей колесных пар в ходе их эксплуатации.
2. Рассмотреть методы поверхностного пластического деформирования, обеспечивающие повышение усталостной прочности.
3. Исследовать изменение микротвердости в поверхностном упрочненном слое в зависимо-

сти от вида обработки и режимов процесса вибрационной обработки образцов из стали ОС.

Анализ литературных источников

Усталостное разрушение проявляется в возникновении повреждений, которые нужно учитывать, особенно в сильно нагруженных узлах. Так, при эксплуатации оси колесных пар воспринимают постоянные нагрузки от веса вагона, что приводит к знакопеременному изгибу. Причиной разрушения оси в области шейки после 140 тыс. км пробега вагона по данным [1] стала неудовлетворительная работа конического подшипника кассетного типа, которая привела к его разрушению. Одной из причин поломки осей при эксплуатации является неверная регулировка подшипниковых узлов. Известно [2], что подшипники железнодорожного транспорта выбраковывают из эксплуатации из-за усталостного разрушения рабочих поверхностей колец и тел качения. По утверждению авторов работ [2, 3] от момента отказа буксового подшипника до его полного разрушения и излома шейки оси достаточно 7...30 км пробега в зависимости от веса груза.

Натурные испытания железнодорожных осей для определения границы прочности при утомлении авторы работы [4] проводили циклической нагрузкой на изгиб. Амплитуда напряжений составляла 195 Н/мм^2 . До излома ось выдержала $8 \cdot 10^6$ циклов нагрузки. Место разрушения – граница перехода от шейки к предматочной части оси.

Авторы работы [4] установили, что местами образования трещин являются запрессованные части, галтели, средняя часть оси, подступичная часть. Так в выполненном анализе [5] по безопасности движения на железнодорожном транспорте Украины установлено, что причиной аварии стал излом средней части оси колесной пары по старой трещине на расстоянии 152 мм от внутренней кромки ступицы левого колеса колесной пары. Известно, что возникновение трещин в средней части оси обусловлено наличием в верхнем слое металла неметаллических включений, плен, закатов, забоин. В [5] отмечено, что причиной разрушения оси в области шейки стала усталостная трещина в галтели шейки оси при второй обточке.

Причиной появления трещин в осях могут служить удары, которые испытывает колесная пара при неудовлетворительном качестве формирования колесной пары, при погрузке и выгрузке колесных пар.

Причиной образования трещин в подступичной части оси может стать обработка ступицы или подступичной части с большой конусностью или овальностью. При напрессовке колеса в подступичной части с большой конусностью, усилие, удерживающее колесо на оси будет неравномерно распространяться по подступичной части, при этом возникнут местные напряжения, которые и приведут к возникновению трещин.

На металл подступичной части оси действуют также сжимающие силы, вызванные напрессовкой зубчатого колеса.

Соединение «ось–колесо» в колесных парах локомотивов является ответственным соединением с натягом. Недостатком посадки с натягом является то, что в зоне напрессовки от контактных давлений и сил трения возникают значительные остаточные растягивающие напряжения. Поэтому для создания остаточных сжимающих напряжений, которые снижают величину растягивающих напряжений в локомотивных осях, используется накатывание роликами подступичных частей, посадочных мест под зубчатые колеса, шеек буксовых и моторно-осевых подшипников, а также прилегающих к ним участков галтелей.

В соединении «ось–колесо» остаточные напряжения сжатия от накатывания должны превосходить результирующие напряжения от посадки и рабочей нагрузки. При этом важна как величина сжимающих напряжений в слое, так и глубина, на которой напряжения действуют. Величина и характер напряжений, возникающих в поверхностном слое при накатывании роликами, зависит от усилий накатывания. Установлена неравномерность величины остаточных напряжений от максимальных до минимальных их значений вплоть до возникновения остаточных растягивающих напряжений в зависимости от усилий накатывания.

Следовательно, наибольшая вероятность образования усталостных трещин в осях в местах внешних шеек, прилегающих к галтелям, на подступичных частях, а также в средней части [1].

Повысить усталостную прочность можно за счет выбора оптимальной формы детали, улучшения шероховатости поверхности и применения различных методов упрочнения поверхности.

Известно, что предел выносливости зависит от состояния поверхности. Наибольшее значение предела выносливости имеет поверхность после операции полирования. На операциях

обточке, а так же при шлифовании на поверхности формируются риски, вызывающие объемное напряженное состояние, при котором затрудняется пластическая деформация, и создаются условия для разрушения.

В работе [4] отмечено, что на величину предела выносливости оказывает влияние величина среднего напряжения цикла, влияние которого может компенсировать величина остаточных напряжений после отделочно-упрочняющей обработки ударными рабочими телами. Поэтому замена термической обработки вибрационным поверхностным упрочнением, по мнению авторов работы [6], позволяет перераспределить напряжения в поверхностном слое. Автор работы [7] для обработки поверхностей сложной формы, в том числе и галтелей осей колесных пар, предлагает использование многоконтактного виброударного инструмента — шарико-стержневого упрочнителя. Технологической особенностью этого инструмента является способность осуществлять упрочняющую обработку локальных зон криволинейных поверхностей.

Автор работы [8] отмечает, что для прогноза повышения эксплуатационных свойств при изготовлении изделий, необходимо знать усталостные свойства данного материала, который может быть циклически упрочняющимся, циклически разупрочняющимся или быть циклически стабильным.

Ось колесной пары вращается, испытывая знакопеременные нагрузки, напряжения и деформации. Поэтому поломки осей имеют усталостный характер.

Анализ характера разрушения осей показал, что в большинстве случаев разрушение начинается в поверхностном слое. Следовательно, сопротивление разрушению зависит от качества поверхностного слоя, которое можно целенаправленно изменять в зависимости от способа обработки поверхности. Важными характеристиками поверхностного слоя, влияющими как на усталость материала, так и на сопротивление износу, является наклеп и остаточные напряжения, которые зависят от технологии обработки поверхности. Как правило, наклеп и остаточные напряжения сжатия при испытаниях в условиях комнатных температур повышают предел выносливости. Однако, однозначного ответа на вопрос сохраняется ли сопротивление усталости при повышенных температурах материалов, упрочненных методами поверхностной пластической деформации нет.

Эффективными технологическими методами повышения качества поверхностного слоя являются методы поверхностного пластического деформирования, к которым относятся дробеструйная, пневмодинамическая и вибрационная ударная обработка. Обработка изделий при использовании этих методов осуществляется на станках без жесткой кинематической связи инструмента и обрабатываемого материала, в ходе которой осуществляется динамическое воздействие инструмента или элементов рабочей среды на обрабатываемую поверхность.

Учитывая тот факт, что дробеструйная и вибрационная обработка свободными ударными телами относятся к одной группе методов поверхностного пластического деформирования (ППД), то исследования закономерностей формирования упрочненного слоя можно осуществлять на образцах-свидетелях с использованием вибрационных останков с их максимальной нагрузкой.

Особенностью процесса виброударного упрочнения является способность стальных шариков под действием интенсивных колебаний динамически сопрягаться со сложной поверхностью детали и образовывать на ней множество локальных пластических отпечатков, которые образуют сплошную вновь обработанную поверхность.

Эффективным технологическим методом повышения качества поверхностного слоя деталей является вибрационная обработка, обеспечивающая поверхностное пластическое деформирование, приводящее к изменению параметров качества поверхностного слоя: уменьшению шероховатости, изменению микроструктуры, повышению микротвердости, созданию оптимальных остаточных напряжений.

Материалы и образцы

Образцы из стали марки ОС после различных операций обработки поверхности.

Методы исследования

Для определения глубины и степени наклепа поверхностного слоя использовался метод измерения микротвердости. Микротвердость поверхностного слоя измерялась на изготовленных образцах микрошлифов на приборе ПМТ-3 с нагрузкой на индентор 0,490 Н в соответствии с методикой [9].

Для крупногабаритных деталей сложной формы (к которым относится ось колесной пары) необходима разработка специального обо-

рудования. Поэтому для исследования закономерностей формирования упрочненного поверхностного слоя на стали марки ОС использовался метод аналогов.

Для лабораторных испытаний по формированию упрочненного поверхностного слоя на образцах-свидетелях использовалось оборудование лаборатории ОНИЛОСА Восточноукраинского национального университета имени В. И. Даля.

Виброударное упрочнение осуществлялось на вибрационных станках с максимальной амплитудой колебаний контейнера $5 \cdot 10^{-3}$ м и частотой колебаний 43 Гц.

Степень наклепа рассчитывалась по формуле:

$$N = \frac{H'_\mu - H_\mu}{H_\mu} \cdot 100 \%,$$

где H'_μ – микротвердость обработанной поверхности; H_μ – микротвердость исходного материала. Испытания образцов на изгибную усталость проводилось по методике [10].

Результаты исследований

В работе установлены оптимальные режимы вибрационной обработки образцов из стали марки ОС. Известно, что наиболее стойкими к знакопеременным нагрузкам становятся детали, подвергшиеся поверхностному пластическому деформированию.

Результаты испытаний образцов на усталость при растяжении приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследований

Значение пределов ограниченной усталости при растяжении, МПа		Количество циклов при пределах ограниченной усталости	
При шлифовании образцов	При вибрационной обработке	При шлифовании образцов	При вибрационной обработке
648	720	$9 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$
580	650	$1,7 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$
567	630	$2,5 \cdot 10^5$	$2,8 \cdot 10^5$

Анализ результатов испытаний на усталость образцов показал, что значения пределов ограниченной усталости при растяжении образцов, подвергнутых вибрационной обработке на 10 %

выше, чем у образцов, обработанных по серийной технологии. Для установления влияния различных режимов деформационного упрочнения на сопротивление износу поверхностного слоя стали марки ОС были проведены исследования по определению таких характеристик как степень наклепа и распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя.

Результаты испытаний образцов показали, что при вибрационной обработке усталостная прочность стали увеличивается на 10...12 %. Увеличение усталостной прочности можно объяснить улучшением качества поверхности за счет уменьшения шероховатости поверхности и удаления рисок – концентраторов напряжений.

На рис. 1 представлена поверхность образцов из стали марки ОС после различных видов обработки.

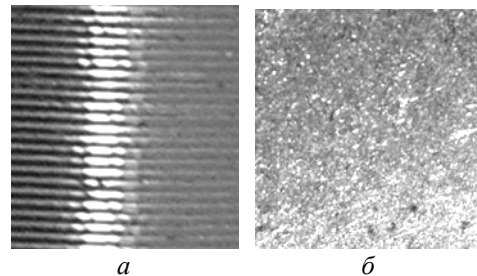


Рис. 1. Поверхность стальных образцов стали марки ОС:

а) после операции точения до вибрационной обработки с $R_a = 3,42$ мкм; б) после вибрационной обработки $R_a = 1,75$ мкм

На рис. 2, 3 и 4 представлены профилограммы после операции точения, чистовой обработки, а также при сочетании чистового точения и вибрационной обработки в течение 60 мин.

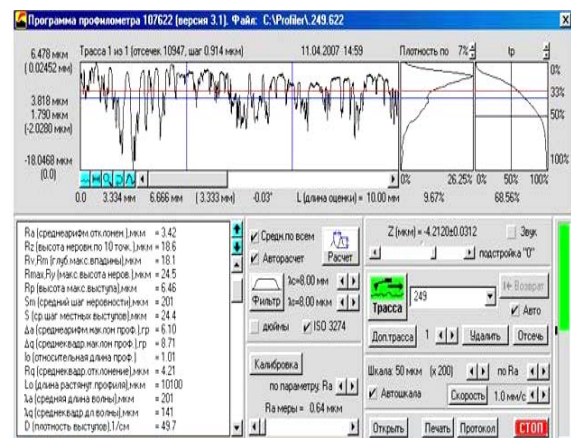


Рис. 2. Профилограмма поверхности образца из стали марки ОС после операции точения

Анализ профилограмм показал, что сочетание операций чистового точения и вибрационной обработки позволяет в ~ 3 раза уменьшить глубину максимальных впадин.

Как известно, физико-механические свойства поверхностного слоя является одной из наиболее важных характеристик качества поверхности, которые определяют эксплуатационные свойства деталей машин. Эти свойства характеризуются глубиной и степенью наклепа поверхностного слоя. Наклеп можно охарактеризовать величиной микротвердости. На рис. 5 приведены результаты измерений микротвердости стали марки ОС после различных режимов обработки.

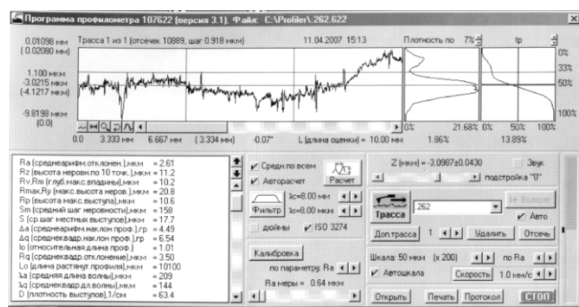


Рис. 3. Профилограмма поверхности образца из стали марки ОС после чистовой обработки

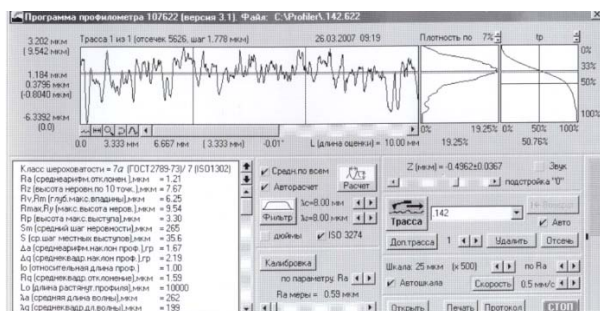


Рис. 4. Профилограмма поверхности образца из стали марки ОС после чистового точения и вибрационной обработки

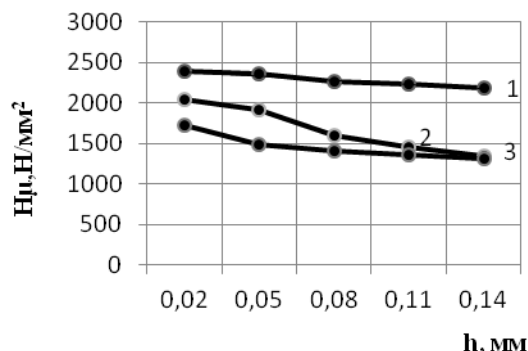


Рис. 5. Изменение микротвердости упрочненного слоя стали марки ОС после точения:
1 – без нагревания; 2 – при нагревании до 300 °C;
3 – при нагревании до 400 °C

Микротвердость упрочненного слоя при точении без нагревания достигает значения 2190 Н/мм², глубина упрочненного слоя составляет не больше 0,15 мм. Микротвердость упрочненного слоя при точении с нагреванием значительно меньше и принимает значения от 1460 до 2040 Н/мм², глубина упрочненного слоя не превышает значения 0,11 мм. При этом величина микротвердости и глубина упрочненного слоя уменьшается при увеличении температуры нагрева. На рис. 6 приведены результаты изменения микротвердости при вибрационной обработке стальными шариками в течение 120 мин

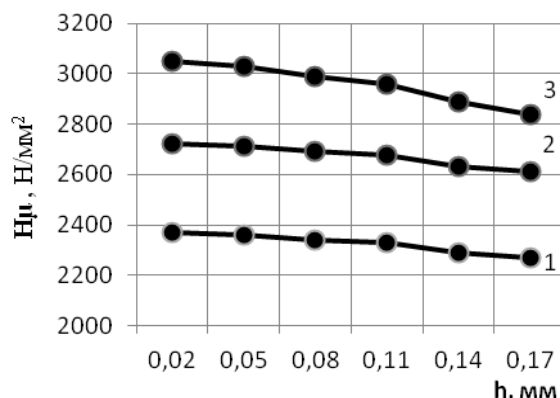


Рис. 6. Изменение микротвердости по глубине поверхностного слоя углеродистой стали марки ОС при вибрационной обработке на частоте 43 Гц:
1 – микротвердость после точения; 2 – обработка стальными шариками диаметром $3 \dots 5 \cdot 10^{-3}$ м в течение 120 мин при амплитуде колебаний $5 \cdot 10^{-3}$ м; 3 – обработка твердосплавными шарами диаметром $3 \dots 5 \cdot 10^{-3}$ м в течение 120 мин при амплитуде колебаний $5 \cdot 10^{-3}$ м

Результаты измерений микротвердости в поверхностном слое стали марки ОС позволили выявить эффект упрочнения. Глубина упрочненного поверхностного слоя зависит как от температуры, так и от продолжительности воздействия вибраций.

Анализ причин выхода из строя деталей машин показывает, что разрушение деталей, в большинстве случаев, начинается с поверхностного слоя, так как поверхностные слои испытывают максимальное напряжение от внешних нагрузок. Сопротивление разрушению зависит от качества поверхности, которое определяется совокупностью таких характеристик как шероховатость, физико-механическое состояние и микроструктура поверхностного слоя металла. Качество поверхности оказывает решающее влияние на развитие усталостных явлений, коррозии и других процессов, возникающих при эксплуатации узлов.

Выводы

1. Исследован процесс разрушения осей колесных пар в ходе их эксплуатации. Установлено, что разрушение осей колесных пар как правило, происходит в поверхностном слое.

2. Рассмотрены методы поверхностного пластического деформирования поверхностного слоя, обеспечивающие повышение усталостной прочности. Анализ результатов испытаний на усталость образцов показал, что значения пределов ограниченной усталости при растяжении образцов, подвергнутых вибрационной обработке на 10 % выше, чем у образцов, обработанных по серийной технологии.

3. Исследовано изменение микротвердости в поверхностном упрочненном слое в зависимости от вида обработки образцов из стали марки ОС. Установлено, что при точении поверхности без воздействия температуры формируется упрочненный поверхностный слой глубиной до 0,15 мм, значение микротвердости в котором составляет 2190 Н/мм². Выявлено, что при точении и воздействии температуры 300 °С микротвердость принимает значения от 1460 до 2040 Н/мм², глубина упрочненного слоя не превышает значения 0,11 мм. При увеличении температуры до 400 °С глубина поверхностного упрочненного слоя уменьшается до 0,08 мм, а микротвердость достигает значения 1400 Н/мм².

4. Выявлен эффект упрочнения поверхностного слоя при воздействии вибрации частотой 43 Гц и амплитудой колебаний $5 \cdot 10^{-3}$ м. Установлено снижение микротвердости с 2970 до 2800 Н/мм² поверхностного слоя глубиной до 0,15 мм стали марки ОС при вибрационной обработке стальными шарами на частоте 43 Гц и при амплитуде $5 \cdot 10^{-3}$ м колебаний вибрационного резервуара в течении 2 часов.

5. Для крупногабаритного изделия, которым является ось колесной пары, рекомендуется использование оборудования для дробеструйной обработки, что обеспечит равномерное распределение величины остаточных напряжений по глубине упрочненного слоя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левыкин, Ф. В. Дефектоскопия деталей локомотивов и вагонов [Текст] / Ф. В. Левыкин. – М.: Транспорт, 1974. – 240 с.
2. Тимофеев, В. А. Проблемы неразрушающего контроля буксового узла колесной пары и их влияние на безопасность движения [Текст] / В. А. Тимофеев // Заліз. трансп. України. – 2008. – № 6. – С. 42-46.
3. Кривобок, В. И. Передовой опыт ремонта колес и буксовых узлов на вагоноремонтных предприятиях Юго-Западной железной дороги [Текст] / В. И. Кривобок // Заліз. трансп. України. – 2008. – № 4. – С. 19-22.
4. Розвиток процесів руйнування осі колісної пари при циклічному навантаженні [Текст] / І. О. Вакуленко [та ін.] // Заліз. трансп. України. – 2008. – № 3. – С. 47-48.
5. Гаврилюк, А. Ф. Состояние и анализ безопасности на железных дорогах Украины [Электрон. ресурс] / А. Ф. Гаврилюк, Т. А. Рябец. – Режим доступа: //Ndt.com.ua/tools.htm
6. Лубенская, Л. М. Перераспределение напряжений в закаленном слое ведущих зубчатых колес тепловозов 2ТЭ10Л при воздействии низкочастотных колебаний [Текст] / Л. М. Лубенская, П. В. Колодяжный // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2010. – Ч. 1. – № 5. – С. 81-86.
7. А.с. №1539051. Устройство для поверхностной отделочно-упрочняющей обработки деталей [Текст] / И. А. Бабичев [и др.]. – Оpubл. в Б. И. 34, 1990. – С. 37.
8. Тамаркин, М. А. Моделирование технологических процессов обработки в гранулированных рабочих средах [Текст] / М. А. Тамаркин, Э. Э. Тищенко // Вопросы вибрационной технологии: Межвуз. сб. науч. статей. – Ростов-на-Дону: Издат. центр ДГТУ, 2010. – 230 с.
9. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников [Текст]. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1977. – 41 с.
10. ГОСТ 2860-65. Металлы, методы испытания на усталость [Текст]. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1978. – 42 с.

Поступила в редколлегию 30.11.2010.

Принята к печати 06.12.2010.

В. В. МЯМЛИН, С. В. МЯМЛИН (ДИИТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПОТОКА ДЛЯ РЕМОНТА ВАГОНОВ КАК МУЛЬТИФАЗНОЙ ПОЛИКАНАЛЬНОЙ МНОГОПРЕДМЕТНОЙ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Наведено алгоритм імітаційного моделювання роботи гнучкого потоку ремонту вагонів як мультифазної поліканальної багатопредметної системи масового обслуговування.

Ключові слова: ремонт вагонів, гнучкий потік, алгоритм моделювання

Приведен алгоритм имитационного моделирования работы гибкого потока ремонта вагонов как мультифазной поликанальной многопредметной системы массового обслуживания.

Ключевые слова: ремонт вагонов, гибкий поток, алгоритм моделирования

The algorithm of computer simulation of the flexible flow for repair of cars as a multiphase polychannel many-object queuing system is presented. The basic operators of the model are given and their work is described.

Keywords: repair of cars, flexible flow, simulation algorithm

Одной из основных задач вагонных депо является повышение качества ремонта вагонов, которое напрямую связано с безопасностью движения поездов. Решать эту задачу можно за счёт улучшения технологии ремонта, создания новых конструкций технологического оборудования и совершенствования организации самого процесса ремонта. Именно анализу последнего направления и посвящена данная статья. Следует особо подчеркнуть, что вагоноремонтное производство относится к разряду производств, в которых революционные изменения происходят весьма редко, а внедрение отдельных мелких инноваций осуществляется крайне медленно. Кроме того, большое разнообразие существующих предприятий, отличающихся друг от друга номенклатурой ремонтируемых вагонов, программой ремонта, используемым технологическим оборудованием, схемой планировок, количеством позиций и т.п., сильно затрудняет внедрение передовых унифицированных технологий.

В настоящее время ни у кого не вызывает сомнений преимущество поточного способа производства. Однако те жёсткие структуры, которые были ранее реализованы при создании вагоноремонтного поточного производства, если поначалу и имели преимущество по сравнению со стационарным методом, то по сравнению с гибким потоком, они значительно проигрывают.

Основной проблемой существующих вагоноремонтных предприятий, тормозящей внедрение гибких производственных потоков, является принятая жёсткая структура участков, предполагающая строгое движение вагонов по одному и тому же заранее предопределённому маршруту.

Известно, что при использовании поточных методов ремонта вагонов на традиционных линиях с жёсткой структурой возникает серьёзная проблема, заключающаяся в том, что постоянно нарушается такт поточных линий, что сводит на нет все преимущества поточного способа производства. Это происходит из-за того, что трудоёмкости ремонта вагонов (даже одного и того же типа) сильно отличаются друг от друга. Получается так, что на каких-то позициях объёмы регламентированных ремонтных работ на вагонах уже выполнены, а на каких-то – ещё нет. Таким образом, происходит задержка перемещения всего потока, что негативно сказывается на загрузке оборудования и исполнителей. Кроме того, необоснованно увеличивается простой вагонов в ремонте, что влечёт за собой уменьшение пропускной способности поточных линий.

Практически всех этих недостатков лишены гибкие асинхронные потоки. Они имеют более высокую пропускную способность, так как позволяют производить индивидуальное перемещение каждого вагона с любого модуля j -ой позиции на любой модуль $(j + 1)$ -ой позиции, что намного снижает зависимость в перемещениях ремонтируемых вагонов друг от друга. Кроме того, гибкие производственные системы имеют возможность на одних и тех же специализированных позициях в режиме единого потока осуществлять ремонты даже разных типов вагонов.

Как показала практика, трудоёмкости ремонтируемых вагонов настолько сильно отличаются друг от друга, что соблюсти строгий такт между позициями не представляется возможным. Поэтому для того, чтобы соединить все преимущества поточного метода ремонта с

индивидуальностью каждого ремонтируемого вагона, необходимо использовать гибкую асинхронную систему, способную в едином технологическом потоке осуществлять ремонты вагонов с различными объёмами работ независимо друг от друга.

Исходя из многолетнего опыта, приверженность только жёсткому такту, для вагоноремонтного производства оказалась ошибкой. Любые мероприятия, сориентированные на достижение единого такта, по сути дела ни к чему существенному не приводят.

К достоинствам асинхронного гибкого потока следует отнести его неприхотливость к выбору объектов ремонта, как по типам вагонов, так и по объёмам выполняемых ремонтных работ. Минимальная зависимость ремонтируемых вагонов друг от друга. Ритмичная работа исполнителей на позициях без так называемых «авралов» и «штурмовщины». Все эти факторы прямо и косвенно способствуют улучшению качества ремонта вагонов.

Поэтому для возможности выполнения в будущем необходимых объёмов ремонта, вагоноремонтная отрасль нуждается в качественном инновационном скачке. О перспективах её развития нужно думать уже сейчас.

В имеющихся работах, связанных с проектированием вагоноремонтных предприятий, уделено недостаточно внимания методам расчёта и проектирования поточных линий [1 – 3]. Расчёт основных параметров поточного производства осуществляется лишь при помощи небольшого числа стандартных формул. При этом вероятностная природа ремонтного производства практически не учитывается. Что касается гибких вагоноремонтных потоков, то в этом вопросе, в отличие от машиностроения и приборостроения, имеется вообще существенное отставание. А ведь именно для ремонтного производства, носящего стохастический характер, наличие гибкости технологического процесса крайне необходимо. Поэтому рассматриваемое направление имеет актуальный характер.

В связи с этим, исходя из соображений эффективности производства, целый ряд предприятий Украины может быть перепрофилирован на обслуживание основного производства, а непосредственно полноценным ремонтом вагонов должны заниматься не более 20 вагонных депо, которые должны быть расширены, реконструированы, перевооружены. В тех депо, где это допустимо, имеет смысл использовать высокопроизводительные гибкие потоки. Не исключена возможность постройки и совершенно новых высокоэффективных вагоноремонтных

предприятий, полностью основанных на гибких ремонтных потоках. На необходимость обязательного использования гибких потоков при строительстве новых вагоноремонтных предприятий неоднократно указывается и в фундаментальном учебнике по вагонному хозяйству [4].

Новые ремонтные потоки требуют и новых методов расчёта. Произвести правильный выбор основных параметров поточного производства и выполнить точный расчёт основных его показателей можно только при помощи имитационного моделирования работы потока на ЭВМ. Впервые вопросы имитационного моделирования поточных линий как многофазных систем массового обслуживания были затронуты в работах [5 – 7]. В этих работах гибкие потоки рассматривались как однопредметные, т.е. предназначенные для ремонта только одного типа вагонов. В них ставилась задача просто показать преимущества гибких потоков перед жёсткими и полужёсткими поточными линиями при ремонте одного и того же типа вагонов. На самом же деле потенциальные возможности гибких потоков намного шире.

Целью данной работы является разработка методики расчёта гибких многопредметных потоков и определение оптимальных параметров их структуры при помощи имитационного моделирования на ЭВМ.

Исходя из того, что в процессе движения вагонов через все позиции потока возможны «обгоны» между ними, и вагон, поступивший в ремонт позже ранее зашедшего вагона, из ремонта может выйти значительно раньше. Поэтому в программе предусмотрен индивидуальный контроль за перемещением каждого вагона через все позиции потока. На входе каждому поступающему в ремонт вагону присваивается входящий номер, а на выходе определяется отклонение от очерёдности в ту или иную сторону. Таким образом, находясь в общем потоке, каждый вагон простаивает в ремонте столько времени, сколько требуется для его ремонта. Кроме того, определяется среднее время пребывания вагонов в ремонте и среднеквадратическое отклонение времени пребывания вагонов в ремонте.

При ремонте вагонов на потоке, представляющем собой сложную систему, происходит последовательная смена её состояний. Под сменой состояния будем иметь в виду начало или завершение любого процесса на одном из модулей. Это может быть начало ремонта вагона на любой позиции, окончание ремонта, освобождение модуля.

Предлагаемая модель имитационного моделирования рассматривает поток для ремонта вагонов как мультифазную поликанальную многопредметную систему массового обслуживания. Остановимся подробнее на терминологии данного потока.

Термин «**мультифазная**» свидетельствует о том, что система состоит из целого ряда последовательно расположенных позиций (фаз), $j = 1, 2, \dots, m$.

Термин «**поликанальная**» говорит о том, что каждая ремонтная позиция (фаза) может включать в себя определённое количество параллельно расположенных модулей (каналов), $n = 1, 2, \dots, n_j$. Все модули одной позиции тождественны между собой.

Под термином «**многопредметная**» понимается то, что на одном потоке могут одновременно ремонтироваться вагоны, входящие в группы разных категорий. Каждая такая группа вагонов имеет свои количественные и качественные составляющие. Под количественной составляющей подразумевается программа по ремонту вагонов данной группы. Под качественными – тип вагона и вид ремонта. Группы отличаются друг от друга разными признаками (тип вагона, вид ремонта). Таким образом, если, например, в ремонт поступают вагоны одного типа, но на них выполняются два разных вида ремонта, то мы имеем дело с двумя самостоятельными группами вагонов.

Как правило, каждое действующее вагонное депо специализировано на ремонте только одного типа вагона. Поэтому существует проблема, связанная с обеспечением депо объектами ремонта, – вагонов необходимого типа может и не оказаться в нужном количестве.

Совсем по-иному происходит отбор вагонов для гибких производственных систем. Исходя из того, что в ремонт могут поступать разные типы вагонов, отпадает проблема обеспеченности депо строго определёнными объектами ремонта.

Кроме уже отмеченных преимуществ, к достоинствам гибкого потока можно отнести и то, что он позволяет в режиме общего потока ремонтировать разные типы вагонов и выполнять разные виды ремонтов. Таким образом, поступающие в ремонт вагоны, делятся на определённые группы, отличающиеся друг от друга параметрами ремонтируемых объектов.

По каждой группе вагонов задаётся программа ремонта N_a , $a = 1, 2, \dots, z$.

Будем считать, что вагоны на входе (в очереди) есть всегда. При этом вагоны каждой группы поступают в ремонт случайным образом согласно заданной вероятности.

В качестве примера рассмотрим следующие группы вагонов, поступающие в ремонт (табл. 1).

Таблица 1

Программа, тип вагона и вид ремонта

№ п/п	Тип вагона	Вид ремонта	Программа ремонта	Вероятность поступления
1	Полувагон	ДР	3600	0,50
2	Полувагон	КР	360	0,05
3	Платформа	ДР	2160	0,30
4	Крытый	ДР	1080	0,15
			7200	1,0

Моделирование на ЭВМ процесса выбора группы вагона осуществляется следующим образом. Компьютер выбрасывает случайные числа ξ_i , равномерно распределённые в интервале от 0 до 1. Если случайно сгенерированное число попадает в интервал от 0 до 0,5 ($0 < \xi_i \leq 0,5$), то в ремонт поступает вагон из первой группы. Если случайное число попадает в интервал от 0,5 до 0,55 ($0,50 < \xi_i \leq 0,55$), то в ремонт поступает вагон из второй группы и т.д.

Для одной и той же группы вагонов могут задаваться условия (параметры), которые будут учитывать различные конструктивные особенности вагонов. Например, полувагоны могут быть с крышками люков, а могут быть и без крышек люков (глухонные). Эти конструктивные отличия сказываются на продолжительности ремонтных работ по вагонам и на маршрутах их движения через позиции потока.

Под приоритетом понимается то, что некоторым группам вагонов может отдаваться предпочтение. Эти вагоны ремонтируются в первую очередь, и по всему потоку им дан «зелёный свет». Если есть повышенная потребность на данный момент использования в перевозочном процессе, например, полувагонов, то этот тип вагонов становится приоритетным и ремонтируется в первую очередь, а вагоны остальных типов ремонтируются по мере возможности. В ремонт же вагоны поступают равномерно, согласно заданной программе.

Учитывая, что вагоноремонтное производство носит стохастический характер, оно практически не может быть точно рассчитано при помощи небольшого количества простых аналитических формул, а нуждается в использовании имитационного моделирования производственного процесса на ЭВМ.

Для решения указанных задач необходимо максимально использовать современные методы моделирования, которые позволяют в короткие сроки и с высокой точностью исследовать различные варианты проведения мероприятий по совершенствованию работы поточных линий вагоноремонтных предприятий.

С целью более глубокого анализа реальных ситуаций, с которыми могут столкнуться работники будущих предприятий, и с целью более точного расчёта таких видов производств ещё на стадии их проектирования, на кафедре «Вагоны и вагонное хозяйство» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна разработан пакет прикладных имитационных программ «Гибкий вагоноремонтный поток».

При разработке программ использована среда приложений Microsoft Visual Studio 2010, а текст самих программ написан на алгоритмическом языке Visual Basic.

Интерфейс программного обеспечения позволяет в простой и доступной для пользователя форме задавать исходные данные для моделирования работы различных структурных вариантов потоков. Программы используются также в учебном процессе при разработке студентами курсовых и дипломных проектов по вагонному хозяйству.

Под структурой потока понимается количество ремонтных позиций, количество модулей на каждой позиции и логика взаимоотношения между ними.

Разработанные программы могут быть использованы для моделирования потоков с целью изучения различных факторов, влияющих на эффективность работы поточных линий ремонта вагонов и их показатели.

Согласно работам [8 – 10], гибкий поток может быть представлен в виде отдельных технологических участков. На каждом участке находятся специализированные ремонтные позиции, а на каждой позиции имеются модули. Под «модулем» понимается ремонтное место для одного вагона. Все модули одной позиции идентичны между собой и, таким образом, взаимозаменяемы.

В общем случае под процессом будем понимать изменение состояний системы во времени. В процессе функционирования гибких потоков возникает огромное количество различных состояний. Каждое новое состояние возникает в тот момент, когда в любом из модулей начинается либо заканчивается процесс ремонта вагонов.

Таким образом, каждый модуль может находиться в одном из трёх возможных состояний:

1. Модуль свободен (в нём нет вагона);
2. Модуль занят и работает (в нём находится вагон на котором выполняются ремонтные работы);
3. Модуль занят, но не работает (работы на вагоне уже закончены, но модуль он ещё не покинул).

Общее количество возможных состояний, в которых может находиться система, определяется по формуле

$$\Psi = Z^{\theta},$$

где Z – количество возможных состояний, в которых может находиться ремонтный модуль, $Z = 3$;

θ – количество ремонтных модулей.

Так, например, при количестве модулей равно 20, количество возможных состояний системы составит

$$\Psi = 3^{20} = 3486784401.$$

В отличие от обычной поточной линии для ремонта вагонов, представляющей собой многофазную одноканальную систему массового обслуживания (СМО), гибкий вагоноремонтный поток представляет собой мультифазную поликанальную систему массового обслуживания. В некоторых работах такие СМО носят ещё название сетей массового обслуживания [11].

Если в первом случае путь движения вагонов между позициями строго предопределён, то во втором случае маршрут движения ремонтируемых вагонов носит вероятностный многовариантный характер.

Максимальное количество возможных вариантов маршрута движения вагона между позициями потока определяется следующим образом:

$$S = \prod_{j=1}^m n_j,$$

где n_j – количество модулей на j -ой позиции, $j = 1, 2, \dots, z$. Так, например, при том же количестве ремонтных модулей и 4...6 позициях количество возможных вариантов маршрута перемещения вагона может колебаться от 500 до 1200. Для традиционных поточных линий количество возможных вариантов движения вагона по позициям измеряется только количеством ремонтных ниток (две нитки – два варианта, три нитки – три, и т.д.).

На каждой ремонтной позиции может находиться несколько ремонтных мест – модулей,

количество которых зависит от времени выполнения ремонтных работ на данной позиции. Чем продолжительнее работы, тем больше и модулей.

Таким образом, вагон с любого модуля j -ой позиции может попасть на любой освободившийся модуль $(j + 1)$ -ой позиции.

В процессе перемещения вагонов между отдельными позициями потока в результате воздействия различных случайных факторов возникают непредвиденные ситуации, которые могут негативно влиять на ход производственного процесса.

Для возможности глубже разобраться со случайными процессами, происходящими на позициях мультифазного поликанального потока в результате движения вагонов между ремонтными позициями, и узнать какие при этом могут возникать ситуации, чтобы принять соответствующие меры, лучше всего обратиться к имитационному моделированию.

Согласно [11], существует два способа реализации моделирования мультифазных систем: в квазирегулярном и вероятностном исполнении.

Квазирегулярная модель – это такая модель, в которой моделирование каждой фазы осуществляется индивидуально с расчётом усреднённых показателей, а затем рассчитываются общие показатели всей многофазной системы через показатели отдельных фаз.

Вероятностная модель – это модель, которая позволяет проследить движения каждого отдельного вагона в процессе прохождения его через все фазы системы. Общие показатели всей системы рассчитываются путём усреднения данных, полученных в результате последовательного прохождения каждого вагона через все фазы системы.

Один из возможных вариантов алгоритма моделирования работы поточной линии для ремонта вагонов с гибкими связями между позициями в квазирегулярном исполнении был изложен в работе [5].

В настоящей же работе представлена вероятностная имитационная модель. Эта модель позволяет проследить судьбу каждого отдельного вагона в процессе перемещения его между позициями потока с запоминанием промежуточных результатов и последующим расчётом различных показателей.

Процесс функционирования потока в упрощённом виде выглядит следующим образом.

Перед первой позицией имеется очередь из вагонов, ожидающих ремонта. Будем считать,

что вагоны в очереди есть всегда. Каждой a -й группе вагонов для каждой j -ой позиции задаются законы распределения времени выполнения ремонтных работ τ_{aj} , $j = 1, 2, \dots, m$; $a = 1, 2, \dots, z$.

В начальный момент времени все модули потока являются свободными. В момент начала моделирования один из операторов присваивает номер очередному вагону, поступившему на первую позицию потока, $i = i + 1$.

Как только будет освобождён любой из модулей первой позиции, в него сразу же поступает очередной вагон из очереди. Что касается других позиций, то для приёма очередного вагона будет использоваться тот модуль, который освободился раньше остальных.

Момент окончания ремонта вагона на позиции ещё не говорит о том, что вагон сразу же покинет эту позицию. Может так случиться, что все модули следующей позиции в этот момент будут ещё заняты, и вагону перемещаться будет некуда. Поэтому вагон будет оставаться в модуле до тех пор, пока не освободиться один из модулей следующей позиции.

При окончании ремонта вагона на последней позиции, он сразу же её покидает (будем считать, что место, куда поставить уже отремонтированный вагон есть всегда).

Будем также считать, что ремонт вагона начинается сразу же в момент поступления его на позицию.

Перемещение вагонов между ремонтными модулями производится при помощи трансбордерной тележки. Трансбордерная тележка осуществляет погрузку на себя вагона, перемещение вместе с ним к необходимому ремонтному модулю и выгрузку вагона. Таким образом, процесс перемещения вагонов между модулями занимает некоторое случайное время $\tau_{тр}$.

При функционировании гибких потоков может возникнуть огромное множество различных ситуаций, что требует разработки специального моделирующего алгоритма.

В самом начале моделирования происходит «разворачивание» потока. Первый вагон по позициям потока будет двигаться без каких-либо задержек, т.к. его движение ничем не ограничивается. Поэтому для получения более точных результатов необходимо снимать показатели, начиная с того момента, когда на всех позициях уже будут находиться вагоны.

Обозначения операторов использованы в соответствии с классической работой [12]:

Π – оператор ввода-вывода информации;

A – вычислительный оператор;

P – логический оператор;
 Φ – оператор формирования случайной величины;

F – оператор формирования неслучайной величины;

H – оператор обнуления;

K – оператор подсчёта (счётчик);

$Я$ – оператор окончания вычислений.

Расположенный рядом с буквой индекс указывает порядковый номер оператора.

Опишем кратко работу алгоритма при помощи его основных операторов.

Для большей наглядности на рис. 1 представлена укрупнённая блок-схема алгоритма моделирования работы гибкого потока ремонта вагонов.

Оператор $П_1$ осуществляет ввод необходимой исходной информации. В качестве исходных данных вводятся следующие параметры:

T_m – интервал времени моделирования (равен годовому фонду рабочего времени потока), мин;

z – количество групп вагонов;

N_a – годовая программа по ремонту a -й группы вагонов, $a = 1, 2, \dots, z$;

m – общее количество ремонтных позиций на потоке;

n_j – количество ремонтных модулей на каждой j -ой позиции, $j = 1, 2, \dots, m$;

$f(\tau_{aj})$ – законы распределения времени выполнения ремонтных работ для каждой a -й группы вагонов по каждой j -ой позиции, $a = 1, 2, \dots, z; j = 1, 2, \dots, m$;

$\phi(\tau_{тр.})$ – закон распределения времени перемещения вагонов между ремонтными позициями;

τ_a^H – нормативное время пребывания в ремонте вагонов a -й группы.

Естественно, что в начальный момент времени все промежуточные и вспомогательные величины должны быть обнулены: $i = 0; j = 0; n = 0; k = 0; v = 0; a = 0; P_{a-1}^* = 0; t_j^H = 0; t_{j-1}^0 = 0; t_j^0 = 0; t_{(j-1)m}^K = 0; t_{j-1}^K = 0; t_{n(j+1)}^0 = 0; i_a = 0 (a = 1, 2, \dots, z)$.

Оператор A_2 определяет общую годовую программу предприятия с учётом ремонта всех групп вагонов:

$$N_B = \sum_{a=1}^z N_a.$$

Оператор A_3 осуществляет переход к следующей группе вагонов:

$$a = a + 1.$$

Оператор A_4 определяет вероятность поступления в ремонт вагонов a -й группы

$$P_a = N_a / N_B.$$

Оператор A_5 рассчитывает верхнюю границу интервала, соответствующего вероятности поступления вагонов из a -й группы:

$$P_a^* = P_{a-1}^* + P_a.$$

Оператор P_6 проверяет, все ли группы вагонов были смоделированы, или нет:

$$a < z.$$

Оператор K_7 осуществляет подсчёт числа вагонов, поступивших в ремонт:

$$i = i + 1.$$

Оператор Φ_8 генерирует случайное число ξ_i , равномерно распределённое в интервале от 0 до 1,0 ($0 \leq \xi_i \leq 1,0$).

Оператор H_9 обнуляет счётчик числа групп вагонов, $a = 0$.

Оператор A_{10} переходит к следующей группе вагонов:

$$a = a + 1.$$

Оператор P_{11} сравнивает значение случайной величины ξ_i со значением верхней границы интервала, соответствующего вероятности поступления в ремонт вагона из a -й группы

$$\xi_i \leq P_a^*.$$

Если это условие не выполняется, то управление передаётся оператору A_{10} , в противном случае оператор F_{12} фиксирует номер группы, из которой поступил вагон, a .

Оператор K_{13} осуществляет подсчёт числа вагонов поступивших в ремонт из a -й группы:

$$i_a = i_a + 1.$$

Оператор F_{14} нумерует вагоны, поступившие в ремонт (заносят их в реестр).

Оператор H_{15} обнуляет значение числа позиций, $j = 0$.

Оператор A_{16} осуществляет переход к моделированию следующей ремонтной позиции:

$$j = j + 1.$$

Оператор Φ_{17} формирует случайное время перемещения вагона между ремонтными позициями $\tau_{тр.}$.

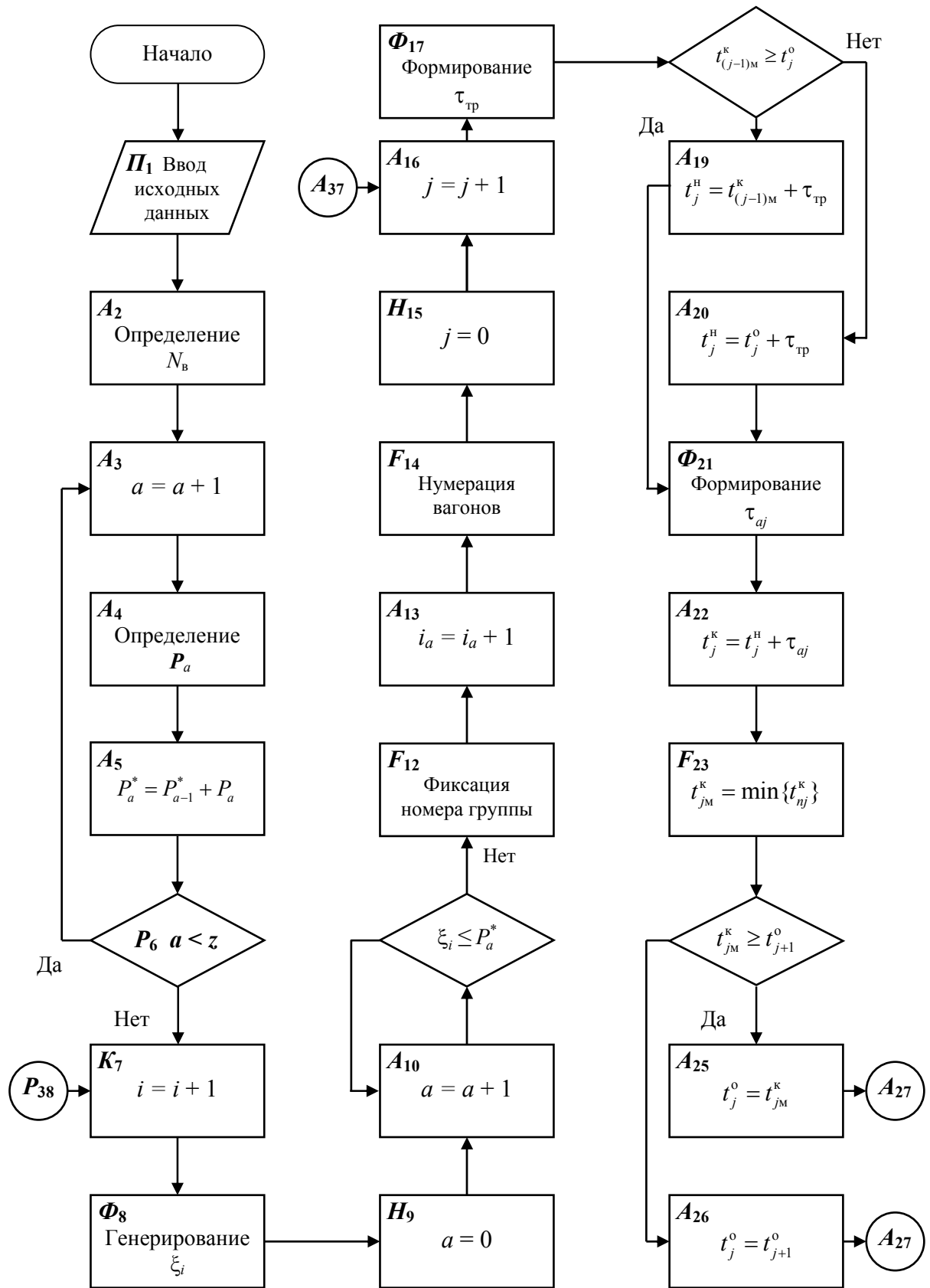


Рис. 1 (начало). Укрупнённая блок-схема алгоритма имитационного моделирования работы гибкого потока для ремонта вагонов как мультифазной поликанальной многопредметной системы массового обслуживания

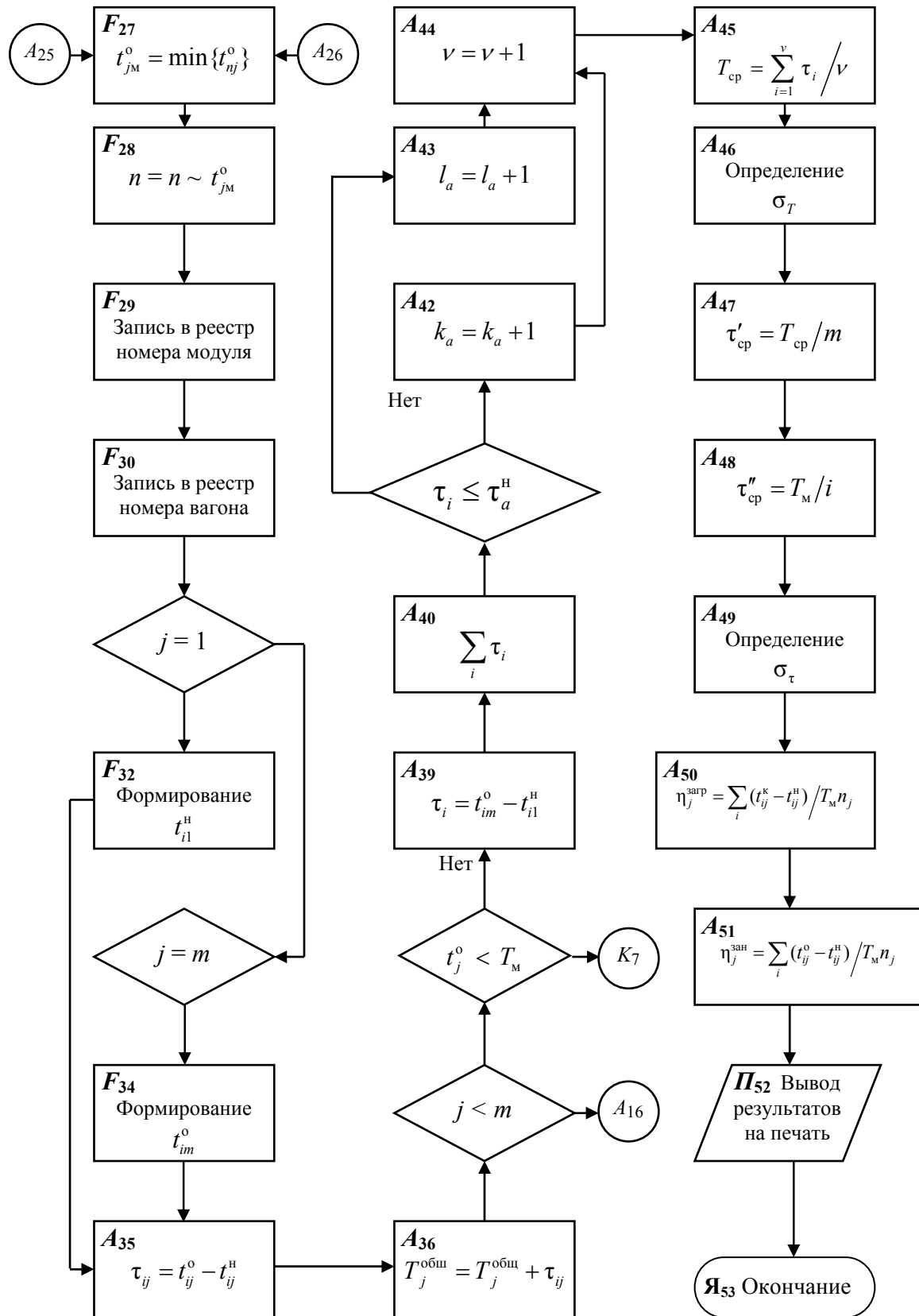


Рис. 1 (окончание)

Оператор P_{18} сравнивает минимальный момент окончания ремонта вагона на $(j - 1)$ -й позиции с моментом освобождения j -ой позиции:

$$t_{(j-1)M}^K \geq t_j^O,$$

если это условие выполняется, то оператор A_{19} вычисляет время начала ремонта вагона на j -ой позиции следующим образом:

$$t_j^H = t_{(j-1)M}^K + \tau_{тр},$$

в противном случае оператор A_{20} осуществляет следующее действие:

$$t_j^H = t_j^O + \tau_{тр}.$$

Оператор Φ_{21} формирует величину времени выполнения ремонтных работ на j -ой позиции согласно группе принадлежности вагона τ_{aj} .

Оператор A_{22} определяет момент времени окончания ремонта этого вагона на j -ой позиции:

$$t_j^K = t_j^H + \tau_{aj}.$$

Оператор F_{23} производит расчёт очередного минимального времени окончания ремонта одного из вагонов на j -ой позиции:

$$t_{jM}^K = \min \{t_{nj}^K\}, n = 1, 2, \dots, n_j.$$

Оператор P_{24} сравнивает минимальный момент окончания ремонта вагона на j -ой позиции с очередным моментом освобождения одного из модулей $(j + 1)$ -ой позиции:

$$t_{jM}^K \geq t_{j+1}^O,$$

если это условие выполняется, то оператор A_{25} вычисляет время освобождения j -ой позиции от вагона следующим образом:

$$t_j^O = t_{jM}^K,$$

в противном случае оператор A_{26} производит следующее действие

$$t_j^O = t_{j+1}^O.$$

Оператор F_{27} производит расчёт минимального момента освобождения модуля на j -ой позиции:

$$t_{jM}^O = \min \{t_{nj}^O\}, n = 1, 2, \dots, n_j.$$

Оператор F_{28} определяет номер модуля j -ой позиции с минимальным временем освобождения:

$$n = n \sim t_{jM}^O.$$

Оператор F_{29} вносит в реестр номер освобожденного модуля.

Оператор F_{30} вносит в реестр номер вагона, который находился в этом модуле.

Оператор P_{31} проверяет условие $j = 1$; если условие выполняется, то оператор F_{32} формирует базу данных, в которой для каждого i -го вагона хранится момент поступления его в ремонт t_{i1}^H .

Оператор P_{33} проверяет условие $j = m$; если условие выполняется, то оператор F_{34} формирует базу данных, в которой для каждого i -го вагона хранится момент выпуска его из ремонта t_{im}^O .

Оператор A_{35} определяет время пребывания i -го вагона на j -ой позиции:

$$\tau_{ij} = t_{ij}^O - t_{ij}^H.$$

Оператор A_{36} определяет общее время простоев i -го количества вагонов в ремонте на j -ой позиции:

$$T_j^{\text{общ}} = T_j^{\text{общ}} + \tau_{ij}.$$

Оператор P_{37} проверяет, все ли позиции потока были смоделированы при данном цикле, или нет:

$$j < m,$$

если условие выполняется, то управление передается оператору A_{16} .

Оператор P_{38} проверяет, не исчерпан ли интервал времени моделирования:

$$t_j^O < T_M,$$

если интервал не исчерпан, то управление передается оператору K_7 .

Оператор A_{39} определяет общее время пребывания i -го вагона в ремонте:

$$\tau_i = t_{im}^O - t_{i1}^H.$$

Оператор A_{40} суммирует эти значения $\sum_i \tau_i$.

Оператор P_{41} проверяет, не было ли превышено нормативное время пребывания вагона a -й группы в ремонте:

$$\tau_i \leq \tau_a^H,$$

в случае превышения нормативного времени простоя управление передаётся оператору K_{42} , который осуществляет подсчёт таких вагонов, в противном случае – к оператору K_{43} .

Оператор K_{42} подсчитывает число вагонов a -й группы, нарушивших регламент:

$$k_a = k_a + 1.$$

Оператор K_{43} производит подсчёт количества вагонов a -й группы, не превысивших норматив простоя в ремонте:

$$l_a = l_a + 1.$$

Оператор K_{44} производит подсчёт количества вагонов, вышедших из ремонта:

$$v = v + 1.$$

Оператор A_{45} определяет среднее время пребывания вагонов в ремонте

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^v \tau_i / v.$$

Оператор A_{46} определяет среднеквадратическое отклонение времени пребывания вагонов в ремонте σ_T .

Оператор A_{47} определяет величину среднего такта потока:

$$\tau'_{cp} = T_{cp} / m.$$

Оператор A_{48} также определяет величину среднего такта потока:

$$\tau''_{cp} = T_m / i.$$

Оператор A_{49} определяет среднеквадратическое отклонение такта потока σ_τ .

Оператор A_{50} определяет коэффициент загрузки каждой ремонтной позиции:

$$\eta_j^{загр} = \sum_i (t_{ij}^k - t_{ij}^H) / T_m n_j.$$

Оператор A_{51} определяет коэффициент занятости каждой ремонтной позиции

$$\eta_j^{зан} = \sum_i (t_{ij}^o - t_{ij}^H) / T_m n_j.$$

Оператор P_{52} осуществляет вывод необходимой информации на печать.

Оператор Y_{53} завершает процесс моделирования.

Таким образом, разработан новый инструментарий, который ещё на стадии проектирования позволяет исследовать и оценить работу нового или модернизируемого вагоноремонтного предприятия.

Исследования разных структурных вариантов гибких потоков свидетельствуют о том, что их пропускная способность увеличивается до 40 % по сравнению с традиционными поточными линиями, и, кроме того, значительно сокращается продолжительность пребывания вагонов в ремонте и, следовательно, уменьшение расходов на ремонт, а также повышается качество ремонта, и в конечном итоге, повышается безопасность движения и эффективность эксплуатации подвижного состава. Полученные результаты говорят о высокой эффективности гибких вагоноремонтных потоков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гридюшко, В. И. Вагонное хозяйство [Текст] / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, Н. З. Криворучко. – М.: Транспорт, 1988. – 295 с.
2. Ножевников, А. М. Поточно-конвейерные линии ремонта вагонов [Текст] / А. М. Ножевников. – М.: Транспорт, 1980. – 137 с.
3. Скиба, И. Ф. Комплексно-механизированные поточные линии в вагоноремонтном производстве [Текст] / И. Ф. Скиба, В. А. Ёжиков. – М.: Транспорт, 1982. – 136 с.
4. Вагонное хозяйство [Текст] / под ред. П. А. Устича. – М.: Маршрут, 2003. – 560 с.
5. Дударев, А. Е. Имитационное моделирование работы поточных линий для ремонта вагонов как многофазных систем массового обслуживания [Текст] / А. Е. Дударев, В. В. Мямлин; Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп. – Д., 1985. – 16 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 30.12.85, № 3406.
6. Дударев, А. Е. Применение имитационного моделирования для анализа функционирования поточных вагоноремонтных линий с гибкими связями между производственными участками [Текст] / А. Е. Дударев, В. В. Мямлин; Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп. – Д., 1986. – 12 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 30.05.86, № 3582.
7. Мямлин, В. В. Использование метода статистического моделирования при проектировании поточных линий для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Вопросы оптимизации деталей тележек и организации обслуживания вагонов. – Д.: ДИИТ, 1985. – С. 70-76.
8. Мямлин, В. В. Использование теории кусочно-линейных агрегатов для формализации работы ремонтных модулей поточной вагоноремонтной линии с гибкой транспортной системой [Текст]

- / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 44-48.
9. Мямлин, В. В. Схема кусочно-линейного агрегата как математическая модель функционирования технологических модулей асинхронного гибкого потока ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 25. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 18-22.
10. Мямлин, В. В. Компонентные решения организационно-технологических структур перспективных вагоноремонтных депо с асинхронными гибкими потоками ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 31. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 55-62.
11. Лифшиц, А. Л. Статистическое моделирование систем массового обслуживания [Текст] / А. Л. Лифшиц, Э. А. Мальц. – М.: Советское радио, 1978. – 248 с.
12. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 400 с.

Поступила в редколлегию 14.04.2011.

Принята к печати 19.04.2011.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАНТАЖОВЛАСНИКІВ У ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛАХ

Розглядається розвиток досліджень, пов'язаних із роботою транспортних вузлів та вдосконаленням транспортного обслуговування вантажовласників у них, взаємодії окремих видів транспорту та підвищення якості виконання перевезень.

Ключові слова: транспортний вузол, підвищення рівня транспортного обслуговування, логістичні технології, логістичні центри

Рассматривается развитие исследований, связанных с работой транспортных узлов и усовершенствованием транспортного обслуживания грузовладельцев в них, взаимодействия отдельных видов транспорта в узле и повышения качества перевозок.

Ключевые слова: транспортный узел, повышение уровня транспортного обслуживания, логистические технологии, логистические центры

The development of research activities related to operation of transport junctions and improvement of transport services at them for freight owners, co-operation of separate modes of transport in a junction and upgrading the quality of transportations is examined.

Keywords: transport junction, upgrading the level of transport services, logistic technologies, logistic centers

В умовах складної економічної ситуації, як на транспорті, так і у країні в цілому виникає необхідність заохочення додаткових обсягів перевезення на всі види транспорту, зокрема і на залізничний. Одним із шляхів залучення клієнтури на залізничний транспорт може бути удосконалення технології їх транспортного обслуговування.

Удосконалення технології транспортного обслуговування потребує, як правило, значних капітальних вкладень, однак необхідність зниження загального рівня витрат потребує досягнення високого рівня якості транспортного обслуговування з одночасним зниженням його собівартості. Витрати на удосконалення технології обслуговування, з одного боку являють собою один із видів витрат, що включаються в собівартість продукції, з іншого боку ці витрати відображають проблеми якості, оскільки структура та розмір цих витрат є витратами, що виникають внаслідок надання обслуговування низької якості.

Як зазначається в останніх дослідженнях [1], динаміка вантажообороту залізничного транспорту у зв'язку зі світовою фінансовою кризою значною мірою знизилася, проте на автомобільному транспорті у кризові 2008 та 2009 роки спостерігається навіть деяке збільшення обсягів переміщення вантажів (рис. 1).

З цього можна зробити наступний висновок – клієнти залізниці в складних економічних умовах не лише зменшили обсяги перевезень, а

й перейшли на інші види транспорту, зокрема автомобільний. В ринкових умовах на транспорті загострюється конкуренція, а підвищення якості транспортного обслуговування може дозволити залізничному транспорту не лише зберегти свої позиції на транспортному ринку, а й заохотити додаткові обсяги перевезень за рахунок більш досконалого виконання своїх функцій.

Розвиток технологій транспортного обслуговування здатен значною мірою вплинути на конкурентоспроможність залізничного транспорту на ринку транспортних послуг України.

Організація перевізного процесу, тобто безпосередньо взаємодія між вантажовідправниками та представниками транспортних організацій, здебільшого відбувається в транспортних вузлах, отже саме тут необхідно впроваджувати принципово нові підходи до формування самої структури транспортного обслуговування та вдосконалювати форми взаємодії.

Транспортні вузли, розташовані у місцях взаємодії декількох видів транспорту, є одним з найважливіших елементів транспортної системи країни. Від чіткої та узгодженої роботи транспортних вузлів, правильної взаємодії елементів складного комплексу транспортних пристроїв залежить робота транспортної системи в цілому, а також якість обслуговування всіх споживачів транспортних послуг. У світовій практиці транспортні підприємства залізничних вузлів інтегруються з торговою та індустріаль-

ною зоною усього регіону, причому на транспортних комплексах розміщуються комплекси глибокої переробки вантажів. Складські термінали виконують функції логістичних підприємств, діяльність яких спрямована на скорочення перевізного часу і раціональне зниження енергетичних та трудових витрат у межах регіонального розподілу вантажів. В основу органі-

зації транспортного вузла покладені наступні принципи: раціональне розміщення вузла щодо обслуговуючої клієнтури; оснащеність навантажувально-розвантажувальних фронтів; наявність місць тимчасового складування, оснащених високопродуктивними перевантажувальними засобами.

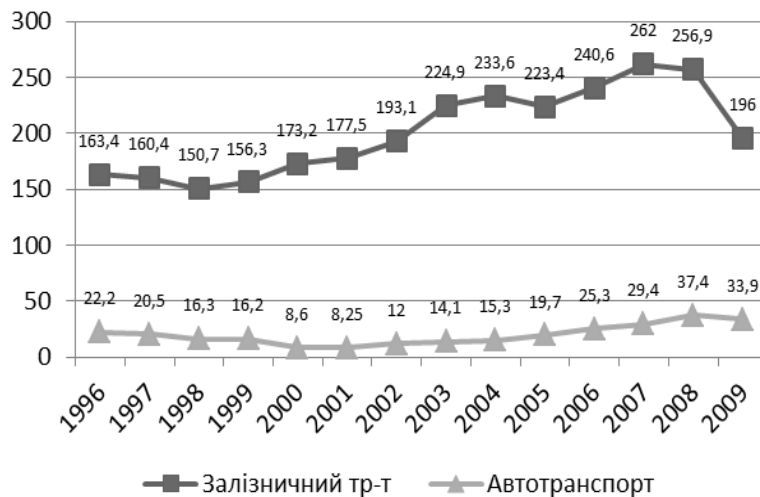


Рис. 1. Динаміка вантажообороту залізничного та автомобільного транспорту за 1996-2009 рр. в млрд т-км

В останній час питання неузгодженості роботи окремих учасників перевізного процесу та необхідність побудови їх взаємовідносин на принципах логістики набули нового розвитку. Більшість дослідників розглядають в якості ос-

новного методу узгодження окремих підрозділів та надання максимального сервісу споживачам створення логістичних систем (логістичних центрів) [2]. Загальні принципи рішення проблем неузгодженості наведені на рис. 2.

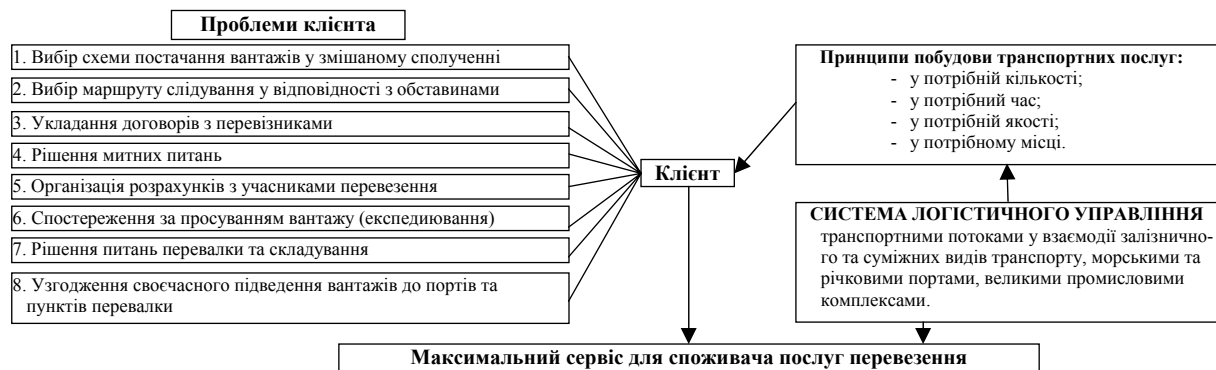


Рис. 2. Загальні принципи рішення транспортних проблем на базі логістичних технологій

Аналогічні розробки були проведені й українськими дослідниками. У роботах [3, 4] авторами розроблено методику визначення параметрів системи транспортного обслуговування вантажовласників у транспортних вузлах, та модель функціонування регіонального розподільчого центру транспортного вузла. Було запропоновано розглядати транспортний вузол як

складну ієрархічну транспортну мета-систему, перший рівень якої являють собою структурні підрозділи Центру комплексного транспортно-обслуговування (ЦКТО), а другий – регіональні розподільчі центри (РРЦ), сукупність яких утворює транспортно-вантажний комплекс регіону (рис. 3).

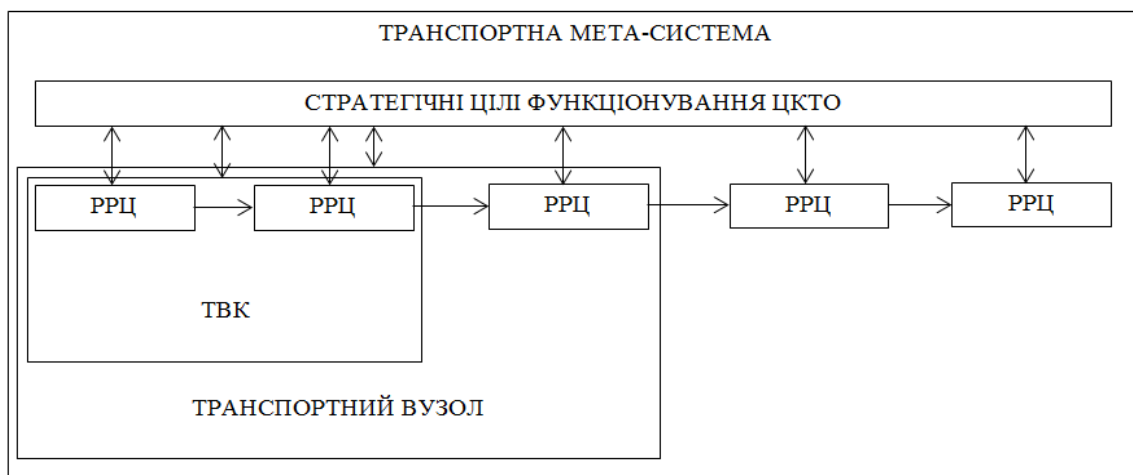


Рис. 3. Ієрархічна структура системи транспортного обслуговування у вузлі

Значна кількість авторів [5 – 7] займалися дослідженням та вдосконаленням роботи транспортних вузлів. При цьому в якості основного фактору щодо якого проводилося дослідження розглядалися різні – вдосконалення взаємодії учасників перевізного процесу різних форм власності, планування необхідного резерву порожнього рухомого складу та зменшення їх міжопераційного простою, швидкість доставки вантажів, та шляхи її підвищення. Проте у більшості цих робіт було приділено недостатню увагу безпосередній взаємодії між вантажовласниками та транспортом, а основна увага була приділена технологічним аспектам дослідження.

У роботах [8, 9] було виконано аналіз ще однієї важливої складової транспортного сервісу – технології здійснення транспортно-експедиційного обслуговування. Було запропоновано основні напрямки вдосконалення цього сектору та перелік покращених показників, включаючи комплексний показник якості транспортно-експедиційного обслуговування.

Було наголошено, що процес формування логістичних технологій організації транспортного процесу залізниць України повинен носити комплексний характер і сприяти процесам реформування, а також враховувати інтереси усіх учасників перевізного процесу. В умовах зростання обсягів перевезень при наявності конкуренції з іншими видами транспорту та при підвищенні вимог клієнтури до якості транспортного обслуговування особливо актуальним стає вирішення наукової проблеми створення методологічних основ для формування логістичних ланцюгів, що, у свою чергу, передбачає створення високоефективних технологій перерозподілу та використання засобів транспорту. Було розроблено концепцію формування

системи логістичних центрів залізниць України у вигляді багаторівневої організаційної структури у єдиному технологічному та інформаційному середовищі. Це здійснено на основі комплексу моделей, що реалізує транспортний процес сумісної роботи залізниць з іншими видами транспорту в межах транспортних вузлів, та моделей технологічних процесів в умовах розподілу обмеженого ресурсу при формуванні виробничо-транспортних логістичних ланцюгів з оптимізацією маршруту прямування поїздів.

За допомогою апарату мереж Петрі в роботі була розроблена модель функціонування РРЦ транспортного вузла, яка дозволяє врахувати імовірнісні фактори та оперативні дані. Також запропоновано удосконалення транспортного обслуговування вантажовласників у транспортних вузлах здійснювати через раціоналізацію технолого-логістичних параметрів, а ефект цього вдосконалення оцінювати через вигреш всіх учасників логістичного ланцюга. Однак дана робота розглядала функціонування лише одного розподільчого центру, та не враховувала його взаємодії з іншими РРЦ транспортного вузла.

Світова тенденція щодо покращення транспортного обслуговування клієнтів також здебільшого рухається у напрямку створення мережі центрів, які допоможуть залізницям більш гнучко реагувати на потреби споживачів, а також спростити та централізувати процес заповнення перевізних документів. Так цілий ряд залізничних транспортних організацій що працюють на залізничних мережах країн Європейського союзу, зокрема SNCF (Франція) та DBAG (Німеччина) створили розгалужену мережу філіалів з обслуговування вантажовласників у початкових та кінцевих пунктах перевезення з використанням для цього автомобільного транспорту.

Це значно скоротило витрати цих компаній на накопичення, перестановку та групування вагонів у достатньо великі та економічно обгрунтовані партії. Однак слід зазначити, що ці компанії працюють в умовах, що дещо відрізняються від аналогічних в Україні. В країнах Європейського союзу інфраструктура здебільшого відділена від експлуатації, а всі державні залізниці приватизовані (так звана «британська» модель реформування). В результаті залізничні компанії опинилися на вільному транспортному ринку з жорсткою конкуренцією, що сприяло значному розвитку транспортної галузі. В результаті цього у докризовий період 2001-2005 рр. залізниці значно збільшили свою частку транспортного ринку, як у пасажирських перевезеннях, так і у вантажних [10].

Зростання частини вантажів, що потребують термінової доставки в загальному обсязі вантажних перевезень, збільшує попит на високошвидкісні залізничні сполучення. На теперішній момент залізниці Європи вже почали реалізацію концепції високошвидкісних перевезень в нічний час на відстань до 1500 км спеціалізованими вантажними відправками із швидкістю просування понад 200 км/год. Проте для забезпечення швидкісної доставки необхідна розробка та використання сучасних інформаційних систем, які повинні містити бази даних, які необхідні для оперативного прийняття рішень по оптимальним маршрутам перевезень. Прикладом такої системи може служити система Micro Speed, яка використовується на залізницях Німеччини.

Проте організація та технологія виконання високошвидкісних вантажних перевезень залишається недосконалою. У зв'язку з цим за останні 20 років було виконано ряд досліджень з метою вивчення потенціалу перевезень високошвидкісними (200 км/год та більше) вантажними поїздами. В таких дослідженнях як High Speed Mix, DeuFraKo, AFTEI и High Speed Rail Forum, розглядалися задачі специфічних проєктів, а у 2001 році Міжнародний союз залізниць (МСЖД) почав чергове дослідження, метою якого є вивчення всіх аспектів високошвидкісних вантажних перевезень, від аналізу попиту до експлуатаційних питань. В Європі сектор перевезень вантажів з високою швидкістю зростає досить активно – від 5 до 10 % на рік. На теперішній момент найбільш перспективним для подібних перевезень є використання поїздів FEX за допомогою запакування відправлень у невеликі контейнери, що використовуються на повітряному транспорті, або в консолідовані

упаковки. Аналіз ринку дозволяє зробити висновок, що використання поїздів FEX може бути ефективним на лініях так званої мережі KITE, що пов'язує Лондон, Париж, Франкфурт-на-Майні, Кельн, Амстердам та Брюссель. На східну частину цієї мережі припадає майже половина всіх можливих вантажних перевезень в Європі, крім того всі п'ять міст, що формують цю частину мережі у найближчі роки будуть з'єднані високошвидкісними лініями.

Отже з вищезазначеного можна зробити наступний висновок: існуючі в Україні технології обслуговування вантажовласників всередині транспортних вузлів виконуються за застарілими технологіями, не враховують передовий світовий та науковий досвід та не завжди враховують інтереси вантажовласників, отже потребують вдосконалення. Не дивлячись на значну кількість проведених за даним напрямком вітчизняними та закордонними вченими досліджень, питання вдосконалення систем обслуговування споживачів транспортних послуг у транспортних вузлах не вирішено.

Найбільш перспективні напрямки вдосконалення цієї технології (що підтверджується попередніми дослідженнями) пов'язані зі створенням мережі логістичних центрів, за допомогою яких клієнтам буде надаватися розширений спектр послуг з організації перевезення вантажів. Цілий ряд дослідників як в Україні так за кордоном виконували дослідження спрямовані на окремі складові технології функціонування логістичних центрів, перелік їх функцій та оптимальні параметри функціонування, однак задача їх взаємодії між собою та з клієнтами всередині транспортних вузлів також залишається не вирішеною.

Крім того попередні дослідники приділяли недостатньо уваги процесу планування (як оперативного-тактичного так і стратегічного) діяльності логістичних центрів, та поглибленому аналізу окремих елементів технології його роботи на що й буде спрямоване дослідження.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Петренко, Е. А. Динамика перевозок на железнодорожном транспорте Украины [Текст] / Е. А. Петренко // Залізнич. трансп. України. – 2010. – № 6.
2. Елисеев, С. Ю. Логистическое управление грузовыми перевозками в транспортных узлах [Текст] / С. Ю. Елисеев // Ж/д трансп. – 2006. – № 1. – С. 32-36.
3. Нагорний, С. В. Оцінка економічної ефективності вдосконалення системи транспортного обслуговування вантажовласників у транспортних ву-

- злах [Текст] / Є. В. Нагорний, Т. В. Столяр // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ.
4. Столяр, Т. В. Удосконалення транспортного обслуговування вантажовласників у транспортних вузлах [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20; ДНУЗТ / Т. В. Столяр. – Д., 2007. – 22 с.
 5. Ломотько, Д. В. Використання логістичних підходів та системної оптимізації при функціонуванні транспортних вузлів [Текст] / Д. В. Ломотько, Я. В. Запара, Є. В. Запара // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. 111. – С. 17-22.
 6. Долгополов, П. В. Оптимізація роботи залізничних вузлів на основі планування резерву порожніх вагонів [Текст] / П. В. Долгополов, І. М. Дробот, О. Ю. Рогозін // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 112. – С. 1-5.
 7. Левицький, І. Ю. Удосконалення технології прискорення доставки вантажів на залізницях України в умовах транспортних послуг [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20; ДНУЗТ / І. Ю. Левицький. – Д., 2004. – 20 с.
 8. Ломотько, Д. В. Удосконалення перевезення вантажів на залізницях України в умовах ринку транспортних послуг [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20; ХарДАЗТ / Д. В. Ломотько. – Х., 2001. – 22 с.
 9. Ломотько, Д. В. Формування транспортного процесу залізниць України на базі логістичних принципів [Текст] : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.22.01; УкрДАЗТ / Д. В. Ломотько. – Х., 2008. – 39 с.
 10. Данкр, Ж.-Ф. Железные дороги Великобритании спустя 10 лет после приватизации [Текст] / Ж.-Ф. Данкр // Le Rail (Франция). – 2006. – № 126. – С. 14-17, фр.

Надійшла до редколегії 10.05.2011.

Прийнята до друку 12.05.2011.

В. М. БЕЗРУЧЕНКО, О. А. ХОРОШКО (ДПТ)

ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ТА ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ

Розглянуто можливості асинхронного тягового електропривода при певній зчепній масі з урахуванням обмеження по зчепленню. Запропоновано варіант використання закону регулювання електропривода, що дозволяє більш раціонально реалізувати силу тяги. Показано можливість реалізації електровозом ДСЗ швидкостей до 220 км/год.

Ключові слова: асинхронний тяговий двигун, механічні характеристики, потужність, тягові характеристики, обмеження по зчепленню, закон регулювання, допустимий перегрів

Рассмотрены возможности асинхронного тягового электропривода при определенной сцепной массе с учетом ограничения по сцеплению. Предложен вариант использования закона регулирования электропривода, позволяющего более рационально реализовать силу тяги. Показана возможность реализации электровозом ДСЗ скоростей до 220 км/час.

Ключевые слова: асинхронный тяговый двигатель, механические характеристики, мощность, тяговые характеристики, ограничение по сцеплению, закон регулирования, допустимый перегрев

The possibilities of asynchronous traction electric motor drive are considered at the certain coupling mass taking into account the coupling restrictions. A variant of using the regulation law for electric motor drive allowing realizing traction force more rationally is offered. The possibility of reaching the speeds to 220 km/h for electric locomotive DS3 is shown.

Keywords: asynchronous traction motor, mechanical characteristics, power, traction characteristics, coupling restrictions, regulation law, permissible overheating

Раніше в роботах [1–3] були розглянуті можливості підвищення ефективності використання асинхронного тягового привода. Актуальність цього питання не зменшилась і в наш час. Навіть більше, сьогодні гостро стоїть питання про так звану «недостатню потужність» цього привода, центральною ланкою якого в електровозі ДСЗ є асинхронний тяговий двигун СТА1200. Можна було б створити новий тяговий двигун, однак, як показала практика, для цього, з урахуванням його випробувань та експлуатаційних доробок, знадобиться кілька років.

Розглянемо питання про те, яким чином може бути використаний легкий та надійний тяговий двигун СТА1200 на нових локомотивах. Двигун має наступні номінальні параметри:

- тривала потужність: $P_{\text{ном}} = 1200$ кВт;
- напруга лінійна / фазна:

$$\frac{U_{\text{л}}}{U_{\text{ф}}} = 1870 / 1080 \text{ В};$$

- частота напруги живлення: $f_{1 \text{ ном}} = 58$ Гц;
- частота обертання: $n_{\text{ном}} = 1138$ об/хв;
- максимальна частота: $f_{1 \text{ max}} = 154,4$ Гц;
- номінальна / максимальна частота обертання:

$$\frac{n_{\text{ном}}}{n_{\text{max}}} = 1138 / 3030 \text{ об/хв};$$

- обмотки статора з'єднані «зіркою»;
- струм статора: $I_1 = 450$ А;
- ізоляція класу «Н»;
- кінцевий перегрів обмотки статора:

$$\tau_{\text{кн}} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

- кількість пар полюсів: $p = 3$ А;
- коефіцієнт корисної дії: $\eta_{\text{ном}} = 0,935$;
- втрати холостого ходу і короткого замикання відповідно дорівнюють $p_0 = 18$ кВт і $p_{\text{к}} = 65,3$.

В [3] було відмічено, що ковзанням у номінальному режимі, через його невелике значення, для простоти розрахунків можна знехтувати, тобто $S \approx 0$.

Слід пам'ятати, що тягові властивості привода не характеризуються лише параметрами двигуна, але й обмежуються зчепленням колеса з рейкою. Зупинимося на цьому положенні, котре, на жаль, не завжди враховується належним чином.

Відомо, що при визначенні коефіцієнта зчеплення отримують великий масив експериментальних точок, через які потім проводять деяку середню криву, котру описують рівнянням, що

використовується в тягових розрахунках. Розкид цих точок вельми великий та залежить від значної кількості факторів [6].

Для електровозів змінного струму з плавним регулюванням коефіцієнт зчеплення визначають за формулою, яка рекомендована в [5]:

$$\psi_{\pi} = 0,294 + \frac{4,2}{50 + 6 \cdot V} - 0,00063 \cdot V, \quad (1)$$

де V – швидкість електровоза, км/год.

Для електровоза з асинхронними тяговими двигунами, враховуючи специфіку їх характеристик та більшу стійкість завдяки відповідній системі управління, можна допустити підвищення коефіцієнта зчеплення, з нашої точки зору, не більше, ніж на 15 %, тобто прийняти розрахунковий коефіцієнт зчеплення з урахуванням виразу (1):

$$\psi_{\pi p} = 1,15 \cdot \psi_{\pi}. \quad (2)$$

Іноді цей коефіцієнт приймають рівним 1,18.

Це з достатньою ступінню точності підтверджується експлуатаційними випробуваннями електровоза ДСЗ.

Маючи на увазі, що зчепна маса електровоза ДСЗ на одну вісь становить 23 т, діаметр ведучого колеса 1,25 м, передавальне відношення тягового редуктора рівне 3,826, а його КПД – 0,97, по відомим формулам [6] розрахуємо в залежності від швидкості руху коефіцієнт зчеплення по (2), обмеження по зчепленню, силу тяги однієї колісної пари $F_{\text{цп}}$, силу тяги F та його частоту обертання n . Результати цих розрахунків зведемо до табл. 1.

Обмеження по зчепленню:

$$F_{\text{цп}} = 23 \cdot 9,81 \cdot \psi_{\pi p}. \quad (3)$$

За даними табл. 1 побудовано характеристики на рис. 1, де 1 – характеристика обмеження сили тяги по зчепленню; ділянка тягової характеристики 2 ab , на якій відбувається регулювання частоти та амплітуди напруги по закону $\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$, а сила тяги $F = \text{const}$ та ділянка bc , яка являє собою криву гіперболічного виду, рівняння котрої $V \cdot \sqrt{F} = \text{const}$, причому тут, після виходу в точку номінального режиму b , змінюється лише частота, а напруга $U_1 = \text{const}$ [4]. В точці b корисна потужність номінального режиму $P_{\text{ном}} = 1200$, що згідно до [4] відповідає швидкості:

$$V_{\text{ном}} = \frac{D_K \cdot n_{\text{ном}}}{5,3 \cdot \mu} = \frac{1,25 \cdot 1138}{5,3 \cdot 3,826} = 70 \text{ км/год}, \quad (4)$$

а сила тяги для однієї колісної пари:

$$F_{\text{ном}} = 3,6 \cdot \frac{P_{\text{ном}}}{V} = 3,6 \cdot \frac{1200}{70} = 61,7 \text{ кН}. \quad (5)$$

Таблиця 1

V , км/год	n , об/хв	$\psi_{\pi p}$	$F_{\text{цп}}$, кН
0	0	0,446	102,6
20	324,4	0,361	83,1
40	648,9	0,334	76,9
60	973,3	0,314	72,3
70	1136	0,305	70,3
80	1298	0,297	68,3
90	1460	0,288	66,3
120	1947	0,264	61
140	2271	0,248	57,1
160	2596	0,233	53,6
200	3244	0,202	46,5
220	3569	0,187	43

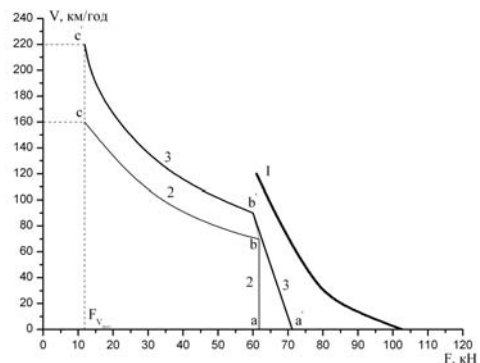


Рис. 1

На ділянці ab тягової характеристики (рис. 1) відношення $\frac{U_{1\phi}}{f_1} = \frac{1080}{58} = 18,62$, а на ділянці bc добуток

$$V \cdot \sqrt{F} = 70 \cdot \sqrt{61,7} = 550. \quad (6)$$

Сила тяги при максимальній швидкості 160 км/год в точці c з урахуванням (6) буде:

$$F_{V_{\text{max}}} = \left(\frac{550}{160} \right)^2 = 11,8 \text{ кН}. \quad (7)$$

Аналіз результатів розрахунків по табл. 1 показує, що при швидкості $V = 70$ км/год обмеження по зчепленню згідно (3) складає $F_{\text{сч}} = 67,15$. Таким чином по рівнянню (5) в номінальному режимі запас по зчепленню знаходиться в межах 8 %, тобто в цьому режимі електровоз ДСЗ працює практично на межі по зчепленню, що слід враховувати при формуванні маси поїзда, призначеного для чотиривісного електровоза ДСЗ.

Раніше в [1 – 2] показано, що потужність двигуна СТА1200 може бути підвищена при певних умовах, як в бік збільшення швидкості, так і в бік збільшення сили тяги. Тому тепер будемо намагатися сформувати таку характеристику двигуна, котра не призводила б до недопустимих перевантажень двигуна та зривам зчеплення.

Одним з можливих варіантів такої характеристики буде крива 3 на рис. 1, тобто крива $a'b'c'$, де точка b' є точкою номінального режиму при швидкості $V = 90$ км/год і силі тяги $F = 60$ кН; точка c' відповідає попередньому значенню сили тяги $F_{V_{\text{max}}} = 11,8$ кН, ділянка характеристики $b'c'$ сформована за законом $V \cdot \sqrt{F} = \text{const}$ при $U_1 = U_{\text{ном}}$ (незмінному), а ділянка $a'b'$ сформована за законом

$$\frac{U_1}{f_1^{1,0009}} = \text{const} . \quad (8)$$

Тут за значення прийняті параметри точки b' , тобто $U_{1\text{фном}} = 1400$ В, $f'_{1\text{ном}} = 74,6$ Гц, $V'_{\text{ном}} = 90$ км/год.

Ці параметри отримані при використанні рівняння М. П. Костенко [4] для частотнорегульованого тягового двигуна:

$$\frac{U_1}{U'_{\text{ном}}} = \frac{V}{V'_{\text{ном}}} \cdot \sqrt{\frac{F}{F_{\text{ном}}}} . \quad (9)$$

Підставивши в (8) значення параметрів, що відповідають точці b' , а саме $\frac{U_1}{1400} = \frac{V}{90} \cdot \sqrt{\frac{F}{60}}$, та перетворивши, отримаємо рівняння ділянки $a'b'$ характеристики 3 на рис. 1:

$$F = \frac{U_1^2}{4V^2} . \quad (10)$$

Вважаючи, як це було сказано вище, що швидкість V пропорційна частоті f_1 , використовуючи (7) та (9), розрахуємо ділянку $a'b'$ ха-

рактеристики 3 на рис. 1. Результати розрахунків зведемо до табл. 2.

Таблиця 2

F , кН	V , км/год	$U_{1\text{ф}}$, В	f_1 , Гц	U_1/f_1
70	0	0	0	-
68,5	20	331	16,6	20
66,5	40	652	33,1	19,7
64,5	60	964	49,7	19,4
63,5	70	1116	58	19,2
62,5	80	1265	66,3	19,0
60	90	1400	74,6	18,7

Аналіз даних табл. 2 показує, що значення $\frac{U_1}{f_1}$ повністю відповідає рівнянню (8). Швид-

кість 90 км/год, фазна напруга 1400 В, сила тяги 60 кН та частота 74,6 Гц відповідають новому номінальному режиму, визначеному точкою b' на рис. 1. Потужність двигуна тут згідно (5) рівна $P'_{\text{ном}} = \frac{60 \cdot 90}{3,6} = 1500$ кВт. Як видно з гра-

фіка на рис. 1, подальше підвищення потужності двигуна, як з точки b в бік збільшення сили тяги, так і з точки b' при зчепній масі однієї колісної пари 23 т, недоцільно, бо вона не може бути реалізована через обмеження по зчепленню.

Ділянка нової характеристики $b'c'$, як і раніше, відповідає закону регулювання (6), тобто $90 \cdot \sqrt{60} = 697$. Отже, при збереженні попереднього значення сили тяги $F_{V_{\text{max}}}$ максимальна швидкість буде $\frac{697}{\sqrt{11,8}} = 203$ км/год при частоті

обертання ротора двигуна $n_{\text{max}} = \frac{203}{70} \cdot 1138 \cong 3300$ об/хв, що цілком допустимо для підшипників, що використовуються в наш час. Швидкість руху може бути підвищена навіть до 220 км/год при відповідному зменшенні сили тяги до $F_{\text{min}} = \left(\frac{697}{220}\right)^2 = 10$ кН.

Частота обертання ротора двигуна при цьому буде рівна $n'_{\text{max}} = \frac{220}{203} \cdot 3300 \cong 3580$ об/хв,

а частота живлячої напруги $f'_{\text{max}} = 74,6 \cdot \frac{220}{90} =$

= 182 Гц, що є допустимим для сучасних IGBT-транзисторів.

Таким чином, сформувавши нову тягову характеристику 3 на рис. 1, отримуємо наступні номінальні параметри тягового електропривода: $V'_{ном} = 90$ км/год; $F'_{ном} = 60$ кН; $U'_{1фном} = 1400$ В; $f'_{1ном} = 74,6$ Гц; $P'_{ном} = 1500$ кВт.

Розглянемо тепер можливість такого підвищення потужності двигуна з точки зору його нагріву, а також його енергетичні показники. Як бачимо, при переході з точки b на рис. 1 в точку нового номінального режиму b' момент двигуна, його струм I_1 , а отже, і втрати короткого замикання залишаються практично незмінними, навіть дещо зменшуються, оскільки в точці зменшено силу тяги. Нові втрати короткого замикання дорівнюють приблизно за даними табл. 2:

$$p'_k = 65,3 \cdot \left(\frac{60}{63,5} \right)^2 = 58,3 \text{ кВт.}$$

Зміняться також втрати холостого ходу, які являють собою втрати в сталі і дуже малі механічні втрати. Останніми для простоти подальшої викладки ми нехтуємо.

Відомо [4], що втрати в сталі пропорційні добутку $f_1^{1,3} \cdot B^2$, де B – індукція, пропорційна магнітному потоку. Під час руху по ділянці характеристики $a'b'$ магнітний потік практично $\Phi \approx \text{const}$, значить і $B \approx \text{const}$, і тоді втрати холостого ходу зміняться лише у зв'язку зі змінною частоти і в точці b' досягнуть значення:

$$p'_0 = p_0 \cdot \left(\frac{f'_{1ном}}{f_{1ном}} \right)^{1,3}, \quad (11)$$

$$p'_0 = 18 \cdot \left(\frac{74,6}{58} \right)^{1,3} = 25 \text{ кВт.}$$

Тоді сумарні втрати в новому номінальному режимі будуть дорівнювати:

$$\sum p' = p'_0 + p'_k, \quad (12)$$

$$\sum p' = 25 + 58,3 = 83,3 \text{ кВт.}$$

Оскільки у відносно вузькому діапазоні температур можна приймати кінцевий перегрів (перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища) $\tau_{кн}$ пропорційним сумі втрат [4], то в точці b' характеристики 3 на рис. 1 очікуваний перегрів складе:

$$\tau'_{кн} = \tau_{кн} \frac{\sum p'}{\sum p}, \quad (13)$$

$$\tau'_{кн} = 150 \cdot \frac{83,3}{18 + 65,3} = 150 \text{ } ^\circ\text{C},$$

тобто перегрів залишається незмінним.

Нами не враховано деяке зростання механічних втрат при переході з точки b в точку b' , що, очевидно, має призвести до певного додаткового підвищення температури. Але і при цьому кінцевий перегрів не перевищить допустимого для застосованого в двигуні класу ізоляції «Н», а під час роботи на ділянці характеристики $b'c'$ втрати будуть тільки зменшуватись, тому що при $U_1 = \text{const}$ з ростом частоти f_1 значення магнітного потоку буде зменшуватись.

В точці b' нового номінального режиму значення ККД з урахуванням (12) буде:

$$\eta'_{ном} = \frac{P'_{ном}}{P'_{ном} + \sum p'}, \quad (14)$$

$$\eta'_{ном} = \frac{1500}{1500 + 83,3} = 0,947,$$

тобто він дещо збільшиться, в порівнянні з попереднім значенням.

Коефіцієнт навантаження, при якому в новому номінальному режимі ККД максимальний, буде:

$$K'_{нг} = \sqrt{\frac{p'_0}{p'_k}}, \quad (15)$$

$$K'_{нг} = \sqrt{\frac{25}{83,3}} = 0,5478,$$

що з урахуванням (15) відповідає потужності:

$$P' = 0,5478 \cdot 1500 = 822 \text{ кВт.}$$

Таким чином, енергетичні показники тягового двигуна при дотриманні закону регулювання $\frac{U_1}{f_1^{1,0009}} = \text{const}$ і підвищенні значень U_1 і f_1 будуть не гірше, ніж попередні.

Слід додати, що застосування цих параметрів двигуна потребує модернізації інвертора, який є невіддільним від асинхронного двигуна, як невіддільний колектор – інвертор від якоря двигуна постійного струму. Це питання розглянуто в [2].

Таким чином, асинхронний тяговий двигун СТА1200 з ізоляцією класу «Н» допускає сут-

теве підвищення потужності і швидкості, що виключає необхідність створення нового двигуна. За необхідністю в двигуні може бути застосована нова сучасна ізоляція, яка має назву ізоляція «класу 200», для якої допустимий перегрів складає 200 °С.

Загальні висновки

1. На електровозі змінного струму з асинхронним тяговим електроприводом та зчіпною масою однієї колісної пари 23 т недоцільно застосовувати асинхронний двигун потужністю більше 1500 кВт, оскільки цю потужність неможливо використовувати за умовами зчеплення.

2. При підвищенні потужності двигуна до 1500 кВт доцільно дещо зменшити силу тяги номінального режиму у порівнянні з сучасною на електровозі ДСЗ, щоб мати більший запас по зчепленню.

3. Сучасний двигун СТА1200 без будь-яких переробок може забезпечити потужність 1500 кВт при швидкості 90 км/год на електровозі ДСЗ. Максимальна швидкість електровоза може бути 220 км/год.

4. При створенні нової програми керування асинхронним електроприводом доцільно на першому етапі регулювання, від зрушення до досягнення точки номінального режиму, застосовувати зміну (підвищення) напруги і частоти живлення за законом $\frac{U_1}{f_1^{1,0009}} = \text{const}$, що дозво-

лить ліпше використовувати діапазон сили тяги за умовами зчеплення.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Безрученко, В. М. Эффективность использования тяговых электродвигателей современного электроподвижного состава [Текст] / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – К., 2006. – № 8 (102). – Ч. 2.
2. Безрученко, В. М. Тяговый асинхронный электропривод для скоростного электровоза [Текст] / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – К., 2008. – № 5 (123). – Ч. 2.
3. Безрученко, В. М. Підвищення ефективності тягового асинхронного електропривода [Текст] / В. М. Безрученко, Ю. С. Бондаренко, О. А. Хорошко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 32. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010.
4. Безрученко, В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу [Текст] : навч. посібник / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
5. Режимы работы магистральных электровозов [Текст] / под ред. О. А. Некрасова. – М.: Транспорт, 1983. – 231 с.
6. Розенфельд, В. Е. Теория электрической тяги [Текст] / В. Е. Розенфельд, И. П. Исаев, Н. Н. Сидоров. – М.: Транспорт, 1983. – 328 с.

Надійшла до редколегії 21.04.2011.

Прийнята до друку 28.04.2011.

Д. С. БІЛУХІН (ДПТ)

ОТРИМАННЯ СТІЙКИХ АВТОКОЛИВАНЬ В СИСТЕМІ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ КІЛ ЕЛЕКТРОВОЗА ВЛ8

Розглядається можливість побудови стійкої автоколебальної системи введенням послідовної ланки корекції у вигляді апериодичної ланки першого порядку.

Ключові слова: електровоз ВЛ8, низьковольтне коло, система автоматичного регулювання напруги, стійкі автоколивання

Рассмотрена возможность построения устойчивой автоколебательной системы введением последовательного звена коррекции в виде апериодического звена первого порядка.

Ключевые слова: электровоз ВЛ8, низковольтная цепь, система автоматического регулирования напряжения, устойчивые автоколебания

The possibility of construction of a steady natural vibration system by introduction of successive correction link as an aperiodic link of the first-order is considered.

Keywords: electric locomotive VL8, low-voltage circuit, system of automatic voltage control, steady natural vibrations

Вступ

Більша частина електрорухомого складу залізниць України використовує системи управління, які розроблялися 30...40 років тому. Для часткового рішення проблеми тягового забезпечення на залізницях України здійснюється капітально-відновлювальні ремонти електровозів й електропоїздів з продовженням їх терміну експлуатації на 10...15 років. Щоб одержати найбільший економічний ефект при експлуатації електровозів з продовженням терміном служби, програма капітально-відновлювальних ремонтів передбачає модернізацію, що дозволить знизити експлуатаційні витрати на локомотивний парк. Виконується модернізація функціональних вузлів систем управління й із застосуванням сучасних напівпровідникових елементів, що підвищує вимоги до стабільності напруги живлення кіл управління. Це вимагає виконати заміну застарілих вузлів управління систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу залізниць (ЕРС) постійного струму на сучасні, які побудовані з використанням мікропроцесорної техніки та напівпровідникових силових ключів. Сучасна елементна база дозволяє виконати розробку нових вузлів управління з високими експлуатаційними показниками. При цьому принцип роботи всієї системи бортового живлення зберігається. Тобто, після запуску генератора на його затисках встановлюються автоколивання в області заданого середнього значення напруги живлення.

В роботі [1] була запропонована математична модель перспективної системи автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електровоза ВЛ8 на основі існуючої схеми регулювання напруги. Математична модель, на основі якої розроблена структурна схема системи (рис. 1), призначена для дослідження автоколивань в системі автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл ЕРС.

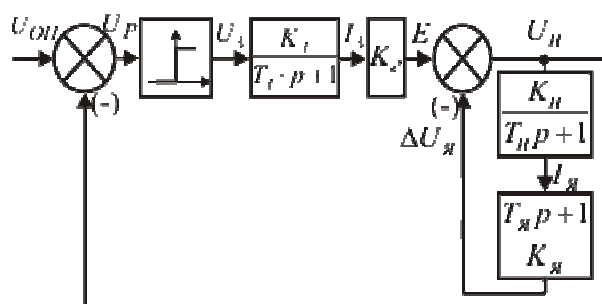


Рис. 1. Структурна схема САРН

На рис. 1 в блоках структурної схеми подано: K_g – коефіцієнт передачі обмотки збудження генератора; T_g – стала часу обмотки збудження; $K_я$ – коефіцієнт передачі обмотки якоря; $T_я$ – стала часу кола обмотки якоря; U_{on} – опорна напруга; U_p – напруга розузгодження; U_3 – напруга збудження; I_3 – струм збудження; U_n – напруга на навантаженні; E – е.р.с. генератора; $I_я$ – струм якоря; $\Delta U_я$ – падіння напруги в обмотках якоря.

Істотно нелінійним елементом у запропонованій системі є ідеальна релейна характеристика регулятора. Досліди показали, що при використанні такої характеристики стійкі автоколивання в системі отримати неможливо [1].

Мета роботи

Дослідити можливість одержання стійких автоколивань в системі автоматичного регулювання напруги (САРН) кіл управління ЕРС постійного струму при використанні регуляторів на основі сучасних напівпровідникових елементів.

Матеріали дослідів

Регулятор на основі мікроконтролера й силового ключа дозволяє, не змінюючи схемних рішень одержати три типи релейних характеристик: ідеальну релейну (рис. 2, а), з гістерезисною петлею постійної ширини (рис. 2, б) й гістерезисною петлею змінної ширини (рис. 2, в).

Після виконання операції гармонійної лінеаризації нелінійності приходимо до передатної функції нелінійного елемента з коефіцієнтами гармонійної лінеаризації $q(a)$, $q'(a)$ у вигляді:

$$W_{HE}(a, p) = q(a) + \frac{q'(a)}{\omega} \cdot p. \quad (1)$$

Оскільки обрані типові релейні характеристики, то лінеаризацію в цьому випадку не показуємо, а використовуємо типові коефіцієнти, які приводяться в технічній літературі [2].

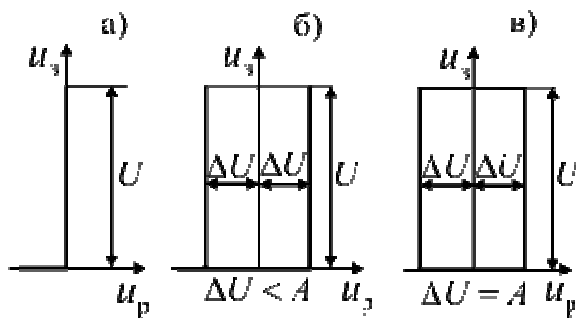


Рис. 2. Можливі характеристики вузла управління САРН

Передатна характеристика лінійної частини має вигляд:

$$W_L(p) = \frac{K_z K_3 K_y (T_n p + 1)}{(p T_3 + 1)(p a_1 + a_2)}, \quad (2)$$

де $a_1 = K_y T_n + K_n T_y$, $a_2 = K_y + K_n$;

K_z, K_3, K_y, K_n – відповідно коефіцієнти передачі генератора, обмотки збудження, обмотки якоря, кола навантаження;

T_3, T_n – стала часу обмотки збудження генератора та кола навантаження.

Періодичне рішення лінійаризованої системи може бути отримане за наявності в характеристичному рівнянні замкнутої системи пари чисто уявних коренів. Відповідно до критерію Найквіста, цей випадок відповідає проходженню амплітудно-фазової характеристики $W(j\omega)$ через точку з координатами $(-1, j0)$. Періодичне рішення визначається рівнянням:

$$W_L(j\omega) = -\frac{1}{W_{HE}(a)} = N(a). \quad (3)$$

Останнє рівняння відображає суть графо-аналітичного методу Л. С. Гольдфарба й дозволяє визначити шукану амплітуду й частоту періодичного рішення. Ліва частина рівняння являє собою амплітудно-фазову характеристику лінійної частини системи, а права частина – годограф $N(a)$ – зворотну амплітудно-фазову характеристику нелінійності. Точка перехрещення характеристик показує величину амплітуди й частоти автоколивань.

На рис. 3 представлено годограф, побудований за методикою Гольдфарба для САРН кіл управління з генератором ДК-405К. Для порівняння годографи трьох типових релейних характеристик зазначених раніше показані на одному полі як $N1(A)$ – ідеального реле, $N2(A)$ – реле із шириною петлі гістерезису величиною 1 В, $N3(A)$ – реле зі змінною шириною петлі гістерезису. Амплітудно-фазова характеристика лінійної частини побудована для випадків коли навантаження має параметри: $K_n = 1,2$, $T_n = 0,062$ с й $K_n = 1,11$, $T_n = 0,00002$ с.

Побудова годографів Гольдфарба показала, що застосування регулятора з ідеальною релейною характеристикою не дозволяє одержати режиму автоколивань, тому що перетинання годографів лінійної й нелінійної частин відсутнє. Цей факт показує, що в системі частота $\omega \rightarrow \infty$, а амплітуда $A \rightarrow 0$. Прагнення амплітуди до нуля є прийнятним фактором, однак комутація ключового елемента з нескінченно великою частотою неможлива.

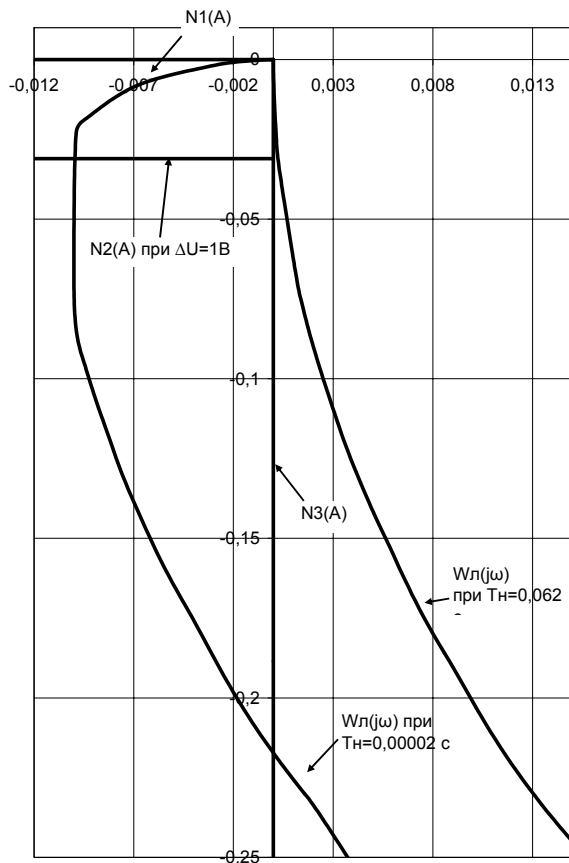


Рис. 3. Годограф Гольдфарба для САРН з генератором ДК-405К

Годографи нелінійних елементів для релейної характеристики з постійним гістерезисом і гістерезисом змінної ширини перетинають годограф лінійної частини в напрямку, що підкреслює наявність стійких автоколивань. Однак, коливання здійсненні не при всіх значеннях постійної часу навантаження та коефіцієнтах навантаження. Аналіз годографа лінійної частини для $T_n = 0,062$ с показує, що він розташований чітко в четвертому квадранті координатної площини, не перетинаючи мниму вісь. У результаті отримана ситуація, аналогічна случаю з ідеальним релейним елементом: $\omega \rightarrow \infty$, $A \rightarrow 0$. Таким чином, автоколивання здійснюються до деякої межі співвідношень між коефіцієнтом навантаження та постійної часу навантаження.

Для релейного елемента з гістерезисом змінної ширини, виходячи з рис. 3 умовою здійснення автоколивань є рівність $U(\omega) = 0$. Цьому відповідає частота:

$$\omega = \sqrt{\frac{K_y + K_n}{K_n [T_z T_y - T_n (T_z + T_y)] - T_n^2 K_y}} \quad (4)$$

Останній вираз дозволяє отримати межу при якій можливо отримати автоколивання в САРН при використанні релейної характеристики с петлею гістерезису змінної ширини при різних значеннях постійної часу кола навантаження T_n та коефіцієнта навантаження K_n

$$K_n = \frac{T_n^2 K_y}{T_z T_y - T_n (T_z + T_y)} \quad (5)$$

Для кіл управління електровоза ВЛ8 ця залежність приведена на рис. 4.

Таким чином для структури, що показана на рис. 1 автоколивання ні при жодній характеристиці релейного елемента на здійсненні в повному обсязі і для прийнятої до аналізу системі необхідна корекція.

При корекції нелінійних автоматичних систем звичайно потрібно розв'язати одну із двох основних задач: забезпечити стійкість системи; одержати автоколивання із прийнятною частотою й амплітудою. Корекція нелінійних систем традиційно здійснюється за допомогою лінійних або нелінійних коригувальних пристроїв, а також шляхом компенсації нелінійності. У всіх випадках необхідне застосування кіл зворотних зв'язків [3].

З теорії автоматичного керування відомо, що при ідеальній релейній характеристиці автоколивання неможливі [3], але релейна система стійка, якщо порядок полінома знаменника лінійної частини системи $W_L(p)$ перевищує порядок полінома чисельника не більше ніж на два. У цьому випадку частотна характеристика лінійної частини розташована в нижній півплощині як на рис. 3. З вищевикладеного випливає, що ступінь полінома знаменника існуючої лінійної частини системи по рівнянню (2) необхідно збільшити мінімум до третьої. Це дозволить одержати стійкі автоколивання при будь-яких параметрах навантаження для релейної характеристики з постійним гістерезисом. В існуючих електромеханічних системах автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл ЕРС автоколивання реалізуються за рахунок інерційності самих кіл регуляторів та порядок полінома знаменника лінійної частини перевищує поліном чисельника на чотири.

Застосування додаткових зворотних зв'язків збільшує кількість елементів принципової схеми, що знижує її надійність. У випадку застосування у вузлі керування сучасних мікроконтролерів з'являється можливість йти не по шляху введення додаткових зворотних зв'язків, а за

рахунок введення додаткового закону керування в блоці програм.

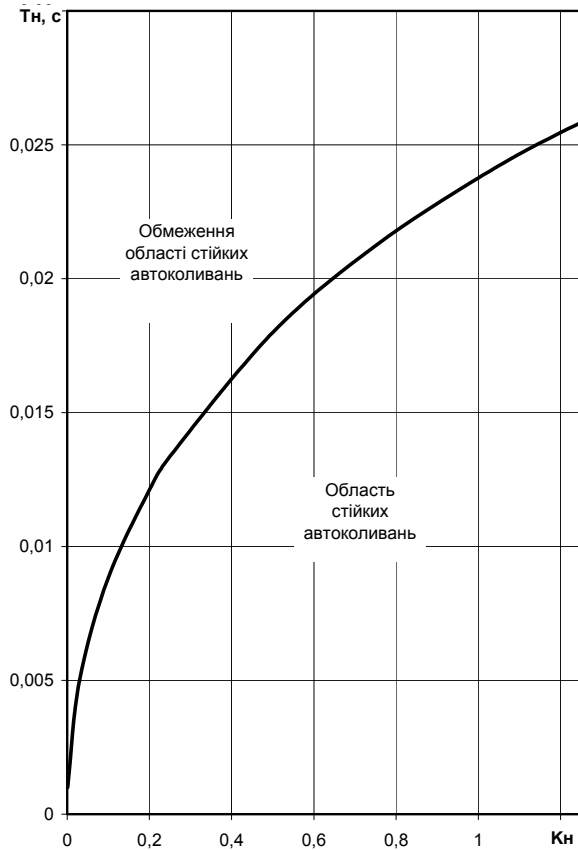


Рис. 4. Межа здійснення автоколивань в САРН при використанні релейної характеристики регулятора з петлею гістерезису змінної ширини

З існуючих типових динамічних ланок систем автоматичного управління можна використати аперіодичну ланку першого порядку, що дозволяє збільшити ступінь поліному знаменника лінійної частини:

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}, \quad (6)$$

де k – коефіцієнт передачі ланки (для мікроконтролера, який є цифровим автоматом приймаємо $k=1$);

T – стала часу кола аперіодичної ланки першого порядку.

Таким чином отримана нова структурна схема САРН з послідовним колом корекції, яка представлена на рис. 5.

Для останньої структури частота та амплітуда автоколивань, а також межа значень параметрів навантаження, при яких можливий асинхронний спосіб керування при використанні ідеального реле, визначаються як:

$$\omega = \sqrt{\frac{T_n a_4 - a_3}{T_n a_2 - a_1}}; \quad (7)$$

$$A = \frac{-2UK \left((a_4 - a_2 \omega^2) + T_n \omega (a_3 \omega - a_1 \omega^3) \right)}{\pi \left((a_4 - a_2 \omega^2)^2 + (a_3 \omega - a_1 \omega^3)^2 \right)}, \quad (8)$$

де $a_1 = TT_3 (K_y T_n + K_n T_y)$;

$a_2 = TT_3 (K_y + K_n) + (T + T_3)(K_y T_n + K_n T_y)$;

$a_3 = (T + T_3)(K_y + K_n) + K_y T_n + K_n T_y$;

$a_4 = K_y + K_n$; $K = K_\phi K_3 K_y$.

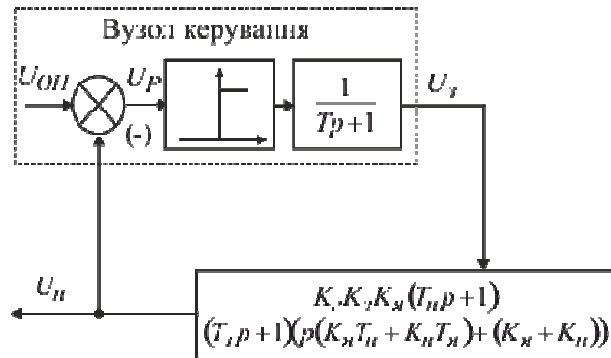


Рис. 5. Структурна схема САРН з послідовною корекцією

Частоту та амплітуду автоколивань в САРН низьковольтних кіл ЕРС при застосуванні релейної характеристики з петлею гістерезису постійної ширини можна визначити розв'язанням трансцендентного рівняння:

$$\begin{aligned} & \frac{2UK \left((a_4 - a_2 \omega^2) + T_n \omega^2 (a_3 - a_1 \omega^2) \right)}{\left((a_4 - a_2 \omega^2)^2 + (a_3 \omega - a_1 \omega^3)^2 \right)} + \\ & + \frac{2UK \left(j\omega (T_n (a_4 - a_2 \omega^2) - (a_3 - a_1 \omega^2)) \right)}{\left((a_4 - a_2 \omega^2)^2 + (a_3 \omega - a_1 \omega^3)^2 \right)} + \\ & + \frac{\pi A}{\sqrt{1 - \frac{\Delta U}{A} \left(\frac{\Delta U}{A} + j \right)}} = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Висновок

Використання в колах вузла керування релейної характеристики з петлею гістерезису змінної ширини не є доцільним, тому що в цьому разі мають місце автоколивання низької частоти, а їх амплітуда виходить за межі, допустимі стандартами якості електроенергії в низьковольтних колах електрорухомого складу. Структура з ідеальною релейною характерис-

тикою після корекції має обмеження, аналогічне представленому на рис. 4.

В результаті виконаних досліджень для вузлів керування систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу рекомендовано використання релейної характеристики з постійним гістерезисом та послідовної корекції системи аперіодичною ланкою першого порядку. Так, для електровоза ВЛ8 рекомендовано релейні характеристики регулятора вузла керування з гістерезисом постійної ширини $0,1 \text{ В} \pm 10 \%$, а сталу часу аперіодичної ланки $0,01 \dots 0,001 \text{ с}$, що дозволяє отримати коливання напруги до 2% середнього встановленого стандартами значення та частоти комутації силового ключа вихідного каскаду до 1000 Гц за будь-якого співвідношення динамічних параметрів кіл навантаження.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Білухін, Д. С. Дослідження можливості одержання автоколивань в системі автоматичного регулювання напруги кіл управління з релейним регулятором на основі силового ключа [Текст] / Д. С. Білухін // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 27. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 47-50.
2. Попов, Е. П. Приближенные методы исследования автоматических систем [Текст] / Е. П. Попов, И. П. Пальтов. – М.: Физматгиз, 1960. – 792 с.
3. Куропаткин, П. В. Теория автоматического управления [Текст] / П. В. Куропаткин. – М.: Высш. шк., 1973. – 528 с.

Надійшла до редколегії 06.04.2011.

Прийнята до друку 11.04.2011.

В. А. БРАТАШ, Т. И. ЕФИМОВА, Ю. В. ПОВОЛОЦКАЯ (Днепропетровский НПК «Электровозостроение»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗГРУЗОК (ДОГРУЗОК) КОЛЕС И ПРОГИБОВ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ЧЕТЫРЕХОСНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ДСЗ С ТЯГОВОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ВТОРОГО РОДА ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИЛ ТЯГИ ОТ ТЕЛЕЖЕК К КУЗОВУ ПРИ ПОМОЩИ НАКЛОННЫХ ТЯГ

У статті представлено розрахункові формули для визначення розвантажень (довантажень) коліс і прогинів ресорного підвішування чотиривісного електровоза ДСЗ з тяговою передачею другого роду при передачі сил тяги від візків до кузова за допомогою похилої тяги. Виконано чисельні розрахунки на прикладі магістрального вантажопасажирського електровоза ДСЗ.

Ключові слова: колісна пара, підвіска, ресорний комплект, візок, статичний прогин

В статье представлены расчётные формулы для определения разгрузок (догрузок) колес и прогибов ресорного подвешивания четырехосного электровоза ДСЗ с тяговой передачей второго рода при передаче сил тяги от тележек к кузову при помощи наклонных тяг. Выполнены численные расчёты на примере магистрального грузопассажирского электровоза ДСЗ.

Ключевые слова: колесная пара, подвеска, ресорный комплект, тележка, статический прогиб

In the article the calculation formulas for determination of unloads (finish loadings) of wheels and bendings of a spring suspension of eight-wheel electric locomotive DS3 with the traction transmission of the second kind at transmitting the traction forces from bogies to body by means of sloping rods are presented. The numeral calculations on the example of main line freight-and-passenger electric locomotive DS3 are performed.

Keywords: wheelset, suspension, spring assembly, bogie, static bending

Магистральный грузопассажирский электровоз ДС 3 производства ГП «НПК «Электровозостроение» эксплуатируется на магистралях украинских железных дорогах с января 2005 года. Инвентарный парк этих электровозов составляет 18 единиц и продолжает пополняться. Результаты шестигодичного опыта эксплуатации показали [1], что для условий действующего графика движения поездов и установленных норм их массы и состава конструкция отдельных узлов ДСЗ может совершенствоваться. Поэтому ниже приведены варианты такой модернизации некоторых узлов механической части электровоза.

При передаче вращающего момента от тяговых двигателей (закрепленных на раме тележки) на колесные пары при помощи редукторов, одной стороной установленных на оси колесной пары, а другой – подвешенных к раме тележки (тяговая передача второго рода), в зубчатом зацеплении возникают силы Z_K и $Z_{ш}$ (рис. 1) равные по величине, но противоположные по направлению

$$|Z_{к1}| = |Z_{ш1}| = |Z_{к2}| = |Z_{ш2}| = F \cdot D_{ХК} / D_{ЗК}, \quad (1)$$

где F – сила тяги, реализуемая одной колесной парой;

$D_{ХК}$, $D_{ЗК}$ – диаметры ходового и зубчатого колеса соответственно.

В подвесках тяговых редукторов также возникают усилия $\Delta q_{1ПР}$ и $\Delta q_{2ПР}$ равные по величине, но противоположные по направлению

$$|\Delta q_{1ПР}| = |\Delta q_{2ПР}| = F \cdot D_{ХК} / 2\ell_{ПР}, \quad (2)$$

где $\ell_{ПР}$ – расстояние от оси колесной пары до оси подвески редуктора к раме тележки.

В результате действия сил $\Delta q_{РП}$ возникает момент, который догружает ресорный комплект передней колесной пары и разгружает задний

$$\begin{aligned} |\Delta q_{1ПР}| &= |\Delta q_{2ПР}| = \\ &= F \cdot D_{ХК} \cdot (\ell_T - 2\ell_{ПР}) / (2\ell_{ПР} \cdot \ell_T), \end{aligned} \quad (3)$$

где ℓ_T – база тележки.

Под действием сил в зубчатом зацеплении редукторов по их продольной оси производится разгрузка передней по ходу колесной пары и догрузка задней, величины которых равны

$$|\Delta q'_1| = |\Delta q'_2| = F \cdot D_{ХК} / 2\ell_{ПР}. \quad (4)$$

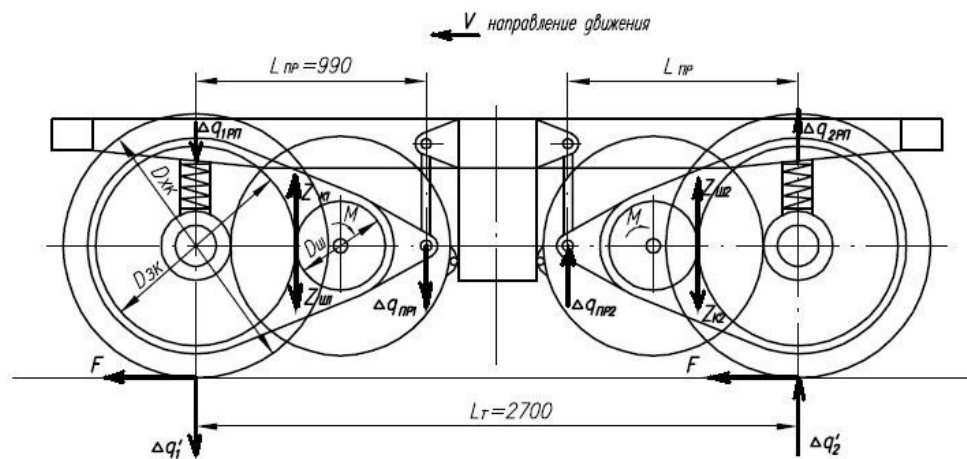


Рис. 1

Однако при одностороннем расположении редукторов на колесных парах эти разгрузки (догрузки) по колесам правой и левой стороны не одинаковы

$$\Delta q'_{1П} = \Delta q'_{2Л} = F \cdot D_{ХК} \cdot (B_K + B_{ПР}) / (4\ell_{ПР} \cdot B_K), \quad (5)$$

$$\Delta q'_{1Л} = \Delta q'_{2П} = F \cdot D_{ХК} \cdot (B_K - B_{ПР}) / (4\ell_{ПР} \cdot B_K), \quad (6)$$

где B_K – поперечное расстояние между кругами катания колес;

$B_{ПР}$ – расстояние между подвесками редукторов в поперечном направлении тележки.

Поскольку подвески редукторов первой и второй колесных пар разнесены на расстоянии $B_{ПР}$ (рис. 2) возникает момент, который догружает рессорные комплекты правой стороны тележки и разгружает левую сторону

$$|\Delta q_{ППТ}^П| = |\Delta q_{ППТ}^Л| = F \cdot D_{ХК} \cdot B_{ПР} / (2 \cdot \ell_{ПР} \cdot B_{ПП}), \quad (7)$$

где $B_{ПП}$ – расстояние между рессорным подвешиванием в поперечном направлении тележки.

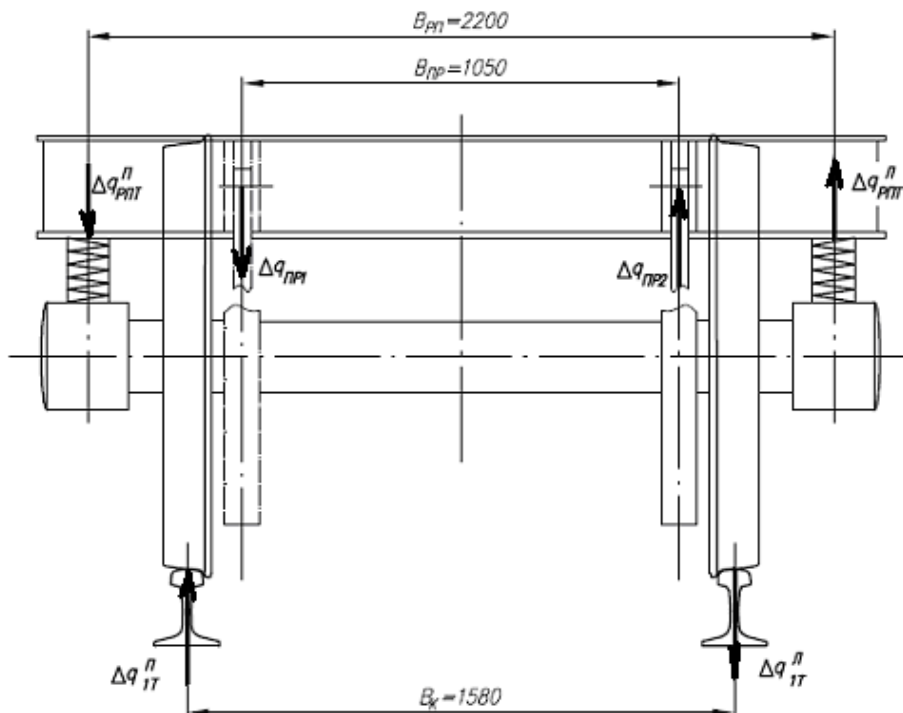


Рис. 2

При этом колеса правой по ходу стороны тележки догружаются, а левой стороны разгружаются

$$|\Delta q_{1T}^{\text{II}}| = |\Delta q_{1T}^{\text{I}}| = F \cdot D_{\text{ХК}} \cdot B_{\text{ПР}} / (2 \cdot \ell_{\text{ПР}} \cdot B_{\text{К}}) \quad (8)$$

При передаче силы тяги от тележки на кузов при помощи наклонной тяги на раму тележки действует момент, который догружает переднюю по ходу колесную пару и разгружает заднюю (рис. 3)

$$\Delta q_1^{\text{II}} = 2F \cdot (\ell_T + b_T) \cdot \text{tg} \alpha / \ell_T; \quad (9)$$

$$\Delta q_2^{\text{II}} = 2F \cdot b_T \cdot \text{tg} \alpha / \ell_T, \quad (10)$$

где b_T – расстояние от точки крепления наклонной тяги до оси передней колесной пары; α – угол наклона тяги к уровню головки рельсов.

Одновременно действует опрокидывающий момент $2F \cdot h_0$. С учетом этого момента

$$\Delta q_1^{\text{II}} = 2F \cdot [(\ell_T + b_T) \cdot \text{tg} \alpha - h_0] / \ell_T; \quad (11)$$

$$\Delta q_2^{\text{II}} = 2F \cdot (b_T \cdot \text{tg} \alpha - h_0) / \ell_T, \quad (12)$$

где h_0 – высота крепления тягового устройства к раме тележки.

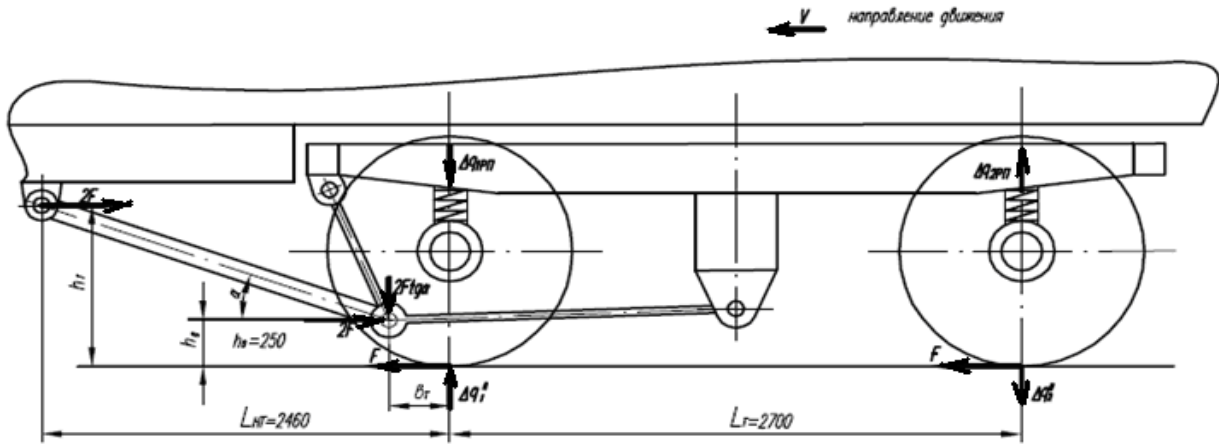


Рис. 3

При ведении поезда суммарная сила тяги $4F$ (рис. 4) передается на уровне оси автосцепки H в результате чего образуется момент $4F \cdot H$, который разгружает колесные пары передней по ходу тележки $\Delta q_1^{\text{III}} = \Delta q_2^{\text{III}}$, а догружает колесные пары задней тележки $\Delta q_3^{\text{III}} = \Delta q_4^{\text{III}}$:

$$\Delta q_1^{\text{III}} = \Delta q_2^{\text{III}} = 4F \cdot H / LK; \quad (13)$$

$$\Delta q_3^{\text{III}} = \Delta q_4^{\text{III}} = 4F \cdot H / LK. \quad (14)$$

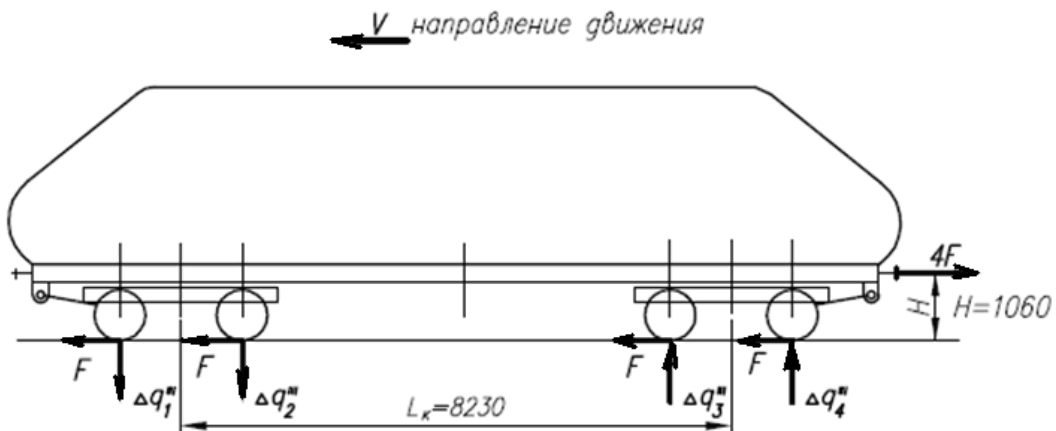


Рис. 4

Для удобства последующих расчетов изменения нагрузок на колесные пары электровоза, а также изменения прогиба пружин рессорного подвешивания будем принимать догрузки со знаком «+», а разгрузки – со знаком «-». Суммарные изменения нагрузок на колеса первой по ходу тележки электровоза составят:

- первая по ходу колесная пара:

$$\Delta q_1^I = \frac{\Delta q_{1PI}}{2} - \Delta q'_{1I} + \frac{\Delta q_{1IT}^I}{2} + \frac{\Delta q_1''}{2} - \frac{\Delta q_1'''}{2} =$$

$$= F \cdot \left[\frac{(\ell_T + b_T) \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} - \frac{D_{\text{ХК}}}{2\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (15)$$

$$\Delta q_1^{\Pi} = \frac{\Delta q_{1PI}}{2} - \Delta q'_{1I} + \frac{\Delta q_{1IT}^{\Pi}}{2} + \frac{\Delta q_1''}{2} - \frac{\Delta q_1'''}{2} =$$

$$= F \cdot \left[\frac{(\ell_T + b_T) \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} - \frac{D_{\text{ХК}}}{2\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (16)$$

- вторая по ходу колесная пара:

$$\Delta q_2^I = -\frac{\Delta q_{2PI}}{2} + \Delta q'_{2I} + \frac{\Delta q_{1IT}^I}{2} - \frac{\Delta q_2''}{2} - \frac{\Delta q_2'''}{2} =$$

$$= F \cdot \left[-\frac{(\ell_T + b_T) \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} + \frac{D_{\text{ХК}}}{2\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (17)$$

$$\Delta q_2^{\Pi} = -\frac{\Delta q_{2PI}}{2} + \Delta q'_{2I} - \frac{\Delta q_{1IT}^{\Pi}}{2} - \frac{\Delta q_2''}{2} - \frac{\Delta q_2'''}{2} =$$

$$= F \cdot \left[-\frac{(\ell_T + b_T) \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} + \frac{D_{\text{ХК}}}{2\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]. \quad (18)$$

Аналогично определяются изменения нагрузок на колеса второй по ходу электровоза тележки. При этом:

$$\Delta q_{3PI} = \Delta q_{1PI}; \quad (19)$$

$$|\Delta q_3'| = |\Delta q_2''|; \quad (20)$$

$$\Delta q'_{3I} = \Delta q'_{1I}; \quad (20)$$

$$\Delta q'_{3I} = \Delta q'_{1I}; \quad (21)$$

$$\Delta q_{2T}^{\Pi} = \Delta q_{1T}^{\Pi}; \quad (22)$$

$$\Delta q_{2T}^I = \Delta q_{1T}^I; \quad (23)$$

$$\Delta q_{4PI} = \Delta q_{2PI}; \quad (24)$$

$$|\Delta q_4'| = |\Delta q_1''|; \quad (25)$$

$$\Delta q'_{4I} = \Delta q'_{2I}; \quad (26)$$

$$\Delta q'_{4I} = \Delta q'_{2I}. \quad (27)$$

С учетом изложенного, получим:

$$\Delta q_3^I = F \cdot \left[\frac{b_T \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} - \frac{D_{\text{ХК}}}{2\ell_T} + \frac{H}{L_K} \right]; \quad (28)$$

$$\Delta q_3^{\Pi} = F \cdot \left[\frac{b_T \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} - \frac{D_{\text{ХК}}}{2\ell_T} + \frac{H}{L_K} \right]; \quad (29)$$

$$\Delta q_4^I = F \cdot \left[-\frac{(\ell_T + b_T) \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} + \frac{D_{\text{ХК}}}{2\ell_T} + \frac{H}{L_K} \right]; \quad (30)$$

$$\Delta q_4^{\Pi} = F \cdot \left[-\frac{(\ell_T + b_T) \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_0}{\ell_T} + \frac{D_{\text{ХК}}}{2\ell_T} + \frac{H}{L_K} \right]. \quad (31)$$

Принимая, что жесткость рессорных комплектов каждого колеса электровоза одинаковые, изменения их прогибов будет пропорционально изменению нагрузок ΔP на них.

$$\Delta P_1^I = (\Delta q_{1PI} + \Delta q_{1IT}^I + \Delta q_1'' - \Delta q_1''') / 2 =$$

$$= F \cdot \left[\frac{D_{\text{ХК}} \cdot (\ell_T - 2\ell_{\text{ПР}})}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot \ell_T} + \frac{D_{\text{ХК}} \cdot B_{\text{ПР}}}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot B_{\text{ПР}}} + \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot (\ell_T + b_T) - h_0}{\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (32)$$

$$\Delta P_1^{\Pi} = (\Delta q_{1PI} - \Delta q_{1IT}^{\Pi} + \Delta q_1'' - \Delta q_1''') / 2 =$$

$$= F \cdot \left[\frac{D_{\text{ХК}} \cdot (\ell_T - 2\ell_{\text{ПР}})}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot \ell_T} - \frac{D_{\text{ХК}} \cdot B_{\text{ПР}}}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot B_{\text{ПР}}} + \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot (\ell_T + b_T) - h_0}{\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (33)$$

$$\Delta P_2^I = (-\Delta q_{2PI} + \Delta q_{1IT}^I - \Delta q_2'' - \Delta q_2''') / 2 =$$

$$= F \cdot \left[-\frac{D_{\text{ХК}} \cdot (\ell_T - 2\ell_{\text{ПР}})}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot \ell_T} + \frac{D_{\text{ХК}} \cdot B_{\text{ПР}}}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot B_{\text{ПР}}} - \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot b_T - h_0}{\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (34)$$

$$\Delta P_2^{\Pi} = (-\Delta q_{2PI} - \Delta q_{1IT}^{\Pi} - \Delta q_2'' - \Delta q_2''') / 2 =$$

$$= F \cdot \left[-\frac{D_{\text{ХК}} \cdot (\ell_T - 2\ell_{\text{ПР}})}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot \ell_T} - \frac{D_{\text{ХК}} \cdot B_{\text{ПР}}}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot B_{\text{ПР}}} - \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot b_T - h_0}{\ell_T} - \frac{H}{L_K} \right]; \quad (35)$$

$$\Delta P_3^{\text{Л}} = (\Delta q_{3\text{РП}} + \Delta q_{3\text{РПТ}}^{\text{Л}} + \Delta q_3^{\text{Л}} + \Delta q_3^{\text{ЛЛ}}) / 2 =$$

$$= F \cdot \left[\frac{D_{\text{ХК}} \cdot (\ell_{\text{Т}} - 2\ell_{\text{ПР}})}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot \ell_{\text{Т}}} + \frac{D_{\text{ХК}} \cdot B_{\text{ПР}}}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot B_{\text{ПР}}} + \right.$$

$$\left. + \frac{\text{tg } \alpha \cdot b_{\text{Т}} - h_0}{\ell_{\text{Т}}} + \frac{H}{L_{\text{К}}} \right]; \quad (36)$$

$$\Delta P_3^{\text{П}} = (\Delta q_{3\text{РП}} - \Delta q_{3\text{РПТ}}^{\text{П}} + \Delta q_3^{\text{П}} + \Delta q_3^{\text{ПЛ}}) / 2 =$$

$$= F \cdot \left[\frac{D_{\text{ХК}} \cdot (\ell_{\text{Т}} - 2\ell_{\text{ПР}})}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot \ell_{\text{Т}}} - \frac{D_{\text{ХК}} \cdot B_{\text{ПР}}}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot B_{\text{ПР}}} + \right.$$

$$\left. + \frac{\text{tg } \alpha \cdot b_{\text{Т}} - h_0}{\ell_{\text{Т}}} + \frac{H}{L_{\text{К}}} \right]; \quad (37)$$

$$\Delta P_4^{\text{Л}} = (-\Delta q_{4\text{РП}} + \Delta q_{4\text{РПТ}}^{\text{Л}} - \Delta q_4^{\text{Л}} - \Delta q_4^{\text{ЛЛ}}) / 2 =$$

$$= F \cdot \left[-\frac{D_{\text{ХК}} \cdot (\ell_{\text{Т}} - 2\ell_{\text{ПР}})}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot \ell_{\text{Т}}} + \frac{D_{\text{ХК}} \cdot B_{\text{ПР}}}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot B_{\text{ПР}}} - \right.$$

$$\left. - \frac{\text{tg } \alpha \cdot (\ell_{\text{Т}} + b_{\text{Т}}) - h_0}{\ell_{\text{Т}}} + \frac{H}{L_{\text{К}}} \right]; \quad (38)$$

$$\Delta P_4^{\text{П}} = (-\Delta q_{4\text{РП}} - \Delta q_{4\text{РПТ}}^{\text{П}} - \Delta q_4^{\text{П}} + \Delta q_4^{\text{ПЛ}}) / 2 =$$

$$= F \cdot \left[-\frac{D_{\text{ХК}} \cdot (\ell_{\text{Т}} - 2\ell_{\text{ПР}})}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot \ell_{\text{Т}}} - \frac{D_{\text{ХК}} \cdot B_{\text{ПР}}}{4\ell_{\text{ПР}} \cdot B_{\text{ПР}}} - \right.$$

$$\left. - \frac{\text{tg } \alpha \cdot (\ell_{\text{Т}} + b_{\text{Т}}) - h_0}{\ell_{\text{Т}}} + \frac{H}{L_{\text{К}}} \right]. \quad (39)$$

Определив $\Delta P_{\text{К}}$ каждого колеса и зная жесткость рессорного комплекта на колесо $\mathcal{J}_{\text{К}}$,

необходимо определить изменения статических прогибов $\Delta f_{\text{К}} = \Delta P_{\text{К}} / \mathcal{J}_{\text{К}}$, на основании которых определить положение (перекос) кузова в продольном и поперечном направлениях с учетом изменения статического прогиба люлевных подвешиваний на тележках:

$$\Delta f_{\text{ЛТ}} = \pm \frac{4 \cdot F \cdot H}{L_{\text{К}} \cdot \mathcal{J}_{\text{ЛТ}}}, \quad (40)$$

где $\mathcal{J}_{\text{ЛТ}}$ – жесткость комплекта пружин люлевного подвешивания тележки, знак «–» означает разгрузку, а знак «+» – догрузку.

Используя полученные соотношения, были определены разгрузки (догрузки) колес и прогибы рессорного подвешивания существующего варианта конструкции электровоза ДСЗ и возможных вариантов модернизации, связанных со смещением точек крепления наклонной тяги, в частности:

а) на тележке относительно оси колесной пары:

- исходный вариант – $b_{\text{Т}} = -230$ мм;
- модернизация – $b_{\text{Т}} = 800$ мм;

б) на раме кузова:

- исходный вариант – $h_{\text{Т}} = 440$ мм;
- модернизация – $h_{\text{Т}} = 500$ мм.

Расчет выполняется для следующих режимов движения электровоза:

а) расчетный режим с грузовым поездом со скоростью 62,7 км/ч;

б) расчетный режим с пассажирским поездом со скоростью 105 км/ч.

Исходные данные к расчету и его результаты приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

Символ	Исходный вариант		Модернизация	
	расчетный режим с грузовым поездом с $V = 62,7$ км/ч	расчетный режим с пассажирским поездом с $V = 105$ км/ч	расчетный режим с грузовым поездом с $V = 62,7$ км/ч	расчетный режим с пассажирским поездом с $V = 105$ км/ч
F , Н	67500	40250	67500	40250
$D_{\text{ХК}}$, М	1,250	1,250	1,250	1,250
$l_{\text{ПР2}}$, М	0,990	0,990	0,990	0,990
$l_{\text{Т2}}$, М	2,700	2,700	2,700	2,700
$l_{\text{ПТ2}}$, М	2,470	2,470	2,470	2,470
$h_{\text{Т2}}$, М	0,440	0,440	0,500	0,500
$B_{\text{К2}}$, М	1,580	1,580	1,580	1,580
$B_{\text{РП2}}$, М	2,200	2,200	2,200	2,200
$B_{\text{ПР2}}$, М	1,088	1,088	1,088	1,088
H , М	1,060	1,060	1,060	1,060
$L_{\text{К2}}$, М	8,230	8,230	8,230	8,230
$b_{\text{Т2}}$, М	-0,230	-0,230	0,230	0,230
h_{02} , М	0,250	0,250	0,250	0,250
ζ_2 , Н/М	1327000	1327000	1327000	1327000
$P_{\text{СТ2}}$, Н	221000	221000	221000	221000
α , рад	0,07	0,07	0,11	0,11
α , град	4,03	4,03	6,37	6,37

Таблица 2

Параметр	Формула	Исходный вариант		Модернизация	
		расчетный режим с грузовым поездом с $V = 62,7$ км/ч	расчетный ре- жим с пассажир- ским поездом с $V = 105$ км/ч	расчетный режим с грузовым поездом с $V = 62,7$ км/ч	расчетный режим с пассажирским поездом с $V = 105$ км/ч
$\Delta q_{1ПР}, Н$	(2)	42614	25410	42614	25410
$\Delta q_{2ПР}, Н$	(2)	42614	25410	42614	25410
$\Delta q_{1РП}, Н$	(3)	11364	6776	11364	6776
$\Delta q_{2РП}, Н$	(3)	11364	6776	11364	6776
$\Delta q'_{1П}, Н$	(6)	35979	21454	35979	21454
$\Delta q'_{2П}, Н$	(5)	6635	3956	6635	3956
$\Delta q'_{1Л}, Н$	(5)	6635	3956	6635	3956
$\Delta q'_{2Л}, Н$	(6)	35979	21454	35979	21454
$\Delta q''_{1,2Т}, Н$	(8)	29344	17498	29344	17498
$\Delta q''_{1,2Т}, Н$	(8)	29344	17498	29344	17498
$\Delta q''_{1}, Н$	(11)	-3809	-2271	13698	8168
$\Delta q''_{2}, Н$	(12)	-13309	-7936	-6512	-3883
$\Delta q'''_{1}, Н$	(13)	17388	10368	17388	10368
$\Delta q'''_{2}, Н$	(13)	17388	10368	17388	10368
$\Delta q'''_{3}, Н$	(14)	17388	10368	17388	10368
$\Delta q'''_{4}, Н$	(14)	17388	10368	17388	10368
$\Delta q^{II}_{1}, Н$	(16)	-26223	-15637	-17470	-10417
$\Delta q^{II}_{2}, Н$	(18)	13586	8101	10187	6075
$\Delta q^{II}_{3}, Н$	(29)	-13586	-8101	-10187	-6075
$\Delta q^{II}_{4}, Н$	(31)	26223	15637	17470	10417
$\Delta q^I_{1}, Н$	(15)	-26223	-15637	-17470	-10417
$\Delta q^I_{2}, Н$	(17)	13586	8101	10187	6075
$\Delta q^I_{3}, Н$	(28)	-13586	-8101	-10187	-6075
$\Delta q^I_{4}, Н$	(30)	26223	15637	17470	10417
$\Delta P^{II}_{1}, Н$	(32)	5621	3352	14374	8571
$\Delta P^{II}_{2}, Н$	(34)	2816	1679	-582	-347
$\Delta P^{II}_{3}, Н$	(36)	18258	10887	21657	12914
$\Delta P^{II}_{4}, Н$	(38)	15454	9215	6700	3995
$\Delta P^{II}_{1}, Н$	(33)	-15454	-9215	-6700	-3995
$\Delta P^{II}_{2}, Н$	(35)	-18258	-10887	-21657	-12914
$\Delta P^{II}_{3}, Н$	(37)	-2816	-1679	582	347
$\Delta P^{II}_{4}, Н$	(39)	-5621	-3352	-14374	-8571
$\Delta Z^I_{1}, мм$	(40)	4,2	2,5	10,8	6,5
$\Delta Z^I_{2}, мм$		2,1	1,3	-0,4	-0,3
$\Delta Z^I_{3}, мм$		13,8	8,2	16,3	9,7
$\Delta Z^I_{4}, мм$		11,6	6,9	5,0	3,0
$\Delta Z^{II}_{1}, мм$		11,6	6,9	-5,0	-3,0
$\Delta Z^{II}_{2}, мм$		-13,8	-8,2	-16,3	-9,7
$\Delta Z^{II}_{3}, мм$		-2,1	-1,3	0,4	0,3
$\Delta Z^{II}_{4}, мм$		-4,2	-2,5	-10,8	-6,5

Вывод

Таким образом, можно сделать вывод, что для получения минимально возможных догрузок (разгрузок) колесных пар и деформаций пружин первой ступени рессорного подвешивания тележек целесообразно выполнить модернизацию ($b_T = 800$ мм; $h_T = 500$ мм).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гетьман, Г. К. Результати експлуатації електро-
возів ДСЗ на залізницях України [Текст] /
Г. К. Гетьман, Ю. В. Михайленко, С. В. Арпуль
// Матеріали IV Межд. науч.-практ. конф.
«Електрифікація залізничного транспор-
та». –Д., 2010. – С. 13-14.

Поступила в редколлегию 10.05.2011.

Принята к печати 19.05.2011.

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОЗРАХУНКІВ, ЩО ҐРУНТУЮТЬСЯ НА ВИКОРИСТАННІ УНІВЕРСАЛЬНОЇ МАГНІТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Запропоновано значення коефіцієнтів насичення для тягових електричних двигунів, які дозволяють підвищити точність розрахунків, оснований на застосуванні універсальної магнітної характеристики.

Ключові слова: тяговий електричний двигун, універсальна магнітна характеристика, коефіцієнт насичення

Предложено значение коэффициентов насыщения для тяговых электрических двигателей, которые позволяют повысить точность расчетов, основанных на применении универсальной магнитной характеристики.

Ключевые слова: тяговый электрический двигатель, универсальная магнитная характеристика, коэффициент насыщения

The value of saturation factor for traction D.C. motors, which allow promoting the accuracy of calculations based on application of universal magnetic characteristic, is offered.

Keywords: traction motor, universal magnetic characteristic, saturation factor

Використання універсальної магнітної характеристики [1 – 3] надає ряд переваг у розв'язанні задач, що вимагають формалізації взаємозв'язку електромеханічних параметрів тягових двигунів. Наприклад, не потрібно проводити коштовні експерименти чи визначати розмагнічуючу дію реакції якоря. Однак, в деяких випадках, приміром, при розрахунку коефіцієнта корисної дії, виникає необхідність підвищення точності розрахунків, що ґрунтуються на використанні універсальної магнітної характеристики.

Застосування універсальної магнітної характеристики ґрунтується на тому, що відносні магнітні характеристики тягових двигунів, які відрізняються за параметрами і конструкцією, при рівних коефіцієнтах насичення практично співпадають за виглядом. Якщо ж коефіцієнти насичення відрізняються за величиною – магнітні характеристики не співпадають, але мають подібний вигляд. Отже, в цьому випадку також можна використовувати універсальну магнітну характеристику, тільки необхідно належним чином вибрати на ній точку з координатами F_n^* і Φ_n^* , яка відповідає дійсному значенню коефіцієнта насичення K_n в номінальному режимі. З цією метою універсальну магнітну характеристику представляють у вигляді взаємозв'язку значень трьох параметрів: коефіцієнта насичення K_n , відносних значень магнітного потоку Φ^* і магніторушійної сили F^* (рис. 1) [4].

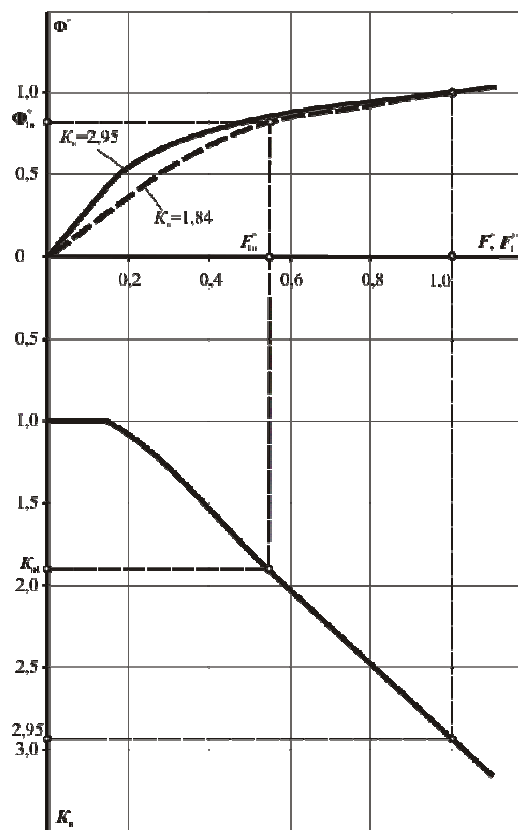


Рис. 1

Проте у ряді випадків використання універсальної магнітної характеристики приводить до істотних похибок у розрахунках. На нашу думку, основні причини цього криються не лише у неповному збігу контурів магнітних характеристик, а й в недостатній достовірності інформації про числові значення коефіцієнта насичення

K_n . Проілюструємо це на рисунку (рис. 2), зобразивши експериментальну магнітну характеристику тягового двигуна у відносних одиницях (в даному випадку ТЛ-2К1) та дві універсальні магнітні характеристики, що відрізняються значенням K_n . Як видно, при деякій різниці між вибраними значеннями коефіцієнта насичення досить помітна розбіжність між магнітними характеристиками.

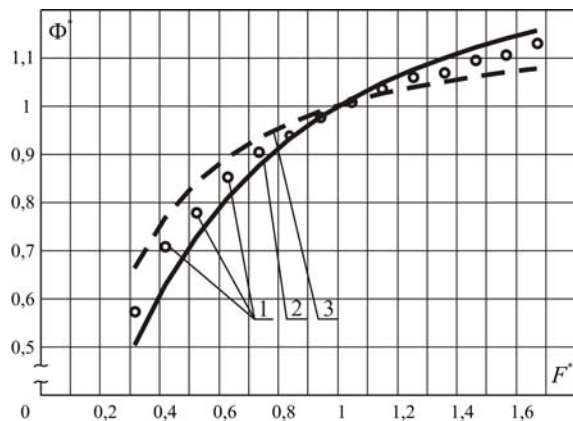


Рис. 2. Магнітна характеристика тягового двигуна ТЛ-2К1: 1 – експериментальна; 2 – розрахункова при $K_n = 1,6$; 3 – розрахункова при $K_n = 2,5$

Спробуємо проаналізувати як впливає вибір значення коефіцієнта насичення на похибку при визначенні магнітної характеристики електродвигуна за допомогою універсальної характеристики. Для цього побудуємо графіки залежностей максимального відносного відхилення $\delta_{\max}(K_n)$ та стандартної похибки $\sigma(K_n)$. Аналіз показав, що для тягових двигунів вказані залежності будуть мати вигляд представлений на рис. 3. Як видно з графіка, ці залежності являються унімодальними і мають зростаючі гілки. Очевидно, що похибка у виборі K_n буде вносити достатньо велику неточність в розрахунки, у разі використання універсальної магнітної характеристики.

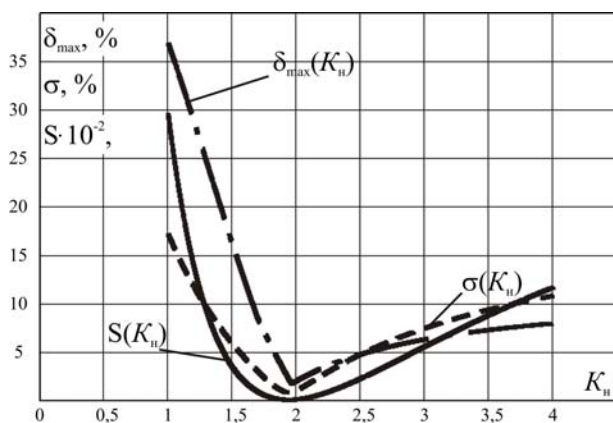


Рис. 3

Розглянемо задачу визначення значень коефіцієнта насичення, які відповідають найкращому збігу експериментальної магнітної характеристики електродвигуна у відносних одиницях та універсальної.

В якості вихідних даних під час розв'язання поставленої задачі прийнемо:

– універсальну магнітну характеристику у вигляді залежностей [5]:

$$\Phi^*(F^*) = 0,722 \arctg(4,699 F^*); \quad (1)$$

$$F^*(K_n) = 0,42 K_n - 0,27; \quad (2)$$

– магніторушійну силу (МРС) F_n та магнітний робочий потік Φ_n тягового двигуна для номінального режиму навантаження;

– магнітну характеристику тягового двигуна $\Phi(F)$, або $C\Phi(F)$.

Критерієм збігу кривих, що порівнюються, доцільно прийняти мінімум суми квадратів відхилень розрахункових значень магнітного потоку у n вибраних точках. Тоді задача формально зводиться до пошуку такого $K_n \in [1, \infty]$, який надає мінімум суми

$$S = \sum_{i=1}^n [\Phi_i(F_i) - \Phi_{yi}(F_i)]^2 \rightarrow \min, i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де Φ_{yi} – значення магнітного потоку, розраховане по універсальній магнітній характеристиці.

Для визначення F_n^* та Φ_n^* будемо використовувати формули (1), (2) підставивши в них відповідно значення K_n та F_n^* .

Таким чином, ми будемо змінювати K_n в межах, що відповідають можливим практичним значенням, з певним кроком ΔK_n , та на кожному кроці будемо визначати S згідно (3). В результаті отримаємо залежність $S(K_n)$, для тягового двигуна ТЛ-2К1 вона матиме вигляд (див. рис. 3). Значення розрахункового коефіцієнта насичення K_{np} , який мінімізує S , буде давати найкращий збіг експериментальної магнітної характеристики у відносних одиницях і універсальної.

Для перевірки порівняємо між собою дійсну магнітну характеристику обраного двигуна у відносних одиницях з універсальною характеристикою при коефіцієнті насичення, що отримано методом описаним вище (в режимі повного збудження було визначено, що $K_{np} = 1,9393$) (рис. 4). Стандартна похибка у даному випадку

складає 0,786 %. Для порівняння наведемо стандартну похибку при довідниковому значенні [6] коефіцієнта насичення $K_n = 1,84 - 1,314 \%$.

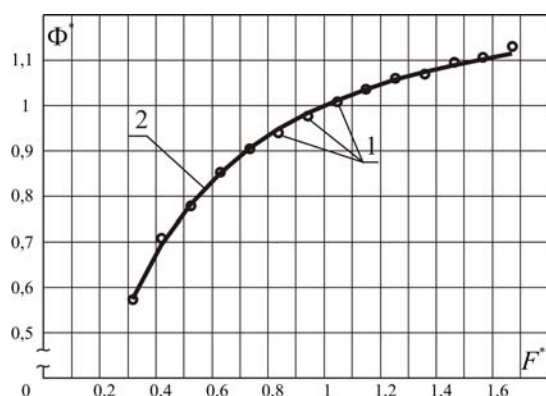


Рис. 4. Магнітна характеристика тягового двигуна ТЛ-2К1: 1 – експериментальна у відносних одиницях; 2 – універсальна при $K_n = 1,9393$

Як видно, використання коефіцієнта насичення, підбраного запропонованим вище способом, дозволяє підвищити точність розрахунків з використанням універсальної магнітної характеристики. Крім того, не слід забувати, що для ряду двигунів достатньо важко отримати дані про коефіцієнт насичення.

В результаті розв'язання поставленої задачі були отримані значення коефіцієнтів насичення для ряду тягових двигунів (табл. 1).

Узагальнюючи, необхідно відмітити, що отримані значення коефіцієнтів насичення дають можливість не тільки підвищити точність розрахунків у разі використання універсальної магнітної характеристики, а й суттєво скоротити об'єм вихідних даних під час автоматизації розв'язання задач, які пов'язані з визначенням характеристик та параметрів колекторних тягових електродвигунів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- Находкин, М. Д. Универсальная магнитная характеристика тяговых электродвигателей постоянного тока [Текст] / М. Д. Находкин, В. С. Хвостов // Вестник электропромышленности. – 1958. – № 1. – С. 44-48.
- Проектирование тяговых электрических машин [Текст] / М. Д. Находкин [и др.]. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.
- Курбасов, А. С. Проектирование тяговых электродвигателей [Текст] / А. С. Курбасов, В. И. Седов, Л. Н. Сорин. – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.

- Магистральные электровозы. Тяговые электрические машины [Текст] / В. И. Бочаров [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 464 с.
- Гетьман, Г. К. Об использовании универсальной магнитной характеристики для расчета электромеханических характеристик тяговых двигателей [Текст] / Г. К. Гетьман, С. Н. Голик // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 21-25.
- Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-поездам [Текст] / под ред. А. И. Тищенко. – Т. 1. – М.: Транспорт, 1969. – 432 с.

Таблица 1

Значення коефіцієнтів насичення в номінальному режимі для тягових двигунів

Тип двигуна	Режим	K_{np}	σ , %	δ_{max} , %
НБ-406	ПЗ	2,2793	2,2	5,01
	ПЗ1	2,1346	1,96	3,29
	ПЗ2	2,0851	1,99	4,2
	ПЗ3	2,0743	2,4	5,78
	ПЗ4	1,9054	2,63	9,72
ТЛ-2К1	ПЗ	1,9393	0,75	2,31
	ПЗ1	1,9058	0,72	1,35
	ПЗ2	1,9046	0,94	2,19
	ПЗ3	1,9577	1,18	2,81
	ПЗ4	2,0076	1,06	2,63
НБ-418К6	НЗ	1,7819	2,41	3,84
	ПЗ1	1,7474	1,17	2,40
	ПЗ2	1,8304	0,52	1,23
	ПЗ3	1,7868	0,92	2,36
ЕД141У1	ПЗ	1,8138	0,34	0,56
	ПЗ1	1,7482	0,67	1,27
	ПЗ2	1,7748	0,54	0,89
	ПЗ3	1,792	0,71	1,27
	ПЗ4	1,738	0,84	1,83
	ПЗ5	1,4081	0,11	2,87

Надійшла до редколегії 11.05.2011.

Прийнята до друку 19.05.2011.

Ю. П. ГОНЧАРОВ, Н. В. ПАНАСЕНКО, В. В. ЗАМАРУЕВ, В. В. ИВАХНО,
С. Ю. КРИВОШЕЕВ, Ю. В. ЧУРСИНА, Н. В. ДАНИЛОВ (НТУ «ХПИ», Харьков),
В. Г. СЫЧЕНКО, В. Ю. ИВАНОВ (ДИИТ)

СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПИТАНИЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ЗВЕНОМ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Розглянуто систему розподіленого живлення контактної мережі постійного струму від високовольтної поздовжньої лінії з частотою напруги порядку одиниць кГц, що дозволяє домогтися радикального скорочення маси силових електромагнітних елементів у перетворювачах і розширити можливості управління системою електропостачання.

Ключові слова: поздовжня кабельна лінія, підвищена частота, хвильове налаштування, маса силового обладнання, управління системою

Рассматривается система распределенного питания контактной сети постоянного тока от высоковольтной продольной линии с частотой напряжения порядка единиц кГц, позволяющая добиться радикального сокращения массы силовых электромагнитных элементов в преобразователях и расширить возможности управления системой электроснабжения.

Ключевые слова: продольная кабельная линия, повышенная частота, волновая настройка, масса силового оборудования, управление системой

The system under consideration is the PDU contact network of high-voltage direct current from the longitudinal line at the voltage of the order of units of kHz allowing to reduce drastically the mass of power electromagnetic elements in converters and to expand the opportunities of controlling the power supply system.

Keywords: longitudinal cable line, heightened frequency, wave setup, mass of power equipment, control over system

1. Постановка задачи работы

Как известно, система распределенного питания (СРП) содержит продольную линию электропередачи (ПЛ) с повышенным рабочим напряжением при большом расстоянии тяговых подстанций друг от друга и более часто расположенные пункты подпитки (ПП) основной контактной сети (КС) от продольной линии [1].

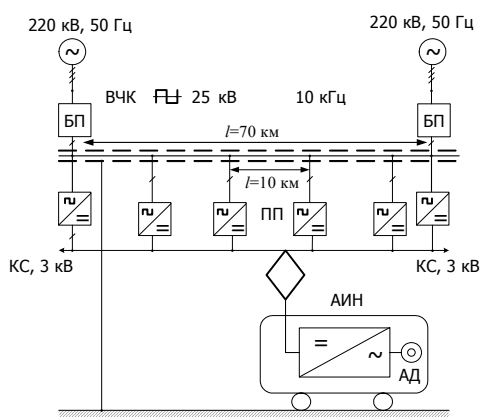


Рис. 1. Структура системы распределенного питания: ВЧК – высоковольтный высокочастотный кабель; АИН – автономный инвертор напряжения; АД – асинхронный тяговый двигатель

Основное достоинство СРП состоит в сокращении количества связей с ПС. В последние годы усиленно разрабатывается для дорог переменного тока вариант СРП с использованием в качестве ПЛ однофазного кабеля при его запитке синусоидальным напряжением 50...100 кВ, 50 Гц. ПП выполняется при этом на основе однофазного трансформатора, понижающего напряжение до величины 25 кВ в основной КС [2]. Если применить СРП для питания дороги постоянного тока, то на ПП, в дополнение к понижающему трансформатору необходимо установить однофазный выпрямитель с фильтром. Сохраняя отмеченное достоинство СРП, такая структура обладает, однако, следующими недостатками:

- несимметричная нагрузка фаз ПС;
- большая установленная мощность трансформатора и фильтров на ПП за счет низкой частоты $f = 50$ Гц выпрямляемого напряжения.

Эти недостатки преодолеваются, если тяговая подстанция выполняется как вставка постоянного тока (ВПТ), с помощью которой формируется в ПЛ однофазное напряжение повышенной частоты f_n с формой, близкой к прямо-

угольной – меандру с ограниченным спектром (МОС) [3]. Общая структура СРП соответствует при этом рис. 1, а структура базового преобразователя (тяговой подстанции) – рис. 2.

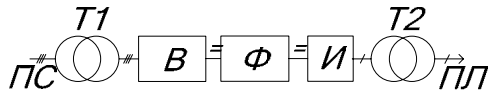


Рис. 2. Базовый преобразователь (тяговая подстанция) как вставка постоянного тока: $T1$ и $T2$ – питающий и нагрузочный трансформаторы; B – трехфазный выпрямитель; Φ – фильтр в звене постоянного тока; I – однофазный инвертор

Ясно, что при идеальном сглаживании фильтра Φ однофазный характер нагрузки не создает несимметрии в ПС при любой частоте f_n . При конечной мощности фильтра несимметрия также полностью устраняется, если соотношение между частотами f_n и f_c кратно трем. Причина состоит в том, что однофазный инвертор создает в звене постоянного тока гармоники с частотами кратными $2f_n$, т.е. с теми же частотами, что и трехфазный выпрямитель, симметрично нагружающий фазы сети. Установленная мощность трансформатора и фильтров на ПП сокращается за счет повышенной частоты f_n , а для фильтров также за счет прямоугольной формы выпрямляемого напряжения. Кроме того, при идеальном прямоугольнике соотношение между амплитудным и действующим значениями равно единице, в то время как для синусоиды оно равно $\sqrt{2}$. За счет этого сокращается в два раза установленная мощность полупроводниковых ключей, определяемая произведением амплитудных значений напряжения и тока, а также улучшается использованием изоляции кабеля.

Наличие нагрузочного трансформатора $T2$ практически окупается за счет того, что использование питающего трансформатора возрастает до 100 % против 68 в структуре без ВПТ. В перспективе, по мере совершенствования силовых полупроводниковых ключей, пригодных для применения в инверторе, нагрузочный трансформатор может быть исключен вовсе. ВПТ как регулируемый объект придает системе электроснабжения также ряд дополнительных преимуществ: расширяются возможности стабилизации напряжения и его регулирования с целью контроля уравнивающих токов через ПС, ограничиваются аварийные токи и др. [3].

Очень существенным для оценки эффективности предлагаемой структуры является тот факт, что установленная мощность ВПТ как

дополнительного узла системы в несколько раз меньше суммарной установленной мощности ПП как узлов, на которых получается экономия. Чтобы это показать, а также получить данные для последующей количественной иллюстрации, рассмотрим следующий пример. Пусть по линии проходят скоростные поезда с мощностью $P_e = 8$ МВт каждый и требуется поддержать напряжение u_c на токоотсечниках на уровне не менее 2900 В. По падению напряжения в КС худшим является вариант встречного разъезда двух скоростных поездов в середине участка длиной l_n между соседними ПП, которую примем равной 10 км (рис. 1)

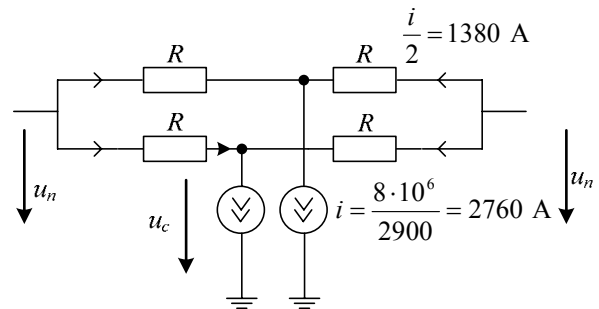


Рис. 3. К определению минимально необходимого напряжения u_n на выходе ПП

При использовании контактной подвески 2МФ100+М120 с суммарным поперечным сечением $F_{np} = 320$ мм², удельным сопротивлением $\rho_n = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м и долей сопротивления рельсовой цепи 30 % получаем полное сопротивление отрезка контактной сети на длине $l_n/2$, требуемое напряжение на выходе ПП и потребляемую мощность (рис. 3)

$$R = 1,3 \cdot \rho_n \cdot \frac{l_n}{F_{np}} \cong 0,35 \text{ Ом};$$

$$u_n = u_c + R \cdot \frac{i_n}{2} = 3380 \text{ В};$$

$$P'_b = 2 \cdot u_n \cdot i \cdot (1 + \Delta u^*) = 20,6 \text{ МВт}, \quad (1)$$

где Δu^* – относительное падение напряжения в кабеле, которое примем равным 0,1.

Последнюю величину можно связать с длиной l межподстанционной зоны и характеристиками кабеля

$$\Delta u^* = \frac{\Delta u}{U} = \frac{2\rho_n(l/2)j}{U}, \quad (2)$$

где U – действующее напряжение в кабеле, которое примем равным $20 \cdot 10^3$ В; j – усредненная действующая плотность тока в кабеле, которую примем равной $2 \cdot 10^6$ А/м².

Коэффициент 2 в (2) учитывает, что в коаксиальном кабеле два проводника одинакового сечения (жила и оболочка), а деление длины зоны на два в числителе – что ее питание производится от двух подстанций. Из (2) получаем $l = 60$ км. При числе $n = 40$ пар скоростных поездов в сутки и их скорости $v = 250$ км/час получаем среднюю мощность, потребляемую в зоне

$$P'_B = \frac{n}{24} \cdot P'_B \cdot \frac{l}{v} = 8,2 \text{ МВт}, \quad (3)$$

т.е. имеется еще более чем двукратный резерв на нескоростную составляющую движения. Суммарная установленная мощность ПП в абсолютных и относительных единицах

$$P_{\text{пп}} = 2P'_e \frac{l}{l_n} = 96 \text{ МВт};$$

$$P_{\text{пп}}^* = \frac{P_{\text{пп}}}{P'_B} \cong 4,7, \quad (4)$$

где учтено, что максимальная мощность $2P'_e$ потребляется от одного ПП при встречном разъезде скоростных поездов непосредственно в месте расположения ПП.

Таким образом, действительно $P_{\text{пп}}^* \gg 1$, что значительно повышает эффект от применения ВПТ для повышения частоты напряжения в продольной линии. Однако повышенная частота и квазипрямоугольная форма напряжений и токов создают и ряд дополнительных проблем, из которых ключевыми являются следующие:

- значительно возрастает роль емкостных токов в кабельной ПЛ, в результате чего необходима разработка приемов их компенсации;
- возможно возникновение резонансных явлений в ПЛ, обусловленных емкостью и индуктивностью кабеля, что требует разработки специальных методов управления преобразователями.

Задача настоящей работы состояла в определении путей преодоления указанных проблем.

2. Режим полуволновой настройки

Он состоит в использовании такой частоты $f = 1/T$ основной гармоники напряжения в кабельной ПЛ, чтобы на отрезке l_{Π} между соседними ПЛ укладывалась одна полуволна напряжения

$$\frac{T}{2} = \frac{l_{\Pi}}{V} = \tau; \quad V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\epsilon_0\mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{L_y C_y}}, \quad (5)$$

где V – скорость света в изоляции кабеля;

L_y, C_y – относительная индуктивность и емкость кабеля на единицу длины;

τ – время распространения электромагнитной волны от одного края линии к другому. При использовании полиэтилена, имеющего относительную проницаемость $\epsilon = 2,3$ и $l_{\Pi} = 10$ км, из (5) получим $f = 10^4$ Гц.

Режим полуволновой настройки системы распределенного питания обладает рядом достоинств:

- он соответствует достаточно высокой основной частоте, при которой размеры силовых электромагнитных элементов сокращаются примерно на порядок в сравнении с 50 Гц;

- нет индуктивного падения напряжения на отрезках между ПП и питающим преобразователем, так как оно полностью компенсируется емкостью кабеля; это позволяет применить на ПП неуправляемые выпрямители;

- малая чувствительность продольной линии как объекта с резонансными свойствами, к форме потребляемого тока и питающего напряжения

Последнее объясняется тем, что резонансные частоты полуволновой ЛЭП образуют ряд

$$\frac{1}{2}f, \frac{3}{2}f, \frac{5}{2}f \dots, \quad (6)$$

в то время как ряд нечетных гармоник, содержащихся в потребляемом токе и питающем напряжении, которые могли бы возбуждать резонансные явления в кабеле

$$f, 3f, 5f \dots \quad (7)$$

Как видно из сопоставления (6) и (7), возбуждающие гармоники располагаются в серединах отрезков между резонансными частотами и нигде не совпадают с ними.

Для обоснования количественных соотношений в режиме полуволновой настройки используем известные уравнения ЛЭП в операционной форме

$$U_1 = U_2 \text{ch}\gamma l + \rho \cdot I_2 \text{sh}\gamma l;$$

$$I_1 = I_2 \text{ch}\gamma l + \frac{1}{\rho} U_2 \text{sh}\gamma l, \quad (8)$$

где U_1, I_1, U_2, I_2 – напряжения и токи на входе и выходе линии; $\rho = \sqrt{L_y / C_y}$ – волновое сопротивление; γ – коэффициент распространения, определяемый при неучете активных сопротивлений следующей зависимостью:

$$\gamma l = p\sqrt{L_y C_y} l = p\sqrt{LC} = p \cdot \tau, \quad (9)$$

где $L = L_y \cdot l$ и $C = C_y \cdot l$ – полные значения индуктивности и емкости.

С учетом (9) уравнения (8) могут быть записаны следующим образом

$$U_1 = \frac{1}{2} e^{p\tau} (U_2 + \rho \cdot I_2) + \frac{1}{2} e^{-p\tau} (U_2 - \rho \cdot I_2);$$

$$I_1 = \frac{1}{2} e^{p\tau} (I_2 + \frac{U_2}{\rho}) + \frac{1}{2} e^{-p\tau} (I_2 - \frac{U_2}{\rho}), \quad (10)$$

где множители $e^{p\tau}$ и $e^{-p\tau}$ равносильны сдвигу аргумента (в скобках) как функции времени на время распространения τ в сторону опережения или в сторону запаздывания.

В режиме полуволновой настройки имеем, согласно (5), $\tau = T/2$. Для рассматриваемой системы в установившемся режиме напряжения и токи содержат некоторый спектр только нечетных гармоник, то есть в отрицательный полупериод процессы повторяются с другим знаком. Сдвиг такого сигнала на $T/2$ в любую сторону равносильно изменению знака сигнала, то есть в (10) можно заменить множители $e^{\pm p\tau}$ на -1 . Тогда получим

$$U_1 = -U_2; \quad I_1 = -I_2, \quad (11)$$

т.е. при полуволновой настройке напряжения и токи при переходе к соседней точке подключения ПП меняют знаки, сохраняя значения амплитуд и фаз. Следовательно, ни на одном из отрезков нет индуктивного падения напряжения. Поэтому полуволновый кабель дает жесткую внешнюю характеристику, наклон которой обусловлен только активными сопротивлениями.

3. Волновое сопротивление продольной линии

Волновое сопротивление ρ является вторым основным параметром системы, определяющим ее характеристики. Выполним анализ влияния ρ , полагая, что напряжение и ток в каждой из точек подключения к ПЛ являются некоторыми совокупностями нечетных гармоник и совпадают по форме и фазе. Оговорим амплитуды напряжения U_m и номинальной мощности $P_{Nm} = U_m \cdot I_N$, передаваемой по отрезку ПЛ. Введем в рассмотрение сопротивление номинальной нагрузки кабеля и представим волновое сопротивление в относительных единицах

$$R_N = \frac{U_m}{I_N}; \quad \rho^* = \rho / R_N. \quad (12)$$

Ток согласованной (натуральной) нагрузки, при которой фактическое сопротивление нагрузки отрезка равно волновому

$$I_H = \frac{U_m}{\rho} = \frac{I_N}{\rho^*}. \quad (13)$$

Рассмотрим распределение напряжения и тока по длине отрезка ПЛ при передаче некоторого фактического тока с амплитудой I_m

$$I_m = (1 + \Delta i^*) \cdot I_H, \quad (14)$$

где Δi^* – относительное отличие фактического тока от натурального.

Для отыскания искомого распределения можно применить уравнения (10), понимая под τ время распространения волны на длине между правым концом отрезка и текущей точкой на линии. При этом уравнения (10), будучи справедливыми для комплексных амплитуд каждой из гармоник сигналов напряжения и тока, справедливы и для сигналов в целом. Этот факт можно записать следующим образом

$$u(t) = \left[\frac{1}{2} \cdot e^{p\tau} \cdot (U_m + \rho \cdot I_m) + \frac{1}{2} \cdot e^{-p\tau} \cdot (U_m - \rho \cdot I_m) \right] l(t);$$

$$i(t) = \left[\frac{1}{2} \cdot e^{p\tau} \cdot (I_m + U_m / \rho) + \frac{1}{2} \cdot e^{-p\tau} \cdot (I_m - U_m / \rho) \right] l(t), \quad (15)$$

где $l(t)$ – базовый сигнал с единичной амплитудой как функция времени, задающая форму напряжений и токов нагрузок, величины u и i трактуются при этом как функции времени, а множители $e^{p\tau}$ и $e^{-p\tau}$ трактуются как операторы смещения базового сигнала во времени

$$e^{\pm p\tau} l(t) = l(t \pm \tau). \quad (16)$$

С учетом связей (12)-(14) уравнения (15) приводятся к следующим:

$$u(t) = U_m (e^{p\tau} + \Delta i^* \operatorname{sh} p\tau) l(t);$$

$$i(t) = I_H (e^{p\tau} + \Delta i^* \operatorname{ch} p\tau) l(t). \quad (17)$$

При изменении τ величины $u(t)$ и $i(t)$ являются функциями не только времени, но и текущей координаты τ . Как видно из (17), по-

строение зависимостей $u(t)$ и $i(t)$ во времени сводится к смещению базового сигнала $1(t)$ на $\pm\tau$ вдоль оси времени (рис. 4, а-г) с последующим умножением результатов сдвига на амплитудные значения и суммированием.

Рассматриваемый подход к получению установившихся режимов в ПЛ может быть назван методом геометрического подобия и состоит, как видно, в задании формы сигналов в линии с помощью базисного сигнала с единичной амплитудой и последующим линейным преобразованием двух базисных сигналов, смещенных относительно исходного в обе стороны на время распространения τ . Двустороннее смещение базисного сигнала является следствием существования прямой и отраженной волны в линии.

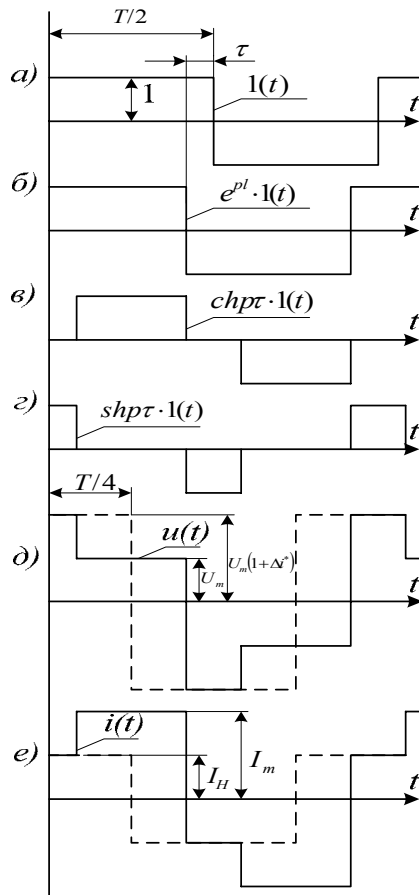


Рис. 4. Построение напряжения и тока в промежуточных точках ПЛ при базовом сигнале в виде идеального меандра

На рис.4, д-е построены напряжение и ток в промежуточной точке согласно (17) при базисном сигнале в виде идеального меандра (рис. 4, а). В интервалах смещения $\pm\tau$ напряжение повышается в $1+\Delta\tau^*$ раз, в то время как ток снижается в той же пропорции. Пунктиром показаны напряжение и ток в средней точке от-

резка ($\tau = T/4$). В частности, при номинальном токе $I_m = I_N$ имеем:

$$\rho^* = 1 + \Delta i_N^*. \quad (18)$$

Для анализа влияния ρ^* определим квадрат действующего тока в точке ПЛ с относительной координатой $\tau^* = 2 \cdot \tau / (T/2)$:

$$I_{\tau}^2 = I_H^2 \tau^* + I_m^2 (1 - \tau^*) = \left(\frac{I_N}{\rho^*} \right)^2 \left[\tau^* + (1 + \Delta i_N^*)^2 \cdot (1 - \tau^*) \right]. \quad (19)$$

На рис. 5 показано, как изменяется действующий ток вдоль отрезка между текущими ПП в номинальном режиме $1 + \Delta\tau^* = 1 + \Delta\tau_N^* = \rho^*$. Как видно, при $\rho^* = 1$ (режим натуральной передаваемой мощности без отраженной волны) ток меняется только по фазе, и его действующее значение не зависит от текущей координаты точки. При мощности, превышающей натуральную $\rho^* > 1$, действующий ток в промежуточных точках снижается, а при обратной пропорции повышается.

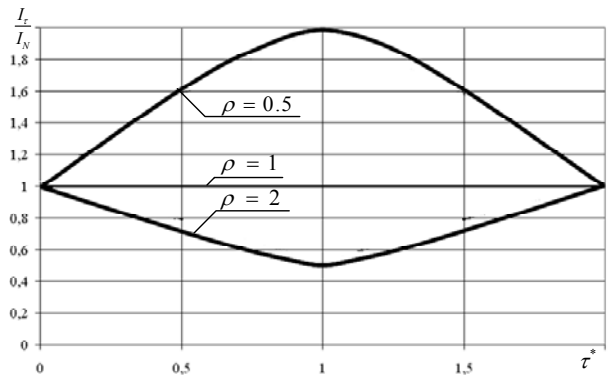


Рис. 5. Распределение действующего тока по длине отрезка между соседними пунктами питания КС

Для характеристики отрезка ПЛ в целом целесообразно усреднить квадрат тока по длине отрезка, получая действующий ток отрезка в целом:

$$I^2 = \int_0^1 I_{\tau}^2 d\tau^* = \frac{1}{2} \left(\frac{I_N}{\rho^*} \right)^2 \cdot \left[1 + (1 + \Delta i_N^*)^2 \right]. \quad (20)$$

По этому току можно рассчитывать потери мощности в проводнике кабеля без учета скин-эффекта:

$$\Delta P = R_n \cdot I^2, \quad (21)$$

где R_n – активное сопротивление кабеля на длине отрезка l_n .

В частности, в номинальном режиме и в режиме холостого хода ($\Delta i^* = \Delta \tau_N^*$ и $\Delta \tau^* = -1$)

$$P_N = \frac{R_n \cdot I_N^2}{2} \cdot (1/\rho^{*2} + 1); \quad P_X = \frac{R_n \cdot I_N^2}{2 \cdot \rho^{*2}}; \quad (22)$$

$$P_X^* = \frac{P_X}{P_N} = \frac{1}{\rho^{*2} + 1}.$$

Как видно из (22), увеличение ρ^* против режима согласованной нагрузки ($\rho^* = 1$) ведет к снижению потерь в кабеле, как в номинальном режиме, так и в режиме холостого хода. Это происходит за счет повышения амплитуды напряжения во всех точках отрезка, кроме двух крайних, в пропорции ρ^* (рис. 4, д). Разгрузка кабеля по току происходит за счет увеличения его загрузки по напряжению в промежуточных точках.

Потери холостого хода обусловлены протеканием в кабеле его собственных реактивных токов, первопричиной которых является емкость кабеля. Емкость кабеля потребляет реактивный ток даже при полном отсутствии активной нагрузки на ПЛ. Хотя напряжение в середине отрезка при этом отсутствует, но на краях отрезка оно сохраняет форму рис. 4, а и номинальную амплитуду U_m . Для железной дороги этот фактор играет определенную роль, поскольку возможны режимы, когда на участке l между двумя тяговыми подстанциями (рис. 1) нет ни одного движущегося состава.

На рис. 6 приведена зависимость напряжения на кабеле в долях от напряжения U_m в точках съема мощности и потерь холостого хода от волнового сопротивления кабеля. Область значений $\rho^* < 1$ использовать нецелесообразно, т.к. амплитуда напряжения на кабеле при этом не снижается, а потери растут. Значение $\rho^* = 1$ (режим согласованной нагрузки), который часто используется в системах передачи электроэнергии [5], дает потери холостого хода 50 % от номинальных. Поэтому целесообразна область значений ρ^* в пределах 1,5...2, которая дает потери холостого хода в пределах 0,3...0,2.

4. Методика определения основных параметров и результаты моделирования

Принимая, что по кабелю передается от каждой из двух соседних подстанций половина

мощности, потребляемой в межподстанционной зоне, найдем последовательно

$$P_N = \frac{P'_B}{2} = K_d^2 \cdot U_m \cdot I_N; \quad R_N = \rho / \rho^*; \quad (23)$$

$$I_N = \frac{U_m}{R_N}; \quad U_m = \frac{1}{K_d} \cdot \sqrt{P_N \cdot R_N},$$

где K_d – соотношение между действующим и амплитудным значениями для принятого базового сигнала. В частности, для МОС с синусоидальной аппроксимацией фронтов и плоской вершиной

$$K_d = \sqrt{1 - t_{\phi}^* / 2}, \quad (24)$$

где t_{ϕ}^* – относительная длительность фронтов.

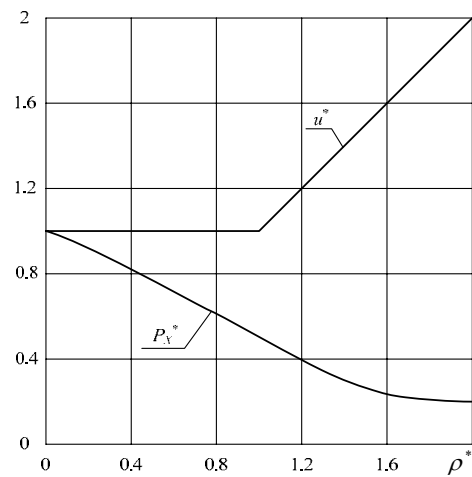


Рис. 6. Относительные значения амплитуды напряжения на кабеле и потерь холостого хода в функции относительно волнового сопротивления кабеля

Например, при $P'_B = 20,6 \cdot 10^6$ Вт, $t_{\phi}^* = 1/3$, $\rho = 55$ Ом и $\rho^* = 1,5$ имеем $K_d = 0,91$, $R_N = 36,7$ Ом, $U_m = 21,4$ кВ, $I_N = 580$ А.

При этих исходных данных, а также с учетом $l_n = 10$ км, $l = 60$ км была разработана Matlab-модель системы рис. 1, эксперименты на которой подтвердили приведенные выше количественные соотношения и рекомендации. На модели было выполнено также исследование влияния ряда реальных факторов, которые не учитывались приведенными выше асимптотическими зависимостями. В частности, анализировалось влияние отклонения от режима полуволновой настройки согласно равенству (5). При этом возникает некомпенсированная реактивная составляющая внутреннего сопротивления кабельной ПЛ относительно выводов на-

грузок. Это, с одной стороны, приводит к появлению реактивного падения напряжения на частоте основной гармоники a , с другой, в связи с зависимостью некомпенсированного сопротивления от частоты, к возникновению диспропорции между гармоническими составляющими напряжений и токов. Следствием является искажение формы сигналов, выражающееся в появлении пульсаций на плоской вершине МОС, увеличивающих амплитудные значения при заданных действующих.

Диспропорция быстро возрастает по мере приближения одной из резонансных частот (6) к верхней рабочей частоте МОС. Поскольку исходное расстояние между рабочей и резонансной частотами равно $f/2$, то условие резонанса имеет следующий вид

$$\Delta l_n^* \cdot k = 1/2, \quad (25)$$

где Δl_n^* – относительное отклонение по длине отрезка ПЛ от условия полуволновой настройки (5); k – номер верхней рабочей гармоники, используемой в МОС.

Например, при использовании трехгармонического меандра, содержащего только первую, третью и пятую гармоники, имеем $k = 5$, и тогда из (25) получаем $\Delta l_{\Pi}^* = 0,1$. На рис. 7, *а* показано напряжение нагрузки при точной полуволновой настройке ($\Delta l_{\Pi}^* = 0$), а на рис. 7, *б* – при $\Delta l_{\Pi}^* = 0,1$. Как видно, во втором случае имеют место сильные искажения формы напряжения из-за резонанса. Чтобы их избежать, вполне достаточен двукратный запас по Δl_{Π}^* против условия резонанса (25). На рис. 7, *в* показано выходное напряжение при $\Delta l_{\Pi}^* = 0,05$: пульсации на вершине остаются при этом достаточно малыми. Причина в том, что МОС, оптимизированный по величинам амплитуд гармоник, малочувствителен к отклонению амплитуд от оптимальных в довольно значительных пределах [4].

Причиной возможных отклонений от режима полуволновой настройки является не только отклонение по месту установки очередного ПП (допустимое отклонение, как видно из рис. 7, равно $\pm 0,5$ км), но и по диэлектрической проницаемости ϵ изоляции кабеля (± 10 %). Существенно, что речь идет только о разбросе по усредненным значениям этого параметра на отдельных отрезках ПЛ между соседними ПП. Однонаправленное изменение ϵ , связанное, например, с изменением температуры окружаю-

щей среды, можно компенсировать изменением частоты напряжения в ПЛ. При использовании материала типа «сшитый полиэтилен» диэлектрическая проницаемость достаточно стабильна, и такая автоподстройка вряд ли потребуется.

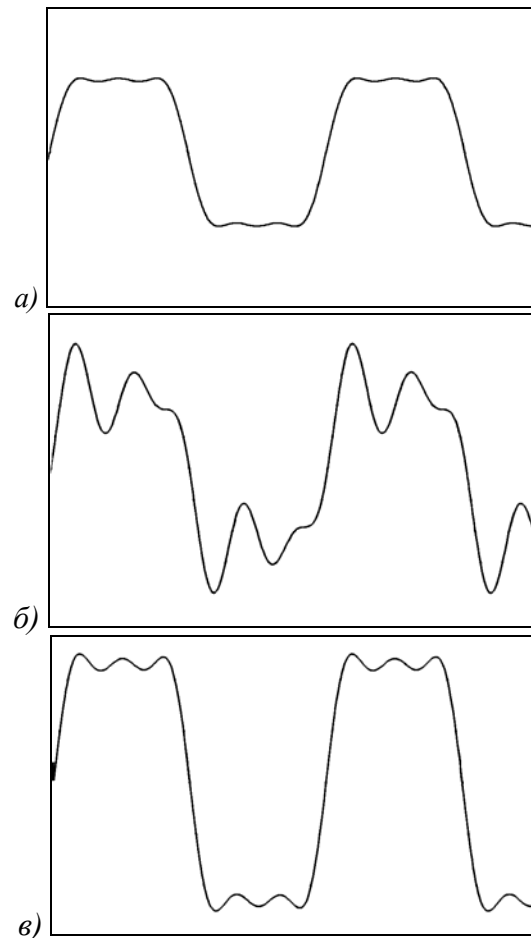


Рис. 7. Влияние неточности полуволновой настройки отрезка ПЛ: *а* – выходное напряжение при точной настройке; *б* – то же при отклонении 10 %; *в* – то же при отклонении 5 %

Следует отметить также, что диапазон допустимых отклонений от режима полуволновой настройки может быть расширен при использовании управляемых ПП. При этом появляется также и возможность стабилизации напряжения, но преобразователи удорожаются.

Выводы

1. Применение системы распределенного питания контактной сети от кабельной продольной линии с повышенной частотой переменного напряжения позволяет примерно на порядок уменьшить массу силовых электромагнитных элементов в выпрямительных агрегатах, сократить в несколько раз число связей с питающей энергосистемой и расширить воз-

возможности управления системой электроснабжения.

2. Режим полуволновой настройки системы устраняет индуктивное падение напряжения в продольной линии, что позволяет использовать неуправляемые выпрямители, и снижает чувствительность к резонансным явлениям, что позволяет использовать в продольной линии квазипрямоугольную форму напряжений и токов, обеспечивающую более высокие энергетические показатели в сравнении с синусоидальной.

3. Изменением соотношения между волновым сопротивлением кабеля и сопротивлением номинальной нагрузки можно до 2...3 раз снизить потери холостого хода в продольной линии.

4. Свойство малого индуктивного падения напряжения в продольной линии, позволяющее применить неуправляемые выпрямители, сохраняется при отклонении по интервалу их установки в пределах $\pm 0,5$ км и при отклонении по величине диэлектрической проницаемости изоляции кабеля в пределах ± 10 %.

5. Результаты компьютерного моделирования подтвердили работоспособность предлагаемой системы и основные количественные соотношения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурков, А. Т. Электронная техника и преобразователи [Текст] : учеб. для вузов ж/д трансп. / А. Т. Бурков. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.
2. Бадер, М. П. Концепция обновления и перспективы развития систем тягового электроснабжения [Текст] / М. П. Бадер, В. Г. Сыченко // Техн. електродинаміка. – Тем. вип. «Силова електроніка та енергоефективність». – К., 2009. – Ч. 2. – С. 88-93.
3. Преобразователь формы напряжения для системы электроснабжения контактной сети переменного тока [Текст] / Ю. П. Гончаров [и др.] // Материалы III Межд. науч.-практ. конф. «Электрификация железнодорожного транспорта» ТРАНСЭЛЕКТРО-2009» (Мисхор). – 2009. – С. 35.
4. Передача электрической энергии однофазным переменным током в форме меандра с ограниченным спектром [Текст] / Ю. П. Гончаров [и др.] // Техн. електродинаміка. – Тем. вип. «Силова електроніка та енергоефективність». – К., 2008. – Ч. 1. – С. 3-11.
5. Александров, Г. Н. Режимы работы воздушных линий электропередачи [Текст] : учеб. пособие / Г. Н. Александров. – СПб.: Центр подготовки кадров энергетики, 2006. – 139 с.

Поступила в редколлегию 12.05.2011.

Принята к печати 17.05.2011.

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ УСТАВКИ СПРАЦЬОВУВАННЯ АПАРАТІВ ЗАХИСТУ ВІД КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ У СИЛОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

У статті розглянуто питання визначення мінімального значення уставки спрацьовування по швидкості зростання струму апаратури захисту від коротких замикань у силових колах електрорухомого складу.

Ключові слова: коротке замикання, уставка, апарат захисту, швидкість зростання струму, тяговий електродвигун

В статье рассмотрен вопрос определения минимального значения уставки срабатывания по скорости нарастания тока аппаратуры защиты от коротких замыканий в силовых цепях электроподвижного состава.

Ключевые слова: короткое замыкание, уставка, аппарат защиты, скорость нарастания тока, тяговый электродвигатель

The issue of determination of minimum value of triggering setpoint by the rate of increasing the current for the short-circuit proof equipment in power circuits of the electric-traction rolling stock is considered in the article.

Keywords: short circuit, setpoint, proof equipment, rate of increasing the current, electric-traction motor

Вступ

Одним із аварійних режимів на електрорухомому складі (ЕРС), що може привести до пошкодження електрообладнання, є режим короткого замикання (КЗ). Для запобігання цим пошкодженням на ЕРС застосовується захисна апаратура, яка розпізнає аварійний режим та розмикає коло при досягненні струмом короткого замикання певного значення. При використанні апаратів захисту побудованих на сучасній напівпровідниковій елементній базі, функцією яких буде розпізнавання швидкості зміни струму КЗ та подача сигналу на розмикання кола, загальний час спрацьовування захисту та відповідно розміри пошкоджень електрообладнання можна значно зменшити.

Мета роботи

Розробка методу визначення мінімального значення уставки спрацьовування по швидкості зростання струму для апаратів захисту на новій елементній базі від коротких замикань у силових колах ЕРС.

Матеріал і результати дослідження

Для визначення уставки апаратів захисту використаємо результати розрахунків з допомогою математичної моделі з використанням параметрів кіл тягових електродвигунів (ТЕД) електровозів ДЕ1 при напрузі в контактній мережі 3000 В [1, 2].

Після розрахунку отримали досить велику кількість значень швидкості зміни струму di/dt у колі ТЕД (табл. 1). Однозначне налаштування

захисного пристрою за отриманими даними не можливе через велику розбіжність останніх. Тому для визначення раціональної уставки апаратів захисту за di/dt застосуємо теорію математичного аналізу та статистики.

Спершу встановлюємо закон розподілення швидкості наростання струму за допомогою критерію погодженості. Для цього використаємо критерій Пірсона, що найчастіше застосовується на практиці [3].

Розіб'ємо весь отриманий масив швидкості наростання струму на інтервали однакової довжини (X_i, X_{i+1}), використовуючи метод обчислення теоретичних частот нормального розподілу, та визначимо кількість випадків di/dt на кожному з них.

Знайдемо середини цих інтервалів:

$$X_i^* = \frac{X_i + X_{i+1}}{2}. \quad (1)$$

Відносна кількість випадків di/dt на інтервалі розраховується за приведеною формулою (2):

$$n_i = \frac{n}{\sum n}. \quad (2)$$

Отримані результати занесені до табл. 1, яка буде використовуватись для задання початкових умов подальших розрахунків.

За розрахунками табл. 1 будемо діаграму (рис. 1), з якої наочно видно, що розподіл від-

носних частот $\frac{di}{dt}$ нагадує майже нормальний закон розподілу.

Таблиця 1

Знаходження кількості випадків швидкості зростання струму та розподілу відносних частот

Інтервали X_i , А/с·10 ³	Кількість випад- ків $\frac{di}{dt}$, n	Розподіл відно- сних частот, n_i	X_i^*
[0...100)	8	0,216	50
[100...200)	9	0,243	150
[200...300)	5	0,135	250
[300...400)	4	0,108	350
[400...500)	2	0,054	450
[500...600)	1	0,027	550
[600...700)	0	0,000	650
[700...800)	2	0,054	750
[800...900)	2	0,054	850
[900...1000)	2	0,054	950
[1000...1100)	0	0,000	1050
[1100...1200)	0	0,000	1150
[1200...1300)	0	0,000	1250
[1300...1400)	0	0,000	1350
[1400...1500)	1	0,027	1450
[1500...1600)	0	0,000	1550
[1600...1700)	0	0,000	1650
[1700...1800)	1	0,027	1750
	$\Sigma 37$	$\Sigma 1$	

Далі розрахуємо зведені характеристики вибірки – вибіркові варіанти X_i і відносні частоти n_i . Скористаємося методом добутків. Спершу перейдемо від вибірових варіант X_i до умовних n_i , використавши наступний вираз:

$$u_i = \frac{X_i - C}{h}, \quad (3)$$

де $h = X_{i+1} - X_i$ – крок зміни варіант

($h = 150 - 50 = 100$);

C – удаваний нуль, за який можна приймати значення будь-якої з варіант X_i .

У цьому виразі в якості удаваного нуля приймемо $X_i = 150$.

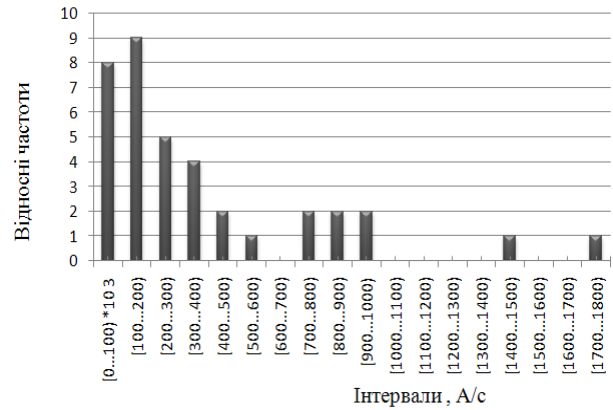


Рис. 1. Розподіл відносних частот за інтервалами швидкості наростання струму

Подальші розрахунки параметрів, необхідних для здобуття характеристик вибірки, проводимо відповідно до розрахункової табл. 2:

Таблиця 2

Розрахунок характеристик вибірки

X_i^*	n_i	u_i	$n_i u_i$	$n_i u_i^2$	$n_i \cdot (u_i + 1)^2$
50	0,216	-1	-0,216	0,216	0,000
150	0,243	0	0,000	0,000	0,243
250	0,135	1	0,135	0,135	0,541
350	0,108	2	0,216	0,432	0,973
450	0,054	3	0,162	0,486	0,865
550	0,027	4	0,108	0,432	0,676
650	0,000	5	0,000	0,000	0,000
750	0,054	6	0,324	1,946	2,649
850	0,054	7	0,378	2,649	3,459
950	0,054	8	0,432	3,459	4,378
1050	0,000	9	0,000	0,000	0,000
1150	0,000	10	0,000	0,000	0,000
1250	0,000	11	0,000	0,000	0,000
1350	0,000	12	0,000	0,000	0,000
1450	0,027	13	0,351	4,568	5,297
1550	0,000	14	0,000	0,000	0,000
1650	0,000	15	0,000	0,000	0,000
1750	0,027	16	0,432	6,919	7,811
	$\Sigma 1$		$\Sigma 2,32$	$\Sigma 21,24$	$\Sigma 26,9$

Перевіримо правильність розрахунку табл. 2:

$$\sum n_i \cdot (u_i + 1)^2 = \sum n_i u_i^2 + 2 \sum n_i u_i + n;$$

$$26,9 = 21,24 + 2 \cdot 2,32 + 1 = 26,9. \quad (4)$$

Збіг знайдених сум свідчить про те, що обчислення проведені вірно.

За отриманими даними визначаємо шукані зведені характеристики вибірки, починаючи з умовних емпіричних моментів першого і другого порядків M_1^* , M_2^* відповідно:

$$M_1^* = \frac{\sum n_i u_i}{n};$$

$$M_1^* = \frac{2,32}{1} = 2,32. \quad (5)$$

$$M_2^* = \frac{\sum n_i u_i^2}{n};$$

$$M_2^* = \frac{21,24}{1} = 21,24. \quad (6)$$

Далі визначаємо шукану вибірккову середню та дисперсію випадкової величини di/dt :

$$\bar{X}_B = M_1^* h + C;$$

$$\bar{X}_B = 2,32 \cdot 100 + 150 = 382. \quad (7)$$

$$D_B = [M_2^* - (M_1^*)^2] \cdot h^2;$$

$$D_B = [21,24 - (2,32)^2] \cdot 100^2 = 158576. \quad (8)$$

За отриманим значенням дисперсії визначаємо середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \sqrt{D_B};$$

$$\sigma_B = \sqrt{158576} = 398,2. \quad (9)$$

Використовуючи знайдені раніше вибірккову середню і середнє квадратичне відхилення, перейдемо до нормованих значень випадкової величини di/dt , внаслідок чого проведемо перехід від часткових інтервалів вигляду (X_i, X_{i+1}) до інтервалів нормованої величини вигляду (Z_i, Z_{i+1}) за допомогою наступних залежностей [3]:

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{X}_B}{\sigma_B}; \quad (10)$$

$$Z_{i+1} = \frac{X_{i+1} - \bar{X}_B}{\sigma_B}. \quad (11)$$

Здійснене вище перетворення дає можливість обчислити теоретичну ймовірність n'_i

потрапляння шуканого параметра di/dt при різних варіантах КЗ в інтервали (X_i, X_{i+1}) за наступним виразом:

$$n'_i = \Phi(Z_{i+1}) - \Phi(Z_i), \quad (12)$$

де $\Phi(Z_i)$, $\Phi(Z_{i+1})$ – функції Лапласа, що знаходяться за допомогою таблиць.

В результаті визначимо шукані теоретичні частоти.

Отримані значення частот, необхідні для обчислення умовно прийнятої випадкової величини $\chi_{\text{сп}}^2$ («хі»-квадрат), дозволяють перейти безпосередньо до перевірки закону нормального розподілу шуканого параметру di/dt . Для цього визначимо спостережуване значення критерію $\chi_{\text{сп}}^2$ при всіх інтервалах.

$$\chi_{\text{сп}}^2 = \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i};$$

$$\chi_{\text{сп}}^2 = 1,753. \quad (13)$$

Далі, для перевірки гіпотези про нормальний розподіл, необхідно визначити критичне значення критерію $\chi_{\text{кр}}^2$, для чого попередньо визначимо кількість ступенів свободи k .

$$k = s - 1 - r, \quad (14)$$

де r – число параметрів, що оцінюються.

Нормальне розподілення оцінюється двома параметрами: математичним очікуванням та середньоквадратичним відхиленням (в якості математичного очікування приймемо вибірккову середню $\bar{X}_B$, в якості середньоквадратичного відхилення – вибірккове σ_B).

Враховуючи, що число можливих варіант, тобто інтервалів значень di/dt , дорівнює $s = 18$, отримаємо:

$$k = 18 - 1 - 2 = 15.$$

Використовуючи таблицю критичних точок розподілу $\chi_{\text{кр}}^2$, по заданому рівню значущості $\alpha = 0,05$ та числу ступенів свободи k маємо [3]:

$$\chi_{\text{кр}}^2 = f(\alpha; k);$$

$$\chi_{\text{кр}}^2 = f(0,05; 15) = 25. \quad (15)$$

Оскільки $\chi_{сп}^2 < \chi_{кр}^2$, то відповідно до цього можна зробити висновок, що дана випадкова величина розподілена за нормальним законом.

Далі визначимо межу спрацьовування захисної апаратури за допомогою довірчого інтервалу, в який параметр попадає з заданою імовірністю γ [3].

Для розрахунку прийемо імовірність $\gamma = 0,95$.

$$\bar{X}_B - t \frac{\sigma_B}{\sqrt{s}} < a < \bar{X}_B + t \frac{\sigma_B}{\sqrt{s}}, \quad (16)$$

де t – значення аргументу функції Лапласа, при якому $\Phi(t) = \frac{\gamma}{2}$;

a – математичне очікування.

Визначимо довірчий інтервал для швидкості наростання струму силового кола ТЕД ЕД-141У за (16) при напрузі контактної мережі 3000 В:

$$382 - 1,96 \frac{398,2}{\sqrt{18}} < a < 382 + 1,96 \frac{398,2}{\sqrt{18}};$$

$$198 \cdot 10^3 < a < 566 \cdot 10^3.$$

Для значень di/dt при напрузі контактної мережі 2200 В та 3850 В розрахунки проводяться аналогічно.

Покажемо графічно визначення довірчого інтервалу для трьох випадків напруги контактної мережі (рис. 2) за формулою:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_B \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \bar{X}_B)^2}{2\sigma_B^2}}. \quad (19)$$

На рис. 2:

1 – крива нормального розподілу і довірчий інтервал значень di/dt при напрузі контактної мережі 2200 В;

2 – крива нормального розподілу і довірчий інтервал значень di/dt при напрузі контактної мережі 3000 В;

3 – крива нормального розподілу і довірчий інтервал значень di/dt при напрузі контактної мережі 3850 В.

З рис. 2 видно, що довірчі інтервали трьох випадків напруги контактної мережі (3; 2,2; 3,85 кВ) накладаються один на одного. Тому

найбільш імовірним проміжком виникнення di/dt є інтервал від $282,6 \cdot 10^3$ до $438 \cdot 10^3$ А/с.

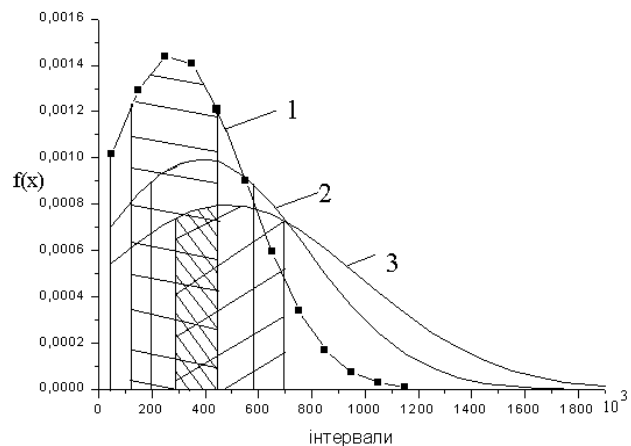


Рис. 2. Визначення довірчого інтервалу швидкості зростання аварійного струму силового кола ТЕД ЕД-141У

Для налагодження уставки спрацьовування апаратури захисту від коротких замикань силового кола електровозу ДЕ1 потрібно брати мінімальну межу $127 \cdot 10^3$ А/с, яка відповідає мінімальній напрузі контактної мережі. Це на порядок більше ніж швидкість зростання струму при пуску тягових електродвигунів.

Висновки

1. Проведене дослідження з пошуку найбільш імовірних інтервалів швидкості зміни струму при коротких замиканнях в силових колах ЕРС постійного струму дозволяє використовувати отримані результати для налаштування сучасної апаратури захисту тягових електродвигунів на базі мікропроцесорної техніки.

2. Отриманий за допомогою теорії математичного аналізу та статистики метод розрахунку інтервалів зміни di/dt для напруги 3000 В є універсальним для пошуку останніх при інших напругах контактної мережі.

3. З досліджень знайдено найбільш імовірний для електровоза ДЕ1 проміжок виникнення di/dt : від $282,6 \cdot 10^3$ до $438 \cdot 10^3$ А/с.

4. Уставку датчика контролю значень di/dt доцільно встановити по мініальному значенню $di/dt = 127 \cdot 10^3$ А/с, що відповідає мінімальній напрузі контактної мережі 2200 В.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Дубинець, Л. В. Швидкість зміни струму при короткому замиканні в силових колах електро рухомого складу з урахуванням вихрових стру мів [Текст] / Л. В. Дубинець, О. О. Карзова, Ю. С. Бондаренко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 69-72.
2. Электровоз магистральный ДЭ1. Техническое описание. ЗТП.000.020-03 ТО. [Текст] – 1999. – 188 с.
3. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2005. – 479 с.
4. Карзова, О. О. Визначення швидкості зміни струму у колах тягових двигунів електрорухомого складу при різних режимах роботи [Текст] / О. О. Карзова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 57-60.

Надійшла до редколегії 30.03.2011.

Прийнята до друку 04.04.2011.

НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ

В статті наведено обґрунтування необхідності удосконалення існуючої системи ТО і Р на основі технічної діагностики пристроїв КМ, які базуються на зниженні витрат на ремонт та впровадженні нових способів впливу на готовність до несення більших навантажень.

Ключові слова: система технічного обслуговування, ремонт, контактна мережа, технічний стан, старіння пристроїв контактної мережі, система ППР

В статье приведены обоснования необходимости усовершенствования существующей системы ТО и Р на основе технической диагностики устройств КС, которые основаны на уменьшении затрат на ремонт и введении новых способов влияния на готовность к несению больших нагрузок.

Ключевые слова: система технического обслуживания, ремонт, контактная сеть, техническое состояние, старение устройств контактной сети, система ППР

In the article the grounds for the necessity of improving the existing system of technical maintenance and repair on the basis of technical diagnostic devices of contact network based on reducing the cost of repairs and introducing new ways to influence the willingness to bear heavy loads are presented.

Keywords: system of technical maintenance, repair, contact network, technical condition, ageing of contact network equipment, system of planning and preventive work

Залізничний електрифікований транспорт відіграє важливу роль в системі народного господарства країни. Безперебійність та ефективність його роботи забезпечується злагодженим та надійним функціонуванням основних його галузей та систем. Останнє досягається шляхом належного обслуговування, проведення регулярних технічних оглядів та планових ремонтів. Весь цей процес вимагає значних капіталовкладень, матеріальних та людських ресурсів. Технічний стан основних об'єктів та своєчасне виконання ремонтів є основними показниками, від яких залежить конкурентоспроможність галузі на ринку транспортних послуг, ефективність та доцільність роботи залізничного транспорту у порівнянні з іншими видами транспорту.

Серед множини основних засобів, які потребують пильної уваги, виділяється такий елемент галузі системи тягового електропостачання, як контактна мережа, функціональне призначення якої визначає її роль і місце в даній системі. Від технічної досконалості її параметрів і організації технічного обслуговування залежить якість струмознімання, ефективність передачі електроенергії від тягових підстанцій до рухомого складу, надійність залізничних перевезень та забезпечення безпеки руху.

Головною особливістю контактної мережі, як елементу системи тягового електропостачання є те, що вона споруджується без резервування, і у випадку виникнення її непрацездат-

ності – з ладу виходить вся система живлення електроенергією рухомого складу, що призводить до порушення нормальної роботи залізниці. Унікальність даного об'єкту пред'являє підвищені вимоги, як до конструкції, так і до способів обслуговування.

В процесі експлуатації початковий стан пристроїв контактної мережі зазнає впливів різних факторів (режими та умови роботи, кліматичні чинники та ін.), під дією яких вони втрачають свої первинні характеристики. Наслідком цього є низький рівень працездатності, порушення вимог безпеки, зниження експлуатаційної надійності і збільшення імовірності виникнення відмов. Використання таких об'єктів економічно невиправдане, а питомі витрати на ремонт для найбільш зношеного обладнання можуть бути співвимірні чи навіть перевищувати витрати на модернізацію.

Незадовільною залишається ситуація з боку інвестиційної привабливості таких об'єктів. Причинами такого стану є неможливість фінансування проектів тільки за рахунок амортизаційних нарахувань, слабка зацікавленість інвесторів у вкладення засобів відновлення основних фондів.

В останні роки серед пристроїв контактної мережі спостерігається тенденція невпинного зростання кількості обладнання, що відпрацювало установленний термін служби, тобто перехід його у граничний стан, який характеризується нездатністю об'єкта виконувати основні

функції і подальша його експлуатація стає неможливою та технічно небезпечною через великий ризик виникнення технічних відмов. Така ситуація пояснюється зниженими обсягами введення нового обладнання, недостатніми темпами переоснащення, а також швидкими темпами фізичного та морального зносу діючого обладнання.

Аналізуючи статистичні дані [3] реального стану пристроїв контактної мережі, можна зробити висновок, що при досить незначному періоді своєї життєдіяльності контактна мережа стрімкими темпами наближається до вичерпання свого ресурсу. Внаслідок цього збільшується кількість пошкоджень та відмов складових частин, порушується технологічний процес експлуатації.

Так, основними причинами відмов у роботі пристроїв контактної мережі являються низька якість обслуговування, механічні руйнування, бракована арматура, розрегулювання, перекриття та руйнування ізоляції, обриви. Велике занепокоєння у даному переліку викликає «обвальне» старіння. Для прикладу по Одеській залізниці у період з 1998 р. по 2009 р. експлуатаційна довжина електрифікованих колій, що знаходяться в експлуатації понад нормативний термін служби (більше 40 років) зросла в 21,3 разу і становить 49,3 % від загальної довжини. Найбільш вразливими елементами контактної мережі є проводи, троси, ізолятори, опори, підтримуючі конструкції та повітряні стрілки.

Частка порушень нормального функціонування через зношеність у загальному розподілі порушень з кожним роком все більше зростає. Кількість порушень, викликаних старінням, у 2005 р. становила 2, натомість у 2009 р. – 7 випадків [3].

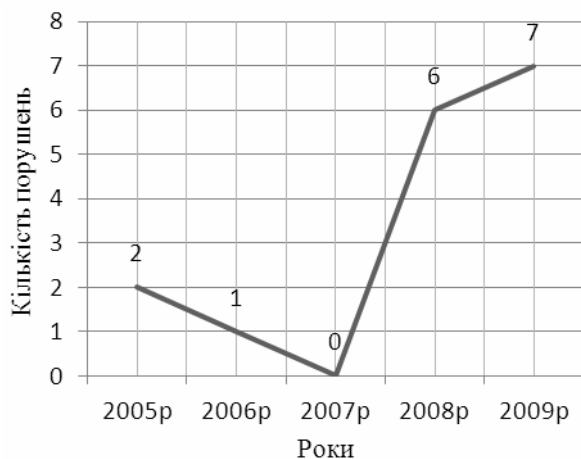


Рис. 1. Кількість пошкоджень пристроїв КМ, викликані старінням та зносом

Одним із найбільш пошкоджуваних елементів контактної мережі є несучі троси та контактні проводи, на пошкодження яких припадає близько 30 % всіх відмов.

Невпинно зростає і кількість опор з терміном служби понад 40 років, а виконання ремонтних робіт та темпи по їх заміні є недостатніми. Зокрема, спостерігається значний спад робіт по заміні: у 2005 р. кількість замінених одиниць становила 237 шт., у 2009 р. – лише 114 шт. За таких умов господарству необхідно буде близько 63 років для заміни вже існуючих опор з понад нормативним терміном служби, не враховуючи того, що з кожним наступним роком кількість таких елементів збільшується.

Розв'язок даної проблеми можна знайти шляхом збільшення обсягів діагностування та заміни опор, оскільки потреба в цьому у майбутньому може перевищити реальну спроможність залізниці.

Невтішною є динаміка заміни високовольтних ізоляторів. Кількість замінених ізоляторів у 2006 р. становила 9560 шт., у 2009 р. – 6307 шт.

Загальний ступінь зносу основних фондів складає 58,2 %. Наявна ситуація вимагає прийняття рішень, які б могли виправити існуючий стан і попередити виникнення відмов та порушень пристроїв, що вичерпали термін своєї служби.

Сьогодні рівень технічного стану контактної мережі підтримується за рахунок проведення профілактичних ремонтів. А це означає, що вона ремонтується вибірково чи аварійно. При необхідності замінюється тільки частина контактного проводу або інших елементів. У цілому по господарству спостерігається тенденція зменшення обсягів виконання ремонтних робіт.

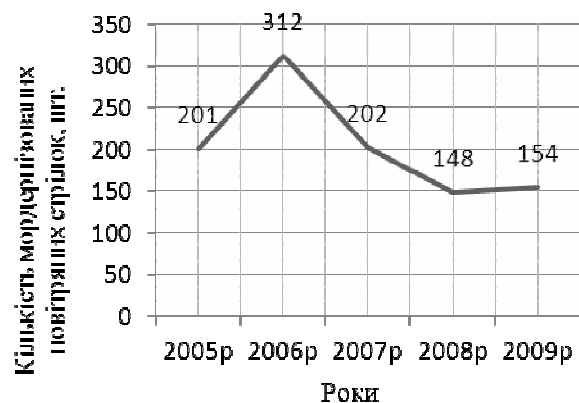


Рис. 2. Модернізація повітряних стрілок

Неспроможність залізниці організувати належну та надійну експлуатацію пристроїв контактної мережі пояснюється різноманітністю

основних елементів, їх функціональним призначенням та різними термінами життєвого циклу.

Конструкція контактної мережі вимагає особливої системи ТО і Р, яка могла б досить точно попереджувати появу масових відмов.

Серед існуючих систем ТО і Р для пристроїв контактної мережі стають можливими системи ремонту за станом та наробітком, а не нормативні. Перші дві застосовуються для обладнання, інтенсивність відмов яких постійно зростає.

Для реалізації системи за наробітком необхідно постійно накопичувати дані про напруження, на основі яких виконується планування робіт. Основною метою системи за фактичним станом є підвищення рівня надійності та зниження експлуатаційних витрат. При цьому, приймаючи до уваги реальний технічний стан конкретного об'єкту, призначаються спеціальні роботи з технічного обслуговування і пропонуються певні зміни в процесі експлуатації. Основою такої системи технічного обслуговування і ремонту є прогнозування стану об'єкта та технічна діагностика, за результатами якої визначається необхідність ТО і Р, час виконання і об'єм робіт. Крім того, основними умовами застосування системи ТО і Р за станом є:

- висока функціональна значимість об'єктів при недостатньому ступені резервування;
- високий рівень експлуатаційної технологічності і ремонтпридатності;
- відмова пристрою в процесі експлуатації не дозволяє виконання подальшої роботи інших елементів, які входять у склад системи.

Визначальними факторами для реалізації даної системи є фінансові витрати та прогнозування. Тому найбільш доцільне та перспективне застосування її буде тоді, коли економічні затрати не будуть відігравати такої великої ролі.

Сьогодні для виконання виробничої експлуатації і підтримання відповідного технічного стану пристроїв КМ згідно з нормативно-технічною документацією застосовують планово-попереджувальну систему ремонту (ППР). Вона передбачає виконання профілактичних заходів в зазначені терміни. Періодичність обслуговування визначається умовами роботи, заміною зношених деталей, необхідністю виконання регулювань. Дана система мінімізує простої обладнання за рахунок жорсткої регламентації ремонтних циклів. При такому підході

зменшується знос і раптовість виходу пристроїв з ладу. Але проведення профілактичних робіт через усереднені терміни без точного визначення технічного стану не дає гарантії, що в міжремонтний період не будуть з'являтися відмови. Показниками технічних чи фізичних характеристик зносу виступають параметри і показники, що визначають собою знос окремих елементів, пристроїв, вузлів та інших засобів.

Одним із видів ремонту системи ППР є капітальний, який повинен стабілізувати ситуацію з накопичення застарілого та зношеного обладнання. Планування та управління ним пов'язане з системою поточного ремонту та утримання основних засобів.

Початкові дані для управління капітальним ремонтом потребують певного групування. Тут до уваги слід приймати фактичний стан технічних засобів, який характеризується показниками економічного та технічного стану:

- середній вік основних засобів, що знаходяться на балансі;
- кількість і вартість пристроїв, які знаходяться в експлуатації понад нормативний термін служби;
- знос основних засобів;
- відновлювальна вартість основних засобів;
- залишкова вартість основних засобів.

В сучасних економічних умовах система ППР має недоліки і не в змозі забезпечити прийняття оптимальних рішень. Так, не враховується фактичний стан обладнання на момент ремонту, роботи характеризуються великими затратами праці, не враховується ряд обмежень (технологічних, матеріальних, трудових). Крім того, вона не в змозі попередити відмови, викликанні масовим старінням елементів, а справляється лише з невеликим об'ємом робіт, до яких відносять дрібні розрегулювання, заміну елементів, що відмовили, правку.

Наявні розробки нових систем ТО і Р представляють собою фрагментарні і розрізнені принципи та моделі, які не являються систематизованими, а описують лише окремі елементи контактної мережі. Методи проектування мають низьку продуктивність і пов'язані з великими затратами праці, часу та матеріальних ресурсів. Розроблений комплекс моделей, теорій і методів розрахунків повинен охоплювати весь життєвий цикл контактної мережі.

В умовах старіння пристроїв контактної мережі та інтенсифікації руху, пов'язаною з виходом країни з фінансової кризи, потрібно розробити науково обґрунтовані принципи нової си-

стеми ТО і Р, яка буде враховувати фактичний стан. Основні критерії удосконалення повинні відповідати головному призначенню КМ – забезпечення надійного та якісного електропостачання рухомого складу. На перше місце слід віднести критерії прагнення до досягнення більш високих показників готовності пристроїв КМ нести навантаження. Подальше удосконалення технічного та ремонтного обслуговування буде доцільним тоді, коли враховуватиметься ряд факторів:

- інтегральні показники вікової структури основного обладнання;
- вичерпання термінів служби обладнання;
- вичерпання індивідуального ресурсу відповідних вузлів та елементів.

Отже, найбільш інформативним критерієм оцінки стану об'єкта є його вікова структура, оскільки погіршення її показників веде до збільшення загальних витрат на ремонт і відповідно зростання собівартості.

Пропонуються напрямки удосконалення існуючої системи ТО і Р на основі технічної діагностики пристроїв КМ, які ґрунтуються на зниженні витрат на ремонт.

На основі вивчення рівня розвитку технічної діагностики, теорії надійності і існуючої системи ППР пропонується перехід до ремонтів за технічним станом.

Основними принципами такої системи стають:

- для виявлення несправностей та відмов обладнання необхідне здійснення непе-

рервного і періодичного контролю технічного стану за експлуатаційними параметрами;

- технічна діагностика засновується на регламенті з відповідними термінами та обсягами, що встановлені нормативно-технічною документацією;
- початок ремонту, номенклатура робіт та об'єми визначаються на основі прогнозів технічного стану пристроїв.

Таким чином, необхідно реалізувати весь комплекс заходів на перехід системи ремонту за технічним станом обладнання на основі комплексної діагностики, який за своєю суттю зводиться до створення нової системи ТО і Р пристроїв КМ.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по концепции планирования и управления капитальным ремонтом основных средств в процессе реформирования железнодорожного транспорта [Текст] / В. В. Аненков [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. – 2003. – Вып. 3.
2. Галкин, А. Г. Теория и методы расчетов процессов проектирования и технического обслуживания контактной сети [Текст] : дис. ... докт. техн. наук / А. Г. Галкин. – М., 2003. – 370 с.
3. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання [Текст]. – К.: Мінтрансзв'язу України, 2005-2009 рр.

Надійшла до редколегії 23.05.2011.

Прийнята до друку 25.05.2011.

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ В ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ ЇЇ РОБОТИ.

1. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

У статті запропоновано три методи визначення енергетичних показників і непродуктивних втрат електроенергії в системі тягового електропостачання постійного струму, оснований на сучасному математичному апараті аналізу електричних величин, які є випадковими функціями часу.

Ключові слова: енергетичні показники, спектральний аналіз, перетворення Фур'є

В статье предложено три метода определения энергетических показателей и непроизводительных потерь электроэнергии в системе тягового электроснабжения постоянного тока, основанных на современном математическом аппарате анализа электрических величин, которые являются случайными функциями времени.

Ключевые слова: энергетические показатели; спектральный анализ; преобразование Фурье

In the article three methods for determination of the wasteful losses of electric energy in a system of DC traction supply based upon the advanced mathematical techniques for analysis of electric values, which are random functions of time, are suggested.

Keywords: energy factors; spectral analysis; Fourier transformation

Вступ. Сутність енергетичних показників

Існуюча на сьогоднішній день в електричних колах систем електротяги традиційна класична система показників ефективності електроенергетичних процесів включає в себе наступні показники, що подані в роботах О. Маєвського [1] та Г. Зінов'єва [2]: коефіцієнт зсуву фаз основної гармоніки несинусоїдного струму відносно вхідної синусоїдної напруги ($\cos \varphi_{(1)}$); коефіцієнт спотворення форми струму по відношенню до форми напруги (v); коефіцієнт несиметрії навантаження по фазах (K_{HC}); коефіцієнт нерівномірності споживання електроенергії (K_{HP}). Ці коефіцієнти базуються на співвідношеннях відповідних потужностей активної P , реактивної $Q_{(1)}$, спотворення D , несиметрії H_C , нерівномірності H_P та повної S . Автори [1, 2] розглядали системи лише з вхідною синусоїдною напругою. Тому $\cos \varphi_{(1)}$, P і $Q_{(1)}$ визначались лише для першої гармоніки. У випадку несинусоїдних напруги та струму коефіцієнт $\cos \varphi$ буде коефіцієнтом зсуву за фазою між кривими напруги та струму, потужність Q буде реактивною потужністю по Будаєву Q_B , а потужність P буде обумовлена однойменними гармоніками напруги і струму. Тому зазначені коефіцієнти визначаються через ці потужності, як складові повної потужності S , таким чином:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_B^2}}; \quad (1)$$

$$v = \frac{\sqrt{P^2 + Q_B^2}}{\sqrt{P^2 + Q_B^2 + D^2}}; \quad (2)$$

$$K_{HC} = \frac{\sqrt{P^2 + Q_B^2 + D^2}}{\sqrt{P^2 + Q_B^2 + D^2 + H_C^2}}; \quad (3)$$

$$K_{HC} = \frac{\sqrt{P^2 + Q_B^2 + D^2 + H_C^2}}{\sqrt{P^2 + Q_B^2 + D^2 + H_C^2 + H_P^2}} = \frac{\sqrt{P^2 + Q_B^2 + D^2 + H_C^2}}{S}. \quad (4)$$

Загальним показником в цій системі є коефіцієнт потужності λ , який об'єднує мультиплікативно всі локальні коефіцієнти (1) – (4) за виразом:

$$\lambda = \frac{P}{S} = (\cos \varphi) \cdot v \cdot K_{HC} \cdot K_{HP}. \quad (5)$$

Стосовно системи електротяги у класичному розумінні коефіцієнт потужності λ , по-перше, визначає ступінь використання повної потужності S , підведеної взагалі до тягової підстанції чи до електрорухомого складу зокрема. По-друге, величина λ також характеризує втрати активної потужності в силових тягових колах

електрорухомого складу і в тяговій мережі електропостачання.

Слід зауважити, що коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ не завжди є достатньо очевидним енергетичним показником (для кіл і режимів, у яких потужності $D \neq 0$, $H_C \neq 0$, $H_P \neq 0$), і тому в останні роки в тяговому електропостачанні, подібно промисловому, в якості звітної величини використовують коефіцієнт реактивної потужності:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_B}{P}, \quad (6)$$

який є більш енергетично практичним показником. Дійсно, наприклад, при $\cos \varphi = 0,95$ величина $\operatorname{tg} \varphi = 0,33$. Отже, хоча $\cos \varphi$ близький до 1, але споживана реактивна потужність Q_B складає майже 1/3 від активної, тобто порівняно велика.

Викладена вище система енергетичних показників базується на гармонійному підході і тому, по-перше, може призвести до невизначеності та ускладнень при характеристиці потоків енергії, коли вже треба оперувати з інтегралами функцій енергії. По-друге, вона володіє негативними сторонами, що обумовлюють неоднозначність розв'язання проблеми оцінки ефективності процесів передачі, споживання і перетворення електроенергії. Тому розглянута вище система (1)–(4) повинна бути доповнена іншими показниками, які б у першу чергу оцінювали ступінь споживання реактивної енергії й тим самим ступінь якості електроенергії. Таким показником, на нашу думку, можуть бути непродуктивні (додаткові) втрати електроенергії в елементах системи електротяги, бо лише вони базуються на усіх факторах неякісності енергії і відображають економічну сторону як енергопостачання, так і енергоспоживання [3]. Ці втрати характеризують не лише технічну сторону транспортування електроенергії від тягової підстанції до електрорухомого складу, але і якість організації та контролю електроенергетичних процесів в системі електричної тяги.

Для отримання формул додаткових втрат електроенергії скористаємося концепцією С. Фризе [4, 3]. Він запропонував будь-якого споживача зі струмом $i(t)$ довільної форми представляти паралельним з'єднанням резистивного елемента R , що відображає споживану активну електроенергію, та реактивного елемента X , що характеризує споживання неактивних складових потужності: реактивної потужності та потужності спотворення. Вважається, що у вітці з елементом R протікає активна складова струму $i_a(t)$, яка співпадає за формою

з прикладеною до споживача напругою $u(t)$. По елементу X протікає реактивна складова $i_p(t)$, що ортогональна до напруги $u(t)$. Тоді для довільного інтервалу часу $[0 \dots \tau]$ імпульсу перехідного $i(t)$ його можна представити сумою:

$$i(t) = i_a(t) + i_p(t), \quad (7)$$

чи

$$\begin{aligned} \frac{1}{\tau} \int_0^\tau i^2(t) dt &= \frac{1}{\tau} \int_0^\tau i_a^2(t) dt + \frac{1}{\tau} \int_0^\tau i_p^2(t) dt, \\ \frac{1}{\tau} \int_0^\tau i_p^2(t) dt &= \frac{1}{\tau} \int_0^\tau i^2(t) dt - \frac{1}{\tau} \int_0^\tau i_a^2(t) dt. \end{aligned} \quad (8)$$

Помноживши всі складові (8) на $\frac{1}{\tau} \int_0^\tau u^2(t) dt$,

отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\tau} \int_0^\tau u^2(t) dt \cdot \frac{1}{\tau} \int_0^\tau i_p^2(t) dt &= \frac{1}{\tau} \int_0^\tau u^2(t) dt \cdot \frac{1}{\tau} \int_0^\tau i^2(t) dt - \\ &- \frac{1}{\tau} \int_0^\tau u^2(t) dt \cdot \frac{1}{\tau} \int_0^\tau i_a^2(t) dt. \end{aligned} \quad (9)$$

Ліва частина виразу (9) характеризує реактивну потужність Фризе $Q_{\text{Фт}}$, що споживається на інтервалі $[0 \dots \tau]$, тобто

$$Q_{\text{Фт}}^2 = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau u^2(t) dt \cdot \frac{1}{\tau} \int_0^\tau i_p^2(t) dt. \quad (10)$$

Тоді непродуктивні (додаткові) втрати активної електроенергії в споживачі R будуть визначатися виразом:

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{дт}} &= \frac{1}{\tau} \int_0^\tau R \cdot i_p^2(t) dt = \\ &= \frac{Q_{\text{Фт}}^2 \cdot R}{\frac{1}{\tau} \int_0^\tau u^2(t) dt} = \frac{P_\tau^2 \cdot R}{\frac{1}{\tau} \int_0^\tau u^2(t) dt} \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi, \end{aligned} \quad (11)$$

де $Q_{\text{Фт}}$ та P_τ – реактивна та активна потужності, що споживаються навантаженням R .

Теоретичні передумови методів

Як впливає із виразів (1)–(6) і (11), для визначення потужностей, як енергетичних характеристик, а, отже, і власне енергетичних показників необхідно знання часових функцій перехідних напруги $u(t)$ і струму $i(t)$. Ці зале-

жності можуть бути одержані або експериментальними дослідженнями на діючих енергодільняках залізниць, або моделюванням в умовах лабораторій. Задача визначення складових повної потужності на основі несинусоїдних кривих $u(t)$ та $i(t)$ вже розв'язувалась авторами робіт [5 – 7], але то були дослідження для часових залежностей неперервних технологічних коливань випрямних напруги і струму в установлених режимах для добових і місячних реєстрів. В той же час, як показує практика досліджень, в перехідних, і особливо в аварійних, режимах залежності $u(t)$ та $i(t)$ являють собою одинокі короточасні, тривалістю τ , неперіодичні імпульси довільної форми, наприклад, вигляду рис. 1. Для визначення енергетичних показників системи електричної тяги у режимах з такими імпульсами пропонуються наступні три методи.

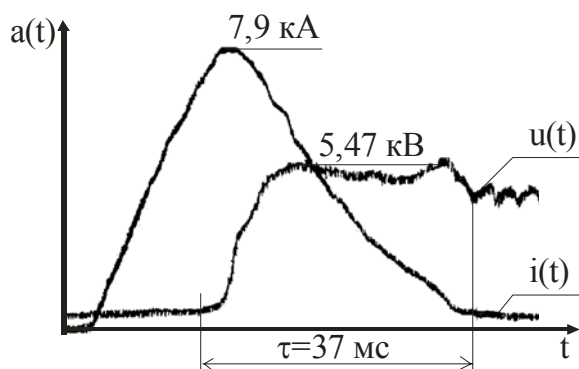


Рис. 1. Осцилограми перехідних фідерних напруги $u(t)$ та струму $i(t)$ при вимиканні швидкодіючим вимикачем типу АБ-2/4 короткого замикання в тяговій мережі

Перший, назовемо його **методом наближення**, полягає в такому. Для заданих графічно (осцилограм) чи таблично перехідних $u(t)$, $i(t)$ (позначимо їх однією функцією $a(t)$) знаходять наближені аналітичні вирази, тобто здійснюють їх аналітичну апроксимацію за критеріями збіжності або інтерполяцію. Особливістю і важливістю цих математичних операцій при розв'язанні поставлених енергетичних задач є те, що апроксимуючи ці інтерполюючі функції $f(t)$ повинні найбільш точно відображати перехідні величини $a(t)$, інакше буде загублена важлива інформація, що призведе до неточних кінцевих результатів. Тому із усіх відомих у математиці критеріїв збіжності, збіжність в кожній точці

$$a(t) = \lim_{k \rightarrow \infty} f_k(t) \text{ в області } [0 \dots \tau],$$

рівномірна збіжність

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \left(\max |a(t) - f_k(t)| \right) = 0,$$

збіжність у середньоквадратичному

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \int |a(t) - f_k(t)|^2 dt = 0,$$

найбільш доцільним для апроксимації є перший, найбільш жорсткий, критерій. Система функцій $f_1(t)$, $f_2(t)$, ..., $f_k(t)$, ..., $f_\infty(t)$ в аналітичних виразах критеріїв збіжності являє собою функції, комбінацією яких можна представити перехідну величину $a(t)$ (чи то напругу, чи то струм). При виборі методу наближення складної за формою $a(t)$, апроксимація чи інтерполяція, перевагу треба віддавати апроксимації, оскільки у цьому випадку інтерполяційний многочлен буде дуже високого порядку, що робить розрахунки недопустимо громіздкими. Більш того, не для всякої перехідної $a(t)$ можливо простими способами побудувати многочлен, що забезпечує рівномірну збіжність до $a(t)$ (якщо вона необхідна).

У подальшому розглядуваний метод полягає у визначенні енергетичних показників за виразами (1)–(6) і (11), в яких потужності оцінюють за нижченаведеними формулами на основі апроксимованих перехідних $u(t)$, $i(t)$, а саме:

- миттєву потужність на інтервалі $[0 \dots \tau]$ існування імпульсу перехідної величини визначають як:

$$p_\tau(t) = u(t) \cdot i(t); \quad (12)$$

- активну потужність за той же інтервал часу за виразом:

$$P_\tau = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau p_\tau dt = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau u(t) \cdot i(t) dt. \quad (13)$$

- повну потужність як:

$$S_\tau = U_\tau \cdot I_\tau, \quad (14)$$

де U_τ , I_τ – діючі значення напруги і струму за інтервал часу $[0 \dots \tau]$:

$$U_\tau = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^\tau u^2(t) dt}; \quad I_\tau = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^\tau i^2(t) dt}. \quad (15)$$

Для визначення реактивної потужності існує багато методів і підходів і це питання залишається дискусійним до цього часу. Найбільш перспективним підходом до визначення цієї неактивної складової є концепція С. Фризе [4], яка направлена на збереження функціонального характеру описання енергетичних властивостей кіл при синусоїдних і несинусоїдних процесах. В цьому випадку реактивна потужність за Фризе визначається за виразом:

$$Q_{\Phi\tau} = \sqrt{S_{\tau}^2 - P_{\tau}^2} . \quad (16)$$

У другому методі, методі «дискретної електротехніки» аналогові імпульси перехідних $u(t)$ та $i(t)$ (у подальшому те ж як $a(t)$) шляхом дискретизації з певним інтервалом часу Δt перетворюють в імпульси, які містять масиви N значень (відліків) досліджуваної величини $a(t)$ (рис. 2): $a_1 = a(t_1)$; $a_2 = a(t_2)$; ..., $a_n = a(t_n)$; ..., $a_N = a(t_N)$; $n = 1, 2, 3, \dots, N$; $\Delta t = \frac{\tau}{N}$ – інтервал дискретизації в реальному масштабі часу, вибір якого є дуже важливою операцією і його треба здійснювати виходячи із характеру зміни досліджуваної величини $a(t)$.

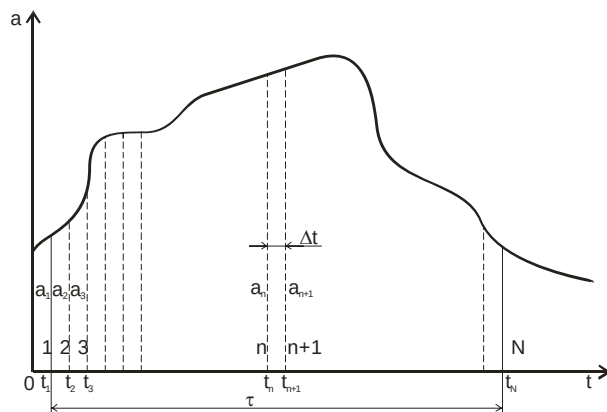


Рис. 2. Дискретизація неперервного імпульсу перехідної величини $a(t)$

Останній може бути отриманий аналізом схеми досліджуваного пристрою чи системи, принципу її функціонування, вимог до $a(t)$, взаємних зв'язків між елементами тощо. У першому наближенні аналоговий імпульс-функція $a(t)$ може бути адекватно представлений дискретними відліками, якщо його частота не перевищує половини частоти Найквіста (частоти дискретизації). Для точних розрахунків можна зробити припущення про максимальну (верхню) f_b і мінімальну (нижню) f_n частоти у спектрі перехідної величини або (у крайньому випадку на основі власного досвіду або непрямих передумов) можна задатись цими величинами і визначити Δt за теоремою Котельникова [8], згідно з якою будь-яка функція $a(t)$, спектр якої не містить складових з частотами вище певного значення $\omega_b = 2\pi f_b$, може бути без втрат інформації представлена своїми дискретними відліками $a_1, a_2, \dots, a_n$ (рис. 2), взятими з інтервалом Δt , який визначається за такою нерівністю:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2f_b} = \frac{\pi}{\omega_b} . \quad (17)$$

Дослідження також показують, що ефективно правильний результат відносно Δt при аналізі змін напруг і струмів навантаження дає оціночна формула [9]:

$$\Delta t = (0,1 \dots 0,25) T_1 ,$$

де T_1 – найменший середній термін часу циклу роботи пристрою чи системи.

У подальшому, після визначення Δt дискретизації імпульсів перехідної напруги $u(t)$ і струму $i(t)$ і визначення їх відліків, згідно з розглядуваним методом, а, отже, і рис. 2, необхідні потужності розраховують таким чином [5].

Активну потужність P_{τ} , згідно (13), знаходять як середнє арифметичне за інтервал $[0 \dots \tau]$:

$$P_{\tau} = \frac{\sum_{n=1}^N u_n \cdot i_n}{N} , \text{ або } P_{\tau} = \frac{\sum_{n=1}^N p_n}{N} , \quad (18)$$

де u_n, i_n, p_n – n -і значення напруги, струму або миттєвої потужності;

N – загальна кількість точок дискретизації за термін часу $[0 \dots \tau]$.

На перший погляд, активну потужність P_{τ} для розглядуваних режимів можна визначити і як добуток середніх за час споживання енергії системою напруги U_{cp} та струму I_{cp} :

$$P_{cp} = U_{cp} \cdot I_{cp} ,$$

$$\text{де } U_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_n , \quad I_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N i_n .$$

Однак значення потужності P_{τ} в цьому разі будуть менш точні, бо тоді вона визначається лише потужністю нульової гармоніки (якщо припустити можливість розкладання $u(t)$ та $i(t)$ в ряд Фур'є) оскільки $U_{cp} = U_{(0)}$, $I_{cp} = I_{(0)}$.

Для визначення повної потужності S_{τ} також застосовують формулу (14), в якій діючі значення U_{τ} та I_{τ} знаходять як середні квадратичні за τ від дискретних значень (рис. 2):

$$U_{\tau} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N u_n^2}{N}} ; \quad (19)$$

$$I_{\tau} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N i_n^2}{N}}. \quad (20)$$

Реактивну потужність за Фризе визначають за формулою (16), а енергетичні показники – також за виразами (1)–(6) і (11).

Третій метод, який можна назвати **методом цифрового спектрального аналізу**, базується на гармонійному аналізі імпульсів перехідних напруги і струму, що виконується за допомогою дискретного перетворення Фур'є. Для цього замість реально отриманого одного імпульсу перехідної величини $a(t)$ (типу рис. 1 і 2) думкою утворимо періодичну (з довільним періодом T) послідовність таких імпульсів (рис. 3).

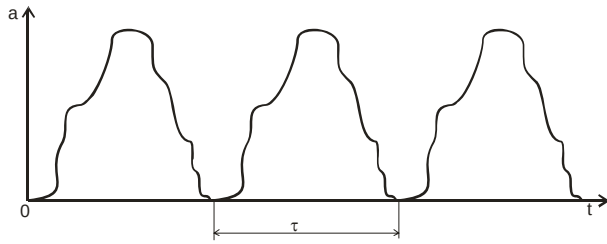


Рис. 3. Утворення періодичної імпульс-функції $a(t)$

Тепер несинусоїдну функцію-імпульс $a(t)$ можна розглядати не на інтервалі $[0 \dots \tau]$ її існування, а продовжену періодично поза інтервалом $[0 \dots \tau]$. Тобто неперіодична імпульс-функція $a(t)$ перетворена в періодичну з періодом T , для якої є чинним розкладання в ряд Фур'є в дійсній класичній формі:

$$a(t) = A_{m(\kappa)} \sin(\kappa\omega t + \psi_{a(\kappa)}), \quad (21)$$

де $A_{m(\kappa)}$, $\psi_{a(\kappa)}$ – амплітуда і початкова фаза κ -ої гармоніки ряду, які визначаються із комплексної амплітуди $\underline{A}_{m(\kappa)} = A_{m(\kappa)} e^{-j\psi_{a(\kappa)}}$, що знаходиться за відомим виразом [10]:

$$\underline{A}_{m(\kappa)} = \frac{2}{T} \int_0^T a(t) e^{-j\kappa\omega t} dt. \quad (22)$$

Однак функція $a(t)$ є несинусоїдною і довільної, часто дуже складної, форми, тому застосування для її спектрального аналізу класичного Фур'є-аналізу практично утруднено, доцільним є використання дискретного перетворення Фур'є [11, 12]. Для цього, як і в другому методі, здійснимо дискретизацію з інтервалом Δt імпульс-функції $a(t)$, як це зроблено на рис. 2. Тоді значення $a_n = a(n \cdot \Delta t)$ є відліками тепер вже періодичної (рис. 3) аналогової функції

$a(t)$ у вигляді послідовності дельта-функції, «зваженої» відліками $a(n \cdot \Delta t)$ аналогової функції $a(t)$ (рис. 4) [13]:

$$a(t) = \sum_{n=1}^N a(n \cdot \Delta t) \delta(t - n \cdot \Delta t). \quad (23)$$

Підставивши (23) в (22), отримаємо

$$\underline{A}_{m(\kappa)} = \frac{2}{T} \int_0^T \sum_{n=1}^N a(n \cdot \Delta t) \delta(t - n \cdot \Delta t) \cdot e^{-j\kappa\omega t} dt. \quad (24)$$

Оскільки $a(n \cdot \Delta t)$ є константами (незалежними від t), а функція $\delta(t - n \cdot \Delta t)$ дорівнює нулю за будь-якого t окрім $t = n \cdot \Delta t$, тоді (24) можна переписати у вигляді:

$$\underline{A}_{m(\kappa)} = \frac{2}{T} \sum_{n=1}^N a(n \cdot \Delta t) \int_0^T \sum_{n=1}^N \delta(n \cdot \Delta t) e^{-j\kappa\omega t} dt. \quad (25)$$

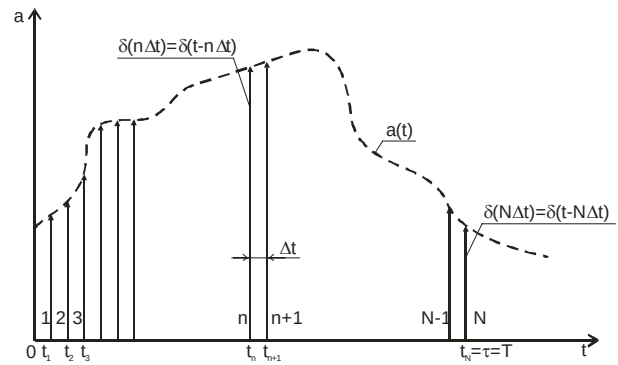


Рис. 4. Дискретизований імпульс-функція $a(t)$ у вигляді послідовності дельта-функцій

Врахуємо фільтруючу властивість дельта-функції [11, 12], яка полягає у тому, що якщо ця функція присутня під інтегралом у якості множника, то результат інтегрування буде дорівнювати значенню іншої підінтегральної функції (чи виразу) у тій точці (часу), де зосереджена дельта-функція, незалежно від меж інтегрування. Тоді вираз (25) набуде вигляду:

$$\underline{A}_{m(\kappa)} = \frac{2}{T} \sum_{n=1}^N a(n \cdot \Delta t) e^{-j\kappa\omega \Delta t}. \quad (26)$$

В (26) спектр є дискретним з частотною відстанню між гармоніками, яка, згідно рис. 4, дорівнює

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2n}{N \cdot \Delta t}. \quad (27)$$

З урахуванням (27) і того, що $a(n \cdot \Delta t)$ – це значення відліків і тому $a(n \cdot \Delta t) = a(n)$, вираз (26) можна записати у вигляді:

$$\underline{A}_{m(\kappa)} = \frac{2}{N \cdot \Delta t} \sum_{n=1}^N a(n) e^{-j \frac{2\pi n \kappa}{N}}. \quad (28)$$

Отже, комплексна амплітуда дискретного ряду Фур'є представляє собою лінійну комбінацію відліків $a(n)$ дискретизованого імпульсу перехідної величини $a(t)$.

У виразі (28) реальний масштаб часу фігурує лише у множнику $\frac{1}{\Delta t}$ перед оператором додавання. При аналізі дискретних послідовностей зазвичай оперують номерами відліків (1, 2, ..., n, ..., N, рис. 2 і 4) та спектральних гармонік без прив'язки до дійсного масштабу часу і частоти [12]. Тому множник $\frac{1}{\Delta t}$ вилучимо із виразу (28), тобто будемо вважати частоту дискретизації рівною одиниці. І тоді остаточний вираз комплексної амплітуди « κ »-ої гармоніки буде:

$$\underline{A}_{m(\kappa)} = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N a(n) e^{-j \frac{2\pi n \kappa}{N}} = A_{m(\kappa)} \cdot e^{j\psi_{a(\kappa)}}, \quad (29)$$

який і є виразом дискретного перетворення Фур'є аналогового імпульса-функції $a(t)$.

Після визначення $A_{m(\kappa)}$ та $j\psi_{a(\kappa)}$ за цим виразом та запису ряду Фур'є за виразом (21) потужності P_τ і S_τ знаходять за відомими класичними формулами теорії кіл несинусоїдного струму, а саме:

- активну потужність:

$$P_\tau = \sum_{\kappa=0} U_{m(\kappa)} \cdot I_{m(\kappa)} \cdot \cos \varphi_{(\kappa)};$$

- повну потужність:

$$S_\tau = U_\tau \cdot I_\tau,$$

де $U_\tau = \sqrt{U_{(0)}^2 + U_{(1)}^2 + U_{(2)}^2 + \dots + U_{(\kappa)}^2 + \dots}$,

$$I_\tau = \sqrt{I_{(0)}^2 + I_{(1)}^2 + I_{(2)}^2 + \dots + I_{(\kappa)}^2 + \dots};$$

- реактивну потужність за Фрізе визначають за формулою (16), а енергетичні показники також за виразами (1)–(6) і (11).

На основі отриманих вище теоретичних викладок, у наступній статті авторів будуть представлені чисельні розрахунки показників якості електроенергії для аварійних режимів короткого замикання, експерименти яких були проведені на одній з діючих ділянок системи тягового електропостачання постійного струму ДП «Придніпровська залізниця».

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Маевский, О. А. Энергетические показатели вентильных преобразователей [Текст] / О. А. Маевский. – М.: Энергия, 1978. – 320 с.
2. Зиновьев, Г. С. Прямые методы расчета энергетических показателей вентильных преобразователей [Текст] / Г. С. Зиновьев. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1990. – 220 с.
3. Костін, М. О. Зниження непродуктивних втрат електроенергії – найважливіша задача підвищення ефективності електроспоживання системами електричної тяги [Текст] / М. О. Костін, П. С. Михаліченко, А. В. Петров // Заліз. трансп. України. – 2009. – № 2. – С. 43-44.
4. Fryse, S. Wirk – Blind – und Scheinleistung in elektrischen stromkreisen min nichtsinusformigen Verfah von Strom und Spannung // Elektrotechn. Z. – 1932. – V. 25. – S. 596-599; V. 26. – S. 625-627; V. 27. – S. 700-702.
5. Костін, М. О. Методи визначення потужностей в системах зі стохастичними електроенергетичними системами [Текст] / М. О. Костін // Технічна електродинаміка. Тем. вип. ПСЕ. – 2006. – Ч. 6. – С. 3-8.
6. Петров, А. В. Методи спектрального аналізу випадкових коливань напруги та струму фідера тягової підстанції постійного струму [Текст] / А. В. Петров // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 52-56.
7. Костин, Н. А. Методы определения составляющих полной мощности в системах электрической тяги [Текст] / Н. А. Костин, А. В. Петров // Технічна електродинаміка. – 2011. – Вип. 5. – С. 39-43.
8. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] / И. С. Гоноровский. – М.: Сов. радио, 1977. – 608 с.
9. Электромагнитная совместимость электроприемников промышленных предприятий [Текст] / под ред. А. К. Шидловского. – К.: Наук. думка, 1992. – 236 с.
10. Основы теории цепей [Текст] / под ред. Г. В. Зевеке. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
11. Марпл-мл., С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения [Текст] / С. Л. Марпл-мл. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
12. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А. Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.
13. Фихтенгольц, Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления [Текст] : Т. 3 / Г. М. Фихтенгольц. – М.: Наука, 1966. – 656 с.

Надійшла до редколегії 21.03.2011.

Прийнята до друку 30.03.2011.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ЗМІННОГО СТРУМУ «ТЯГОВА МЕРЕЖА – ЕЛЕКТРОВОЗ».

3. ВМИКАННЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЕЛЕКТРОВОЗА В РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ; АНАЛІЗ НАПРУГ І СТРУМІВ У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Стаття є продовженням аналізу електричної схеми заміщення змінного струму «тягова підстанція – пристрій поперечної компенсації – тягова мережа – електровоз ДС 3» та впливу на силовий трансформатор, який знаходиться в режимі холостого ходу, в залежності від фідерної напруги та відстані електровоза від тягової підстанції. Виконано чисельні розрахунки та проаналізовано значення напруги та струмів у системі електропостачання.

Ключові слова: математична модель, тягова підстанція, фідерна напруга, пристрій поперечної компенсації, параметри тягової мережі, електровоз, трансформатор

Статья является продолжением анализа электрической схемы замещения переменного тока «тяговая подстанция – устройство поперечной компенсации – тяговая сеть – электровоз ДС 3» и влияния на силовой трансформатор, который находится в режиме холостого хода, в зависимости от фидерного напряжения и расстояния электровоза от тяговой подстанции. Выполнены численные расчеты и проанализированы значения напряжения и токов в системе электроснабжения.

Ключевые слова: математическая модель, тяговая подстанция, фидерное напряжение, параметры тяговой сети, электровоз, трансформатор

The article is a continuation of analysis of the electric equivalent AC circuit «traction substation – device of transversal compensation – electric-traction network – electric locomotive DS 3» and the influence on a power transformer in the idle mode, depending on the feeder voltage and the distance of an electric locomotive from a traction substation. The numeral calculations are performed and the voltage and current values in the electric power supply system are analyzed.

Keywords: mathematical model, traction substation, feeder voltage, parameters of electric-traction network, electric locomotive, transformer

1. Вступ

Ця робота є продовженням досліджень [1, 2], оскільки з практичної точки зору цікавим і потрібним є аналіз електромагнітних процесів не лише самого трансформатора електровоза при його вмиканні в режимі холостого ходу, але й процеси в елементах системи електропостачання. При цьому врахуємо роботу пристрою поперечної компенсації, а також режим коливання фідерної напруги і напруги на струмоприймачі електровоза. Розрахункові значення фідерної напруги приймали згідно ПТЕ та ГОСТ 6962-75: $U_{\min} = 19 \text{ кВ}$, $U_{\text{ном}} = 25 \text{ кВ}$, $U_{\max} = 29 \text{ кВ}$.

2. Електрична схема заміщення та математична модель системи

Електрична схема заміщення одноколійної ділянки двостороннього живлення для зазначених умов представлена на рис. 1.

Згідно рис. 1, математична модель електромагнітних процесів є наступною системою нелінійних рівнянь:

$$R_{\text{тп}} \cdot i_{\Phi}(t) + L_{\text{тп}} \cdot \frac{di_{\Phi}}{dt} + R_{\text{ппк}} \cdot i_{\text{ппк}}(t) + L_{\text{ппк}} \cdot \frac{di_{\text{ппк}}}{dt} + \frac{1}{C_{\text{ппк}}} \int_0^t i_{\text{ппк}}(t) dt = 1,1 \cdot e_1(t); \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & -R_{\text{ппк}} \cdot i_{\text{ппк}}(t) - L_{\text{ппк}} \cdot \frac{di_{\text{ппк}}}{dt} - U_c(0) - \frac{1}{C_{\text{ппк}}} \int_0^t i_{\text{ппк}}(t) dt + \\ & + (R_{\text{кп}} + R_{\text{р}}) \cdot i_{\mu}(t) + (L_{\text{кп}} + L_{\text{р}}) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + \\ & + (R_{\text{др}} + R_{\text{тр}}) \cdot i_{\mu}(t) + \\ & + (L_{\text{др}} + L_{\text{с}}) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + W_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = 0; \quad (2) \end{aligned}$$

$$i_{\phi}(t) - i_{\text{ппк}}(t) - i_{\mu}(t) = 0, \quad (3)$$

де індекс «ф» – фідер; «ппк» – означає параметри та електричні величини пристрою поперечної

чної компенсації, схема та параметри якого представлені в [2]; «тм» – тягова мережа.

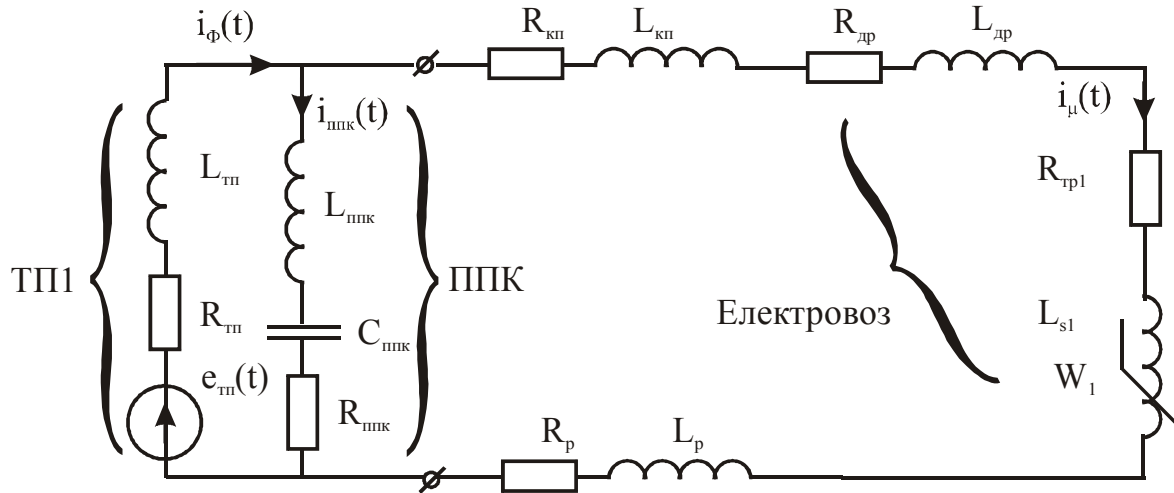


Рис. 1. Електрична схема заміщення фідерної ділянки з урахуванням пристрою поперечної компенсації та первинного кола тягового трансформатора електровоза в режимі холостого ходу

3. Результати чисельних розрахунків та їх аналіз

Характер зміни в часі перехідних струмів фідерного $i_{\phi}(t)$, пристрою компенсації $i_{\text{ппк}}(t)$ та тягової мережі $i_{\text{тм}}(t)$ в залежності від фідерної напруги і місця знаходження електровоза в міжпідстанційній зоні (тобто відстані ℓ) однаковий (рис. 2 – 4). Однак кидки зазначених струмів різні (табл. 1 та рис. 5): найбільші максимальні значення, які досягають ~ 830 А, спостерігаються у фідерного струму при U_{max} і $\ell = 20$ км. Найбільша «реакція» зменшення амплітуди від ℓ спостерігається для струму в тяговій мережі (рис. 5, в) і майже не змінюється кидок струму у вітці з пристроєм компенсації (рис. 5, б).

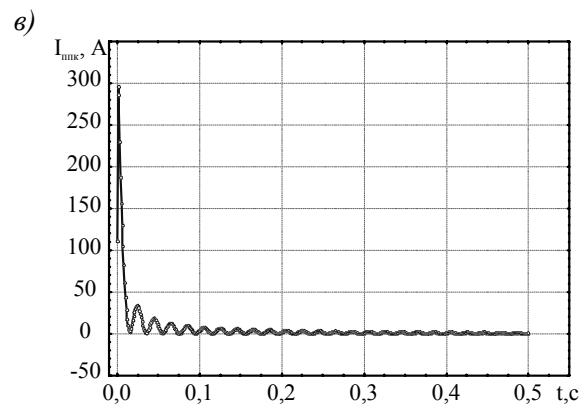
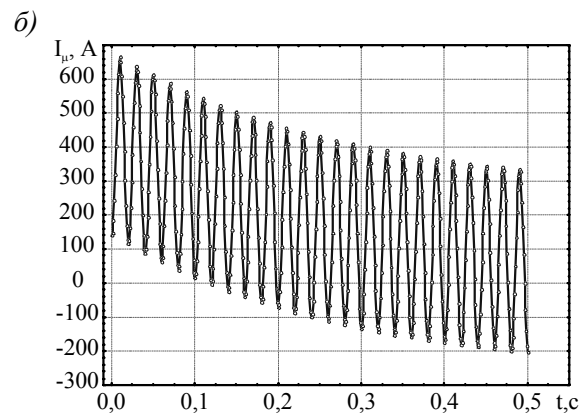
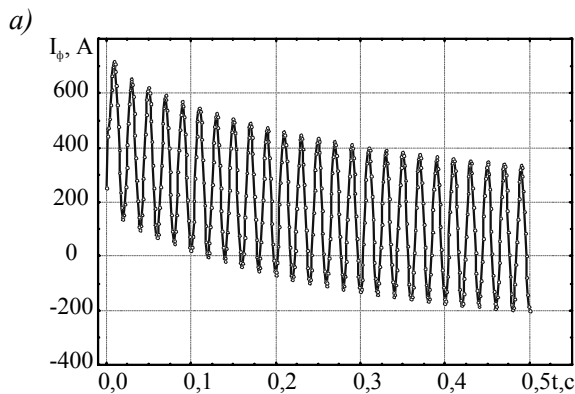


Рис. 2. Залежність струмів: фідерного (а) $i_{\phi}(t)$, у вітці пристрою поперечної компенсації (б) $i_{\text{ппк}}(t)$ та в тяговій мережі (в) $i_{\text{тм}}(t)$ від часу на відстані 1 км від тягової підстанції при фідерній напрузі $U_{\text{ном}}$

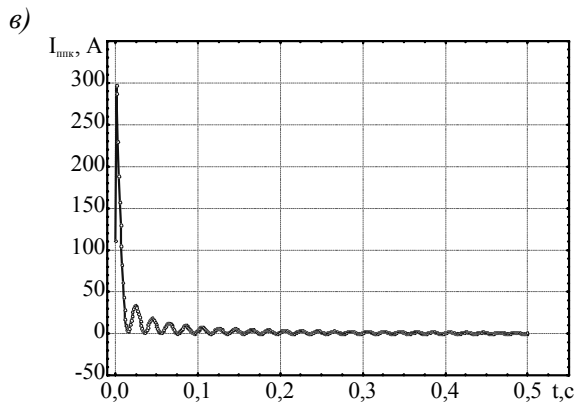
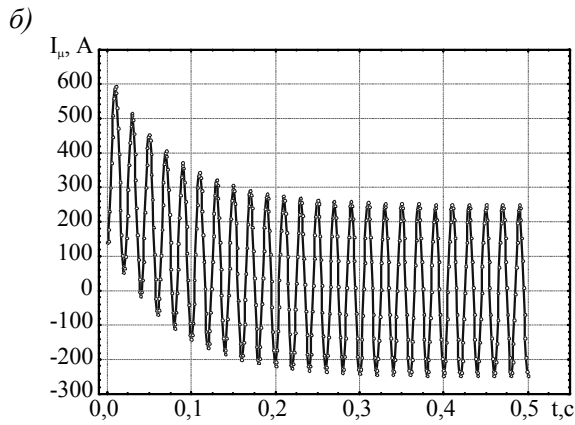
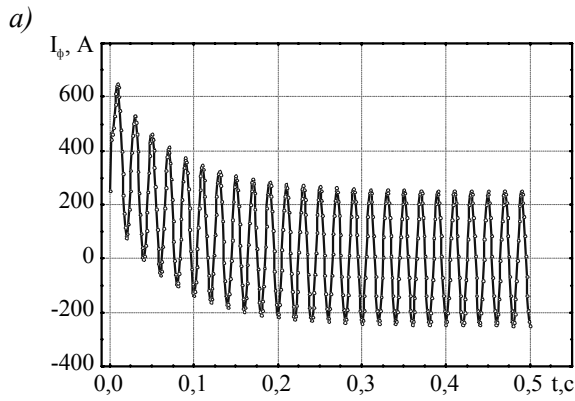


Рис. 3. Залежність струмів: фідерного (а) $i_\phi(t)$, у в'їзті пристрою поперечної компенсації (б) $i_{\text{ппк}}(t)$ та в тяговій мережі (в) $i_\mu(t)$ від часу на відстані 20 км від тягової підстанції при фідерній напрузі $U_{\text{ном}}$

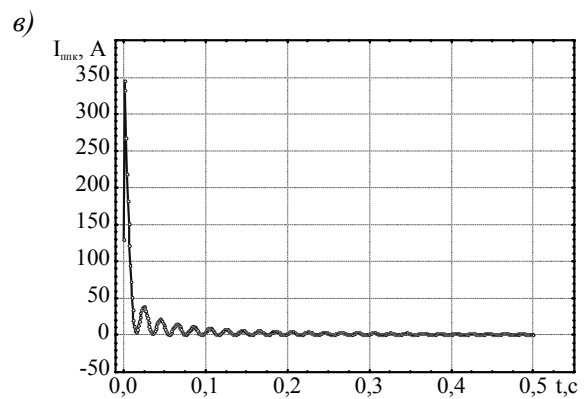
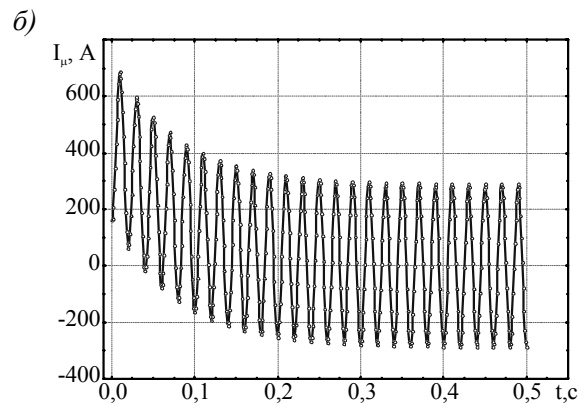
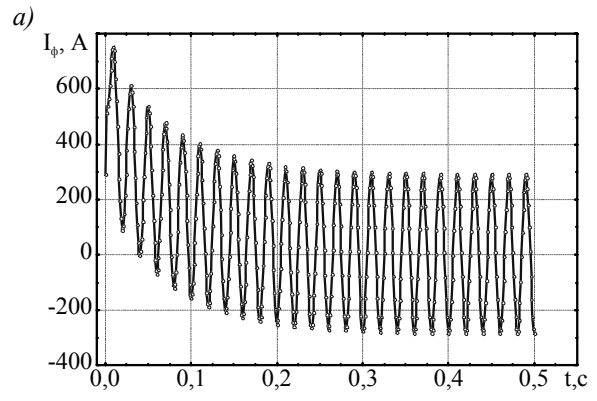


Рис. 4. Залежність струмів: фідерного (а) $i_\phi(t)$, у в'їзті пристрою поперечної компенсації (б) $i_{\text{ппк}}(t)$ та в тяговій мережі (в) $i_\mu(t)$ від часу на відстані 20 км від тягової підстанції при фідерній напрузі U_{max}

Таблиця 1

Фідерна напруга	$\ell = 1 \text{ км}$			$\ell = 20 \text{ км}$		
	Максимальні значення струмів, А					
	i_ϕ	$i_{\text{ппк}}$	i_μ	i_ϕ	$i_{\text{ппк}}$	i_μ
U_{min}	543,49	225,6	505,36	493,43	225,75	450,4
U_{nom}	715,02	296,73	664,86	649,15	296,9	592,6
U_{max}	829,53	344,36	771,33	753,3	344,6	687,5

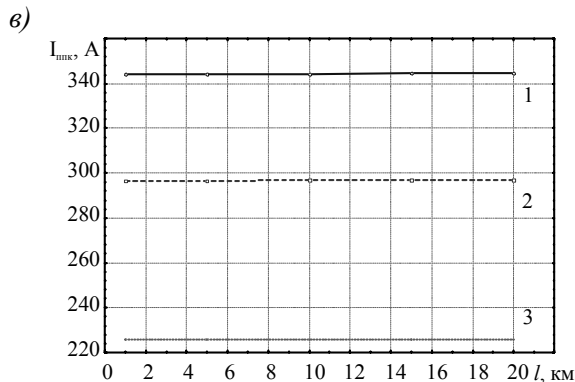
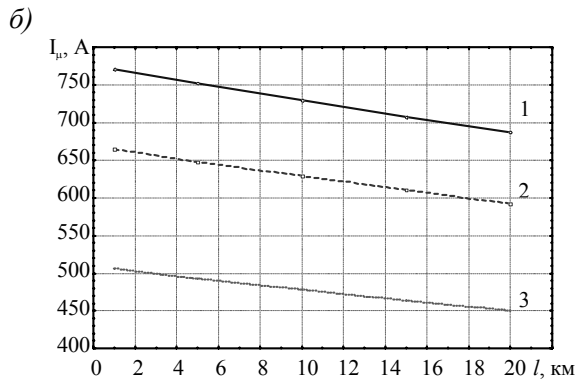
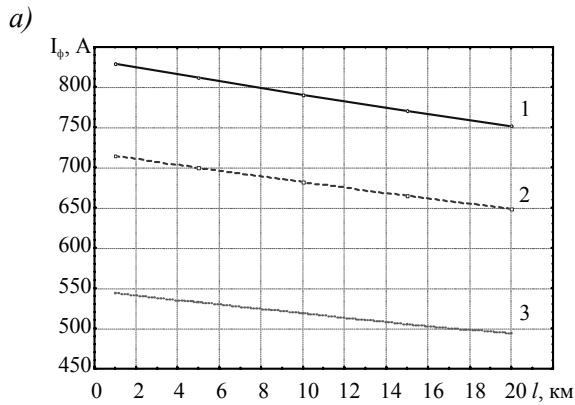


Рис. 5. Залежність максимальних значень струмів: фідерного (а) $i_\phi(t)$, у вітці пристрою поперечної компенсації (б) $i_\mu(t)$ та в тяговій мережі (в) $i_\mu(t)$ від часу на відстані 1 км від відстані ℓ від тягової підстанції при різних значеннях фідерної напруги: 1 – $U_{\max}$; 2 – $U_{\text{ном}}$; 3 – $U_{\min}$.

Як впливає із рис. 2 – 4, спостерігається особливий часовий характер зміни струму у вітці з пристроєм компенсації $i_\mu(t)$. Дійсно, якщо $i_\phi(t)$ та $i_\mu(t)$ загасають повільно (десь за 1,5...2,0 с), коливаючись, то $i_\mu(t)$ миттєво збільшується до 230 А, також миттєво зменшується до 25 А і далі швидко загасає за 0,15...0,2 с. Такі закономірності поведінки перехідних

струмів, певно, обумовлені нелінійністю досліджуваного електричного кола (рис. 1).

Цілком закономірно, за рахунок спаду напруги в проводах контактної мережі, напруга в останній зменшується при зростанні відстані ℓ (рис. 6); на відстані 20 км вона зменшилась майже на 3,5 кВ.

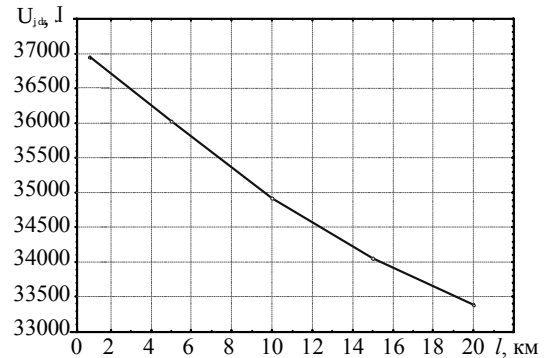


Рис. 6. Залежність напруги в контактній мережі та первинній обмотці трансформатора $U_{\text{ел}}$ від відстані 20...1 км від тягової підстанції при $U_{\text{ном}}$

За характером часової зміни напруги на ППК (рис. 7) така сама, як і струм у вітці (рис. 2 – 4, в).

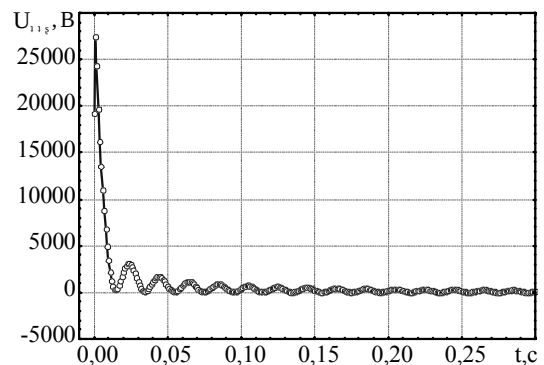


Рис. 7. Залежність напруги на ППК від часу у випадку, коли електровоз знаходиться на відстані $\ell = 20$ км від тягової підстанції

Висновок

Режим вмикання тягового трансформатора електровоза ДС 3 без його навантаження впливає не лише на характер зміни і кидки струму намагнічення самого трансформатора, але й на електромагнітні процеси в системі тягового електропостачання, що потрібно враховувати при аналізі процесів в системі електричної тяги.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Міщенко, Т. М. Математичне моделювання перехідних процесів в системі змінного струму «тягова мережа – електровоз». 1. Вмикання силового трансформатора електровоза в режимі холостого ходу; оцінка параметрів [Текст] / Т. М. Міщенко, А. І. Кійко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 36. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 96-100.
2. Міщенко, Т. М. Математичне моделювання перехідних процесів в системі змінного струму «тягова мережа – електровоз». 2. Вмикання силового трансформатора електровоза в режимі холостого ходу; визначення і аналіз кидка струму намагнічування [Текст] / Т. М. Міщенко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 37. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 96-100.

Надійшла до редколегії 11.05.2011.

Прийнята до друку 17.05.2011.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

В статті розглядаються аспекти побудови моделі для дослідження електромагнітних процесів у тяговій мережі постійного струму.

Ключові слова: тягова мережа, електромагнітні процеси, модель, амплітудно-частотна характеристика

В статье рассматриваются аспекты построения модели для исследования электромагнитных процессов в тяговой сети постоянного тока.

Ключевые слова: тяговая сеть, электромагнитные процессы, модель, амплитудно-частотная характеристика

In this article the aspects of model construction for exploring the electromagnetic processes in the electric-traction DC network are considered.

Keywords: electric-traction network, electromagnetic processes, model, amplitude-frequency characteristic

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Відомо, що система тягового електропостачання складається з декількох складових. Якщо тягові підстанції є статичними елементами, то тягова мережа має довжину у десятки кілометрів. Ця обставина спонукає до розгляду електромагнітних процесів у тяговій мережі з двох позицій: розгляд її як ланцюга із зосередженими параметрами або ланцюга з розподіленими параметрами. В теорії електропостачання електрифікованих залізниць [1] приймається, що тягова мережа є лінією із зосередженими параметрами як на постійному ($\omega = 0$), так і на змінному ($\omega = 2\pi f$, $f = 50$ Гц) струмі, а розрахунок енергообмінних процесів здійснюється за схемами заміщення, параметри яких визначаються множенням погонних параметрів (Ом/км, Гн/км) на відповідну довжину. В той же час у реальних умовах перетворення та споживання електричної енергії у системі тягового електропостачання в тяговій мережі (ТМ) відбувається циркуляція вищих гармонійних складових, які необхідно враховувати при моделюванні та розрахунку системи тягового електропостачання [2]. Поява ж електрорухомого складу з асинхронними двигунами ще більше ускладнює характер енергообмінних процесів у ТМ, оскільки частота роботи автономних інверторів має значення кГц, і частотний діапазон при цьому значно розширюється.

Відомо, що будь-яку лінію необхідно розглядати як довгу (тобто з розподіленими параметрами), коли її довжина співпадає або більша

довжини хвилі струму або напруги [3, 4]. Довжина хвилі визначається за формулою:

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f}, \quad (1)$$

де v – фазова швидкість, $v = 2,5 \cdot 10^8$ м/с [5];

T – період гармоніки струму або напруги.

Для прикладу розглянемо канонічні гармоніки в прийнятому для СТЕ діапазоні 2 кГц: для шестипульсового випрямляча: $\min$ – 300 Гц, $\max$ – 2400 Гц; для дванадцятипульсового випрямляча: $\min$ – 600 Гц, $\max$ – 2400 Гц. Довжини хвиль відповідно будуть складати: 833 км, 417 км, 104 км. Якщо ж прийняти до уваги, що робоча частота інвертора напруги електровоза з асинхронними двигунами сягає значення 1,0 кГц, а значить, частота спектру генерованих гармонік у тягову мережу буде ще більшою, та той факт, що для розрахунку енергообмінних процесів у ТМ необхідно враховувати 7 міжпідстанційних зон [6] (при середній відстані між тяговими підстанціями 16 км – $L = 7 \times 16 = 112$ км), то стає очевидним той факт, що електромагнітні процеси у ТМ необхідно розглядати як для лінії з розподіленими параметрами.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для розрахунку довгих ліній найбільш часто застосовують схему заміщення, наведену на рис. 1.

Така схема описується системою диференціальних рівнянь, кількість яких визначається в залежності від довжини елементарної ділянки

та довжини розрахункової зони. Наприклад, для вузлової схеми живлення ТМ при відстані між тяговими підстанціями 20 км довжина фідерної зони буде 10 км, а довжина розрахункової ділянки згідно [7] – 0,4 км. Звідси кількість диференціальних рівнянь для розрахунку електромагнітних процесів у контактній підвісці однієї колії складе $10 : 0,4 = 25$. Принагідно зазначимо, що в [8] довжина розрахункової ділянки прийнята – 0,2 км. Чим меншою буде довжина dx , тим більшим буде число розрахункових елементів і, відповідно, число диференціальних рівнянь.

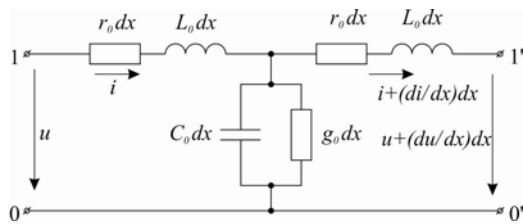


Рис. 1. Схема заміщення ділянки лінії довжиною dx

Тягова мережа включає в себе дві складові: контактну (КМ) та рейкову (РМ) мережі, кожна з яких має свої особливості побудови схеми заміщення. Особливістю розрахунку електромагнітних процесів у КМ є те, що основні реактивні елементи (L і C) зосереджені на тяговій підстанції. При цьому, оскільки двигуни електровозу приєднуються безпосередньо до КМ (на відміну від електровозів змінного струму) [9], то це підсилює взаємозв'язок режимів роботи електровоза та КМ, що в умовах фактично безперервних перехідних процесів (зміна режиму роботи електровоза, зміна елементів профілю, відриви струмоприймача, проходження стиків рейок, зміна режимів роботи системи зовнішнього електропостачання, аварійні процеси і т.ін.) може привести до виникнення локальних (місцевих) комутаційних перенапруг або коливальних процесів у взаємодіючій парі «електровоз – ТМ». Для розрахунку електромагнітних процесів та їх моделювання в КМ найбільше поширення має кінцево-елементна модель лінії з розподіленими параметрами [9 – 11], яка складається із послідовно з'єднаних елементів, зображених на рис. 1. При цьому передбачається, що зміна параметрів схеми відбувається лінійно, оскільки через низький периметр проводів КМ явище поверхневого ефекту не проявляється.

РМ, маючи мідний еквівалент двох рейкових ниток $800 \dots 1000 \text{ мм}^2$, має також і набагато

більші геометричні розміри. При проходженні по них змінного в часі струму щільність струму неоднорівномірна в перерізі рейки, що приводить до необхідності враховування явища поверхневого ефекту [9, 12]. В цьому випадку повздовжні елементи на схемі рис. 1 матимуть наступний вигляд (рис. 2):

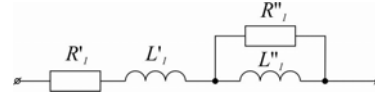


Рис. 2. Схема заміщення повздовжньої складової рейки

Приймаючи вищенаведене до уваги, схема заміщення ділянки лінії РМ довжиною dx матиме наступний вигляд:

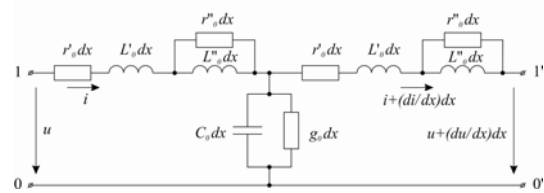


Рис. 3. Схема заміщення ділянки лінії РМ

Необхідно зазначити, що наведена вище схема приведена для однієї рейки. Математичне моделювання РМ повинне проводитись для кола з двох рейкових ниток, які мають загальний провідник (землю), а схема заміщення буде трьохпровідною. На рис. 3 показано, що опір землі дорівнює нулю.

В той же час у науково-технічній літературі, наприклад, у [13], пропонується враховувати опір земляного тракту, взаємодуковність між рейками, а також провідність і ємність між ними (рис. 4).

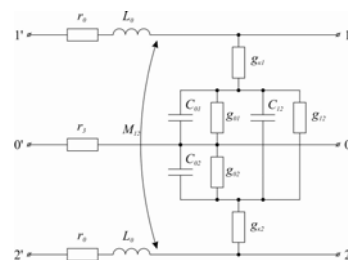


Рис. 4. Схема заміщення елемента РМ з урахуванням опору землі та взаємного впливу рейок:

r_3 – опір землі; M_{12} – взаємна індуктивність між рейками; g_{k1} , g_{k2} – провідності рейка-шпала

Підсумовуючи вищевикладене, для математичного моделювання електромагнітних процесів у тяговій мережі постійного струму повинна застосовуватись наступна схема заміщення:

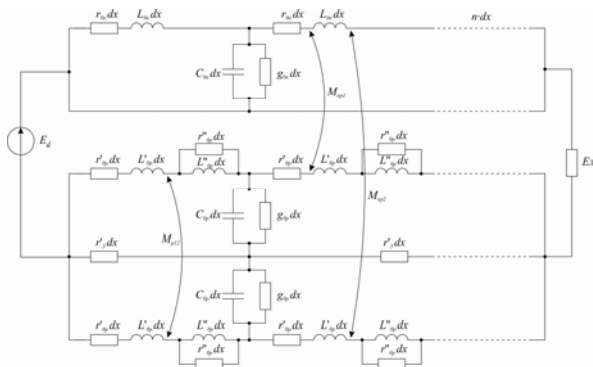


Рис. 5. Схема заміння елементарної ділянки ТМ (показана одна копія):

E – напруга на шинах тягової підстанції.

E_L – (електровоз) навантаження ТМ

РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ

З урахуванням вищевикладеного Simulink-модель матиме наступний вигляд:

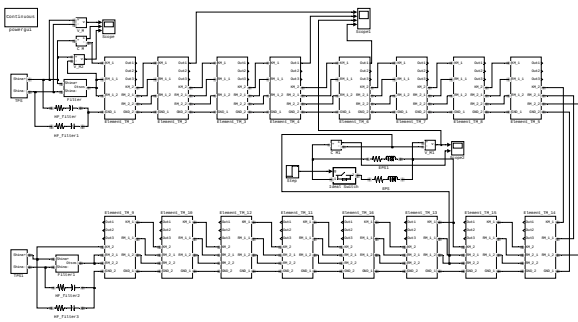


Рис. 6. Модель СТЕ з розподіленими параметрами

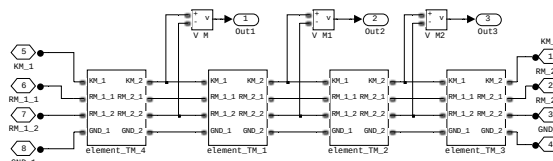


Рис. 7. Підмодель ділянки СТЕ довжиною 1 км з розподіленими параметрами

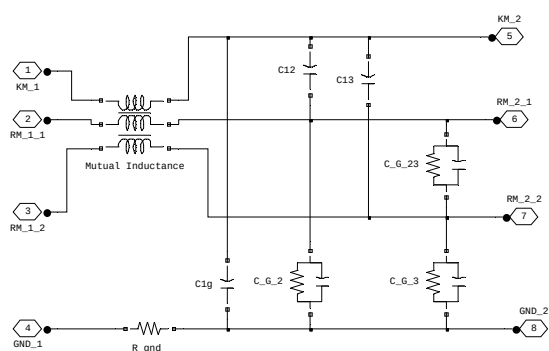


Рис. 8. Модель елементарної ділянки СТЕ з розподіленими параметрами

Для отримання амплітудно-частотної характеристики дослідної ділянки згідно методики

[1] в пакеті MATLAB Simulink розроблено також модель СТЕ з зосередженими параметрами, при цьому використано вихідні дані параметрів ємності та індуктивностей контурів згладжуючого фільтру тягової підстанції, вихідної ємності, питомий опір тягової мережі та опір електровозу в різних режимах (рис. 9, 10).

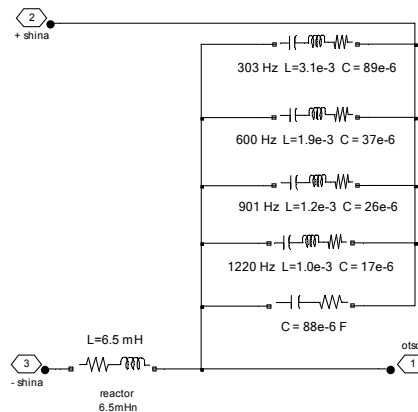


Рис. 9. Модель згладжуючого фільтру тягової підстанції

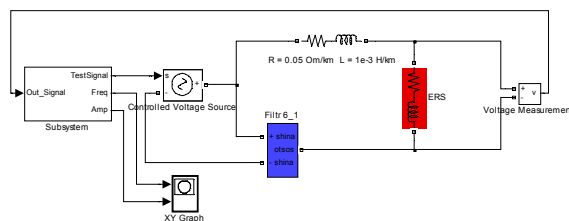


Рис. 10. Модель системи тягового електропостачання для отримання АЧХ з зосередженими параметрами

Результати моделювання представлено на рис. 11 та 12.

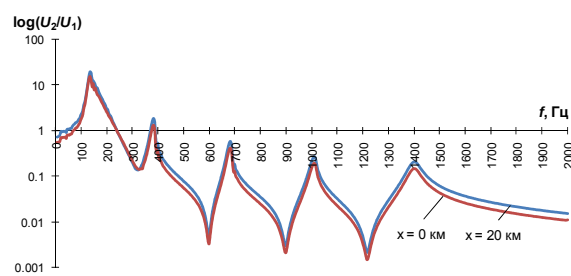


Рис. 11. Амплітудно-частотна характеристика тягової мережі для моделі з зосередженими параметрами

ВИСНОВКИ

Аналіз АЧХ показує, що опір електрорухомого складу (зміна режимів тяга – вибіг) не змінює характеристику, крім того, вона досить мало залежить від розташування електрорухомого складу на ділянці (0...20 км).

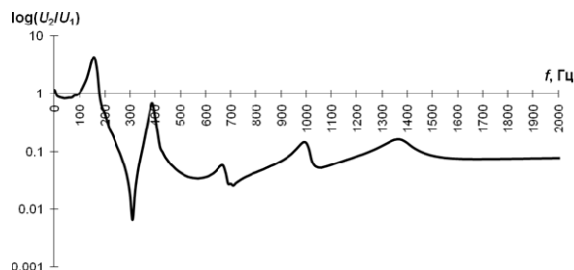


Рис. 12. Амплітудно-частотна характеристика тягової мережі для моделі з розподіленими параметрами

АЧХ пояснює переважуюче значення гармонік з частотами 100 та 200 Гц над іншими, оскільки в частотній області 100...200 Гц коефіцієнт передачі більше 1,0 та може досягати десятків. Подібне підсилення можливе і на близькій до 400 Гц частоті.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К. Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
2. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость [Текст] / М. П. Бадер. – М.: УМК МПС, 2002. – 638 с.
3. Бессонов, А. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст]. – 11-е изд. / А. А. Бессонов – М.: Гардарики, 2006. – 701 с.
4. Демирчян, К. С., Теоретические основы электротехники. [Текст] / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин. – СПб.: Питер, 2008. – 456 с.
5. Радченко, В. Д. Техника высоких напряжений устройств электрической тяги [Текст] / В. Д. Радченко. – М.: Транспорт, 1975. – 360 с.

6. Митрофанов, А. Н. Моделирование процессов прогнозирования и управления электропотреблением тяги поездов [Текст] / А. Н. Митрофанов. – Самара: Самарская гос. акад. путей сообщения, 2005. – 168 с.
7. Осипов, С. И. Теория электрической тяги [Текст] / С. И. Осипов, С. С. Осипов, В. П. Феокистов. – М.: Маршрут, 2006. – 436 с.
8. Сербиненко, Д. В. Электромагнитные процессы в тяговой сети и их влияние на показатели качества электрической энергии [Текст] / Д. В. Сербиненко, М. С. Хлопков // Вестник ВНИИЖТ. – 2003. – № 3. – С. 38-42.
9. Моделирование электромеханической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом [Текст] / Ю. А. Бахвалов [и др.]. – М.: Транспорт, 2001. – 286 с.
10. Тихменев, Б. Н. Исследование способа демпфирования высокочастотных колебаний в тиристорных преобразователях [Текст] / Б. Н. Тихменев, В. Д. Кондратов, Н. Н. Горин // Сб. тр. ВНИИЖТ. – 1981. – № 642. – С. 94-113.
11. Савоськин, А. Н. Математическое моделирование электромагнитных процессов в динамической системе «контактная сеть – электровоз» [Текст] / А. Н. Савоськин, Ю. М. Кулинич, А. С. Алексеев // Электричество. – 2002. – № 2. – С. 29-35.
12. Косарев, Б. И. Электробезопасность в системе электроснабжения железных дорог [Текст] / Б. И. Косарев, Я. А. Зельвянский, Ю. Т. Сибаров. – М.: Транспорт, 1983. – 200 с.
13. Тарасов, Е. М. Принципы распознавания в классификаторах состояний рельсовых линий [Текст] / Е. М. Тарасов. – М.: Маршрут, 2004. – 200 с.

Поступила в редколлегию 22.04.2011.

Принята к печати 28.04.2011.

ДОДАТКОВІ ВИТРАТИ ЗАЛІЗНИЦІ ПРИ ВИНИКНЕННІ ОБМЕЖЕНЬ ШВИДКОСТІ РУХУ НА КРУТИХ ЗАТЯЖНИХ ПІДЙОМАХ

Наведено результати досліджень щодо витрат залізниці, пов'язаних із масами вантажних поїздів, за умови виникнення обмежень швидкості руху на крутих затяжних підйомах.

Ключові слова: обмеження швидкості, додаткові витрати, затяжний підйом, маса вантажного поїзда

Изложены результаты исследований относительно потерь железных дорог, связанных с массами грузовых поездов, при возникновении ограничений скорости движения на крутых затяжных подъемах.

Ключевые слова: ограничение скорости, дополнительные затраты, затяжной подъем, масса грузового поезда

Research results of losses of the railways, related to weights of cargo trains, at occurrence of traffic speed restrictions on abrupt long up-grades are presented.

Keywords: speed restriction, additional expenses, long up-grade, weight of cargo train

1. Загальні положення

Головний показник продуктивності роботи залізниці – її провізна спроможність (Г, млн т/рік), яка визначається двома параметрами: масою вантажних поїздів та пропускною спроможністю залізниці у вантажному русі [1].

Обмеження швидкості руху поїздів не сприяють ефективному використанню пропускної і провізної спроможності ділянок та раціональному застосуванню рухомого складу.

Розглянемо, як обмеження швидкості руху впливають на величину розрахункової маси вантажного поїзда. У загальному випадку масу вантажного поїзда можна визначати за виразом [2]:

$$Q = \frac{F_{kp} - P \cdot g \cdot (\omega_0' + i_{кер})}{(\omega_0'' + i_{кер}) \cdot g}, \quad (1)$$

де F_{kp} – сила тяги локомотива;

P – розрахункова маса локомотива;

g – прискорення вільного падіння;

ω_0' – питомий опір локомотива;

ω_0'' – питомий опір вагонів;

$i_{кер}$ – керівний ухил.

2. Взаємозв'язок між обмеженнями швидкості та масами вантажних поїздів

У випадках, коли встановлюється обмеження швидкості або маси поїзда за нагріванням тягових двигунів, розрахунок маси виконується також за виразом (1), але розрахункові значення сили тяги та швидкості встановлюються мето-

дом підбору. На ділянках зі складним профілем маса поїзда підбирається таким чином, щоб перегрів наприкінці ділянки з крутим підйомом дорівнював максимально допустимому. Температура початкового перегріву двигунів на підходах до ділянок з затяжними керівними ухилами, як правило, в середньому дорівнює 50...70 °С [3].

Відомо, що визначаючи масу рухомого складу, необхідно дотримуватися такої умови: найменша швидкість руху не повинна бути меншою за розрахункову швидкість V_p , що встановлена для даного типу локомотива [2]. Якщо ж $V_{обм} < V_p$, то маса поїзда повинна коригуватися. Приклад обмеження швидкості, що може вплинути на масу вантажного поїзда, наведено на рис. 1 у вигляді ділянки з затяжним підйомом, на якому безпосередньо й виникло обмеження.

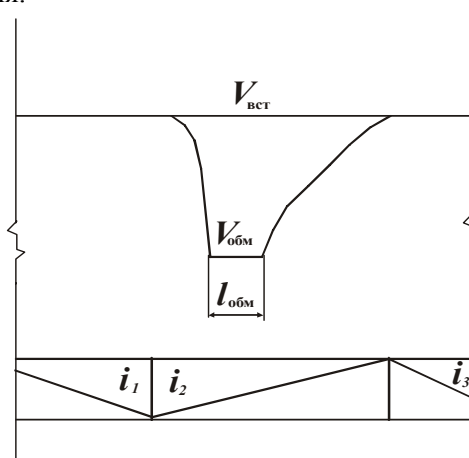


Рис. 1. Приклад ділянки з діючим обмеженням швидкості

Постає питання щодо встановлення ділянок залізниці, на яких виникнення обмежень швидкості руху може призвести до необхідності коригування маси вантажного поїзда або надання додаткових локомотивів-штовхачів. З цією метою виконано ряд тягових розрахунків. Маса вантажного поїзда приймалася 3...6 тис. т, рівень швидкості, що обмежує рух – 25 і 40 км/год (як найнесприятливіші серед діючих обмежень на залізницях України), довжина ділянки обмеження – 1 км. Окремі результати представлені на рис. 2 і 3 для вантажного локо-

мотива ВЛ11. З графіків видно, на яких зatoryжних підйомах виникнення обмеження швидкості з допустимим рівнем 25 км/год (рис. 2) і 40 км/год (рис. 3) призведе до необхідності коригування маси. Так, наприклад, на зatoryжному підйомі з крутістю 8 ‰ виникнення обмеження швидкості 25 км/год не дозволить формувати поїзди масою більше 4,3 тис. т, а при збільшенні маси потрібно буде надавати додаткові локомотиви. Виникнення обмеження швидкості руху 40 км/год при тих же умовах обмежить масу вантажного поїзда до 4,5 тис. т.

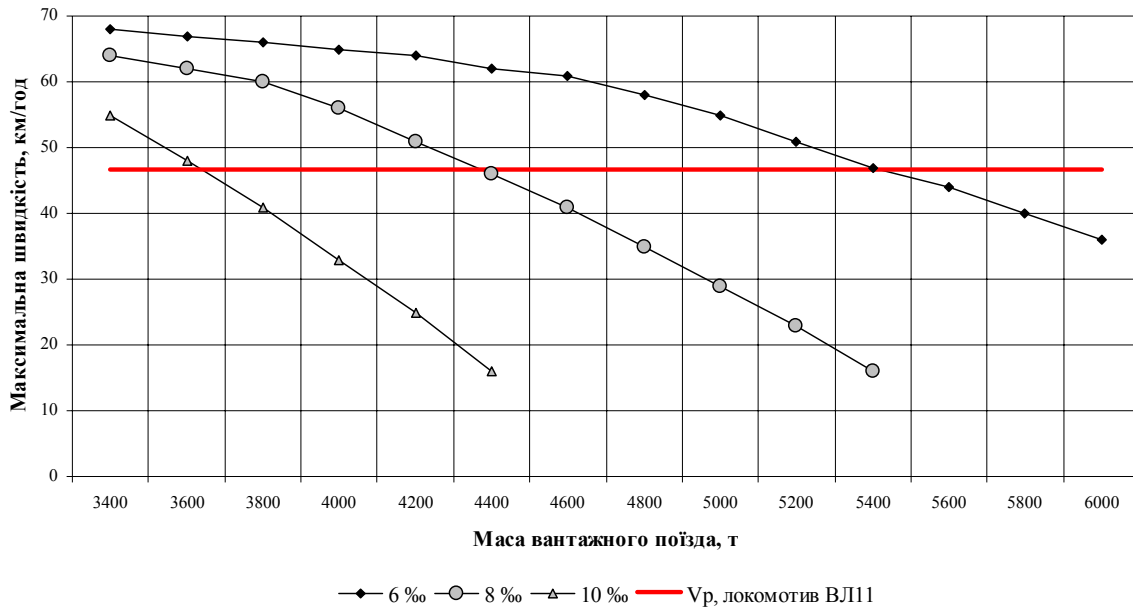


Рис. 2. Обмеження маси вантажного поїзда при виникненні обмеження швидкості руху 25 км/год на зatoryжному керівному ухилі

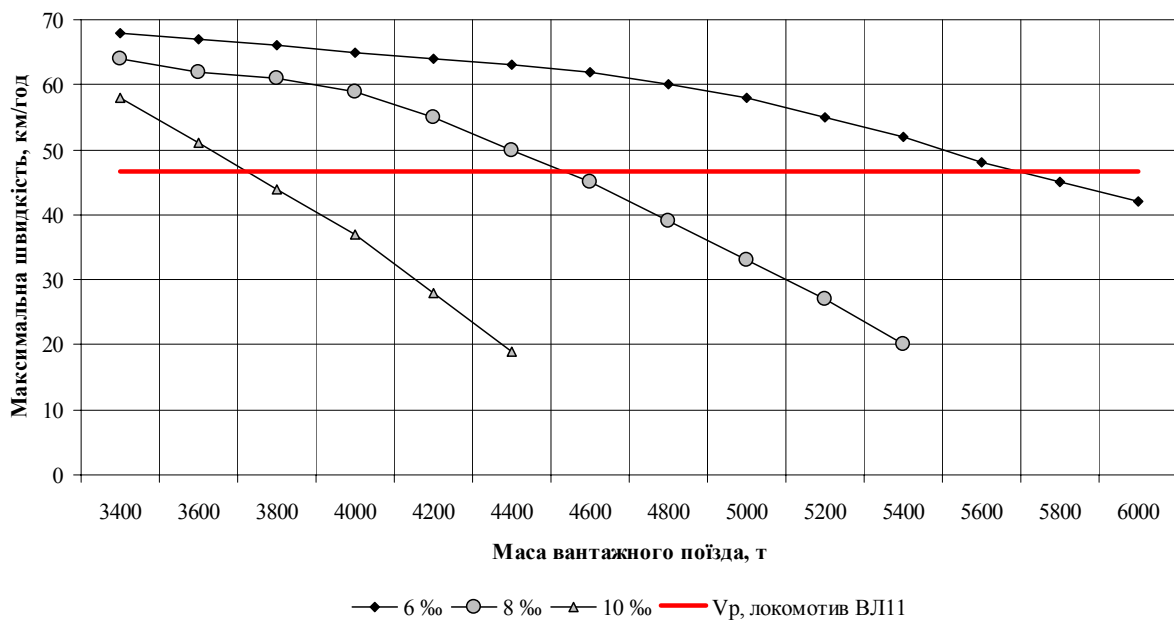


Рис. 3. Обмеження маси вантажного поїзда при виникненні обмеження швидкості руху 40 км/год на зatoryжному керівному ухилі

3. Додаткові витрати залізниці

На залізницях України при виникненні обмежень швидкості руху практикують надання локомотивів-штовхачів, щоб запобігти зменшенню маси вантажного поїзда. При цьому виникають додаткові витрати, пов'язані з роботою локомотивів-штовхачів, локомотивних бригад, що їх обслуговують, та додатковим споживанням паливно-енергетичних ресурсів. Також виникають додаткові витрати, що пов'язані із зупинкою поїзда на станціях, де вантажному поїзду надається чи відчіпляється штовхач.

У загальному вигляді вказану складову річного економічного ефекту від усунення обмеження швидкості можна записати так:

$$C_Q = 365 \cdot n_{\text{вант}} \cdot (B_A + B_{\text{л}} + B_{\text{бр}} + B_{\text{зуп}}), \quad (2)$$

де $n_{\text{вант}}$ – кількість пар вантажних поїздів, що пропускає ділянка залізниці за добу;

B_A – додаткові витрати на паливно-енергетичні ресурси, тис. грн;

$B_{\text{л}}$ – додаткові витрати на локомотиви-штовхачі, що надаються, тис. грн;

$B_{\text{бр}}$ – додаткові витрати на локомотивні бригади, що обслуговують локомотиви-штовхачі, тис. грн;

$B_{\text{зуп}}$ – додаткові витрати, що зумовлені зупинками на станціях для надання чи відчеплення штовхачів, тис. грн.

Визначення перелічених складових наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Визначення додаткових витрат, що пов'язані з масою вантажного поїзда

Величина	Розрахункова формула	Позначення
B_A	$B_A = A_{\text{дод}} \cdot e_e$	$A_{\text{дод}}$ – додаткові витрати електроенергії (кВт·год) або дизельного палива (т); e_e – вартість паливно-енергетичних ресурсів, тис. грн; t – час, на який потрібно надати локомотив-штовхач, год; $e_{\text{л}}$ – вартість 1 поїздо-години, тис. грн; $e_{\text{бр}}$ – вартість 1 бригадо-години, тис. грн; $e_{\text{зуп}}$ – вартість однієї зупинки поїзда, тис. грн; K_e – витрати електроенергії на 1 т-км механічної роботи, кВт·год (а при тепловозній тязі – витрати палива на 1 т-км механічної роботи, т); $\Delta R_{\text{мех}}$ – зміна механічної роботи сили тяги локомотива при наданні локомотива-штовхача, т-км.
$B_{\text{л}}$	$B_{\text{л}} = t \cdot e_{\text{л}}$	
$B_{\text{бр}}$	$B_{\text{бр}} = t \cdot e_{\text{бр}}$	
$B_{\text{зуп}}$	$B_{\text{зуп}} = 2 \cdot e_{\text{зуп}}$	
$A_{\text{дод}}$	$A_{\text{дод}} = K_e \cdot \Delta R_{\text{мех}}$	

Висновки

Запропоновану методику оцінки додаткових витрат залізниці при використанні локомотивів-штовхачів рекомендовано враховувати при оцінці економічної ефективності від усунення обмежень швидкості руху поїздів. У роботах [4 – 6] більш детально розглянуто питання визначення додаткових витрат залізниці від дії обмежень швидкості. Застосування викладеної методики дозволить приймати раціональні рішення при плануванні ремонтно-колійних робіт на залізницях України.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст] : Затв.: Наказ Мінтрансу України № 411 від 20.12.1996 р. із змінами та доповненнями. – К., 2003. – 133 с.
- Гребенюк, П. Т. Тяговые расчеты [Текст] : справочник / П. Т. Гребенюк, А. Н. Долгунов, А. И. Скворцова. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.

- Кантор, И. И. Продольный профиль пути и тяга поездов [Текст] / И. И. Кантор. – М.: Транспорт, 1984. – С. 207.
- Чернишова, О. С. Підвищення ефективності заходів зі зменшення обмежень швидкості руху поїздів, зумовлених станом залізничної колії [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06 / Чернишова Оксана Сергіївна. – Д., 2010. – 208 с.
- Курган, М. Б. Додаткові витрати залізниці, зумовлені виникненням обмежень швидкості [Текст] / М. Б. Курган, О. С. Чернишова. // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 70-ї Міжн. наук.-практ. конф. – Д., 2010. – С. 187-188.
- Курган, М. Б. Раціональна послідовність усунення обмежень швидкості руху поїздів [Текст] / М. Б. Курган, О. С. Чернишова // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. 69-ї Міжн. наук.-практ. конф. – Д., 2009. – С. 157-158.

Надійшла до редколегії 19.05.2011.
Прийнята до друку 25.05.2011.

ВПЛИВ ДОВЖИНИ ПРЯМОЇ ВСТАВКИ НА ДОПУСТИМІ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ СУМІЖНИМИ СТІЛОЧНИМИ ПЕРЕВОДАМИ, УКЛАДЕНИМИ ЗА ПЕРШОЮ СХЕМОЮ

Наведено результати експериментального дослідження впливу довжини прямої вставки між суміжними стрілочними переводами, укладеними за першою схемою, на допустимі за критерієм міцності переводу швидкості руху поїздів та напружено-деформований стан таких переводів.

Ключові слова: стрілочний перевід, пряма вставка, швидкості руху поїздів

Приведены результаты экспериментального исследования влияния длины прямой вставки между смежными стрелочными переводами, уложенными по первой схеме, на допустимые по критерию прочности перевода скорости движения поездов и напряженно-деформированное состояние таких переводов.

Ключевые слова: стрелочный перевод, прямая вставка, скорости движения поездов

The results of experimental research of influence of length of a direct insert between adjacent switches laid according to the first scheme on admissible speeds of movement of trains by criterion of switch strength and the strained-and-stressed state of such switches are presented.

Keywords: switch, direct insert, speeds of movement of trains

Відповідно до вимог «Інструкції з улаштування та утримання колії залізниць України» (ЦП/0138) [1] між двома суміжними стрілочними переводами, розташованими на прямій ділянці, повинен бути відрізок колії (пряма вставка d), довжина якого залежить від встановленої максимальної швидкості руху поїздів, положення одного переводу відносно іншого та їх сторонності. Відсутність прямої вставки або її недостатня довжина, що характерно для значної кількості суміжних переводів, укладених навіть на головних коліях, розглядається як порушення [1], яке повинне усуватися під час їх ремонтів. Збільшити ж довжину прямої вставки між суміжними переводами можна тільки одним способом – розсунувши їх.

Практично завжди зміна положення одного переводу зумовлює переміщення кількох сусідніх (інколи кількість переводів, які необхідно перемістити, досягає 10), тому в кошторис такої реконструкції станції, крім витрат на переміщення та ремонт переводів, обов'язково включаються кошти на розробку проекту та перебудову контактної мережі й кабельного господарства СЦБ, у результаті чого вартість усунення порушення ЦП/0138, пов'язаного з розташуванням переводів, суттєво перевищує вартість ремонту переводу. На сьогоднішній день ґрунтовних досліджень впливу довжини прямої вставки між суміжними переводами на витрати з їх утримання та безпеку руху поїздів немає, чим і пояснюється той факт, що недоліки роз-

ташування переводів усуваються аж ніяк не в першу чергу.

Об'єктом цього дослідження є пряма вставка між одиночними стрілочними переводами типу Р65 на залізобетонних брусах. Сьогодні в Україні ці переводи не мають альтернативи з погляду гарантування безпеки руху поїздів та вартості й тому практично витіснили з головних та приймально-відправних колій вітчизняних залізниць переводи на дерев'яних брусах.

У статті наведено результати експериментального дослідження впливу довжини прямої вставки на допустимі за критерієм міцності переводу швидкості руху поїздів суміжними стрілочними переводами, укладеними за першою схемою.

Призначення прямої вставки

Відомо, що конструкція стрілочного переводу суттєво відрізняється від звичайної колії. До особливостей переводу можна віднести:

- наявність гостряків та хрестовини, що забезпечують перекочування колеса з одного елемента переводу на інший, наслідком чого є поява вертикальних нерівностей в їх межах;
- значну кількість стиків, розташованих не в одному створі;
- відсутність підвищення зовнішньої рейки й перехідних кривих у межах перевідної кривої, її невеликі радіус (у найбільш масових переводах марки 1/11 і крутіше) і довжина;

– змінну по довжині переводу масу, що взаємодіє з колісною парою рухомого складу (гостряк разом з рамною рейкою, тільки гостряк, звичайна рейка, хрестовина, контррейка);

– наявність контррейки, яка, разом з вусовиком хрестовини, зумовлює горизонтальні зміщення колісних пар;

– неоднакову по довжині переводу жорсткість підрейкової основи, спричинену різними довжинами брусів та відстанями між ними.

Більшість цих особливостей разом з відступами від норм утримання за шириною колії, положенням у плані та осіданнями призводять до появи неусталеного режиму руху екіпажів переводом, який супроводжується коливаннями значної амплітуди.

Дуже рідко стрілочні переводи укладаються поодиноці, найчастіше вони розташовуються групами, близько один біля одного. Тому думка, що амплітуди коливань екіпажу, які виникли на одному переводі, можуть збільшуватися за рахунок дії збудовуючих факторів наступного, є загальноприйнятною.

Зрозуміло, що коливання екіпажів із значною амплітудою призводять до погіршення плавності ходу поїздів, збільшення вартості утримання переводів та, як крайній випадок, порушень безпеки руху, тому їх необхідно гасити шляхом влаштування між переводами прямої вставки. У разі зустрічного розташування суміжних переводів (схеми 1 і 2) пряма вставка повинна також покращувати умови впису-

вання рухомого складу під час руху з бокового напрямку одного переводу на боковий напрямком іншого.

Крім цього, наявність прямої вставки між переводами полегшує утримання ізоляційних стиків, розміщених у передньому вильоті рамних рейок, та дає можливість коригувати положення переводів під час їх ремонту.

Аналіз результатів випробувань несуміжних стрілочних переводів на міцність

За останні роки кафедрою колії та Колієвипробувальною ГНДЛ ДПТУ виконано багато натурних випробувань на міцність нових стрілочних переводів різних конструкцій. У табл. 1 наведено найбільші максимальні ймовірні або спостережені значення показників напружено-деформованого стану переводів типу Р65 на залізобетонних брусах [2 – 6] (перелік показників та їх граничні значення прийнято за [7]).

Ці дані характеризують усі конструкції стрілочних переводів на залізобетонних брусах, що застосовуються сьогодні на головних та приймально-відправних коліях залізниць України: від найсучасніших проектів Дн 300 та Дн 355 до розроблених ще в Радянському Союзі проектів 1740 та 2215 (переводи марки 1/6 відсутні в цьому переліку, тому що їх заборонено укладати на головних коліях та дуже рідко використовують на приймально-відправних).

Таблиця 1

Показники напружено-деформованого стану стрілочних переводів типу Р65 різних конструкцій на залізобетонних брусах

Показник	Гранична величина	Максимальні швидкості, досягнуті під час випробувань по прямому та боковому напрямках (км/год), для переводу (марка і проект)					
		1/9	1/11	1/9	1/11	1/11	1/11
		2215	1740	65109Ж-01	65111Ж	Дн 300	Дн 355
		140/–	140/40	120/50	140/50	160/50	140/50
Показники, для яких визначено допустимі величини							
Напруження, МПа:							
– кромка підшви гостряка	275	<u>161.0</u> –	<u>188.0</u> 209,7	<u>142.0</u> 214,3	<u>121.7</u> 181,5	<u>195.5</u> 259,0	<u>197.3</u> 258,8
– кромка підшви рейки	240	<u>145.0</u> –	<u>180.0</u> 171,3	<u>127.7</u> 203,2	<u>143.6</u> 208,3	<u>168.5</u> 178,3	<u>166.8</u> 213,5
– неробоча грань головки контррейки	330	–	–	<u>201.5</u> –	<u>185.7</u> –	–	<u>190.5</u> 304,2
Горизонтальна (поперечна) сила, що діє на рейку, кН	150	<u>87.0</u> –	<u>97.8</u> 91,5	<u>40.4</u> 132,2	<u>55.2</u> 110,4	<u>86.1</u> 107,7	– 132,2
Горизонтальне переміщення бруса, мм	2,0	<u>0.8</u> –	<u>0.8</u> 0,6	<u>0.4</u> 0,7	–	– 0,2	– 1,0
Показники, для яких визначено рекомендовані величини							
Вертикальна сила, що діє на рейку, кН	200	<u>190.6</u> –	<u>166.0</u> 176,9	<u>198.2</u> 204,0	<u>194.0</u> 195,7	<u>185.9</u> 196,6	<u>194.8</u> 195,2
Горизонтальне переміщення рейкових елементів, мм	6,0	<u>2.5</u> –	<u>2.5</u> 3,7	<u>1.2</u> 3,4	<u>2.2</u> 3,3	<u>3.4</u> 5,6	<u>3.5</u> 6,6

Примітки: 1. У чисельнику наведено дані для прямого напрямку, у знаменнику – для бокового.

2. Відповідно до [7] перевищення показником, що контролюється, допустимої величини є підставою для обмеження швидкості руху поїздів переводом, перевищення рекомендованого значення не потребує обмеження швидкості руху.

Наведені в табл. 1 дані дозволяють зробити висновок, що для бокового напрямку п'ять з чотирьох показників, для яких визначені допустимі величини (вони зумовлюють допустимі швидкості руху поїздів переводом), суттєво більші, ніж для прямого. Кількісно цей висновок підтверджено табл. 2, у якій містяться середні за всіма випробуваними переводами коефіцієнти запасу (відношення граничної величини до максимальної, зареєстрованої під час випробувань) для кожного з контрольованих показників.

Таблиця 2
Середні значення коефіцієнта запасу показників напружено-деформованого стану переводу

Показник	Напрямок	
	боковий	прямий
Показники, для яких визначено допустимі величини		
Напруження:		
– кромка підшви гостряка	1,22	1,64
– кромка підшви рейки	1,23	1,55
– неробоча грань головки контррейки	1,08	1,71
Горизонтальна (поперечна) сила, що діє на рейку	1,31	2,05
Горизонтальне переміщення бруса	3,33	2,86
Показники, для яких визначено рекомендовані величини		
Вертикальна сила, що діє на рейку	1,03	1,06
Горизонтальне переміщення рейкових елементів	1,33	2,31

З цього випливає, що з позиції міцності переводу погіршення показників динаміки рухомого складу, ймовірно під час прямовання суміжними переводами, небезпечніше під час руху боковим напрямком, ніж прямим. Таким чином, випробування суміжних переводів на міцність за умови прямовання рухомого складу боковими напрямками обох переводів потрібно виконати в першу чергу.

Методика проведення дослідження та обробки даних

Суміжні стрілочні переводи можуть розташовуватися за однією з п'яти схем, наведених на рис. 1 [1]. З рисунка зрозуміло, що прямовання поїзда з бокового напрямку одного переводу на боковий напрямок сусіднього можливе тільки за умови розміщення переводів за першою та другою схемами (найчастіше поїзди приймаються та відправляються по переводах, розташованих за першою схемою).

Метою дослідження є визначення впливу довжини прямої вставки на допустимі за критерієм міцності переводу швидкості руху поїздів суміжними стрілочними переводами, укладеними за першою схемою, за умови руху по бокових напрямках обох переводів.

Теоретично пряма вставка між суміжними

переводами може мати будь-яку довжину в інтервалі від нескінченності (на практиці – довжиною з перегін) до 0. Не підлягає сумніву, що із зменшенням довжини прямої вставки взаємний вплив суміжних переводів збільшується, досягаючи, найімовірніше, максимуму у випадку, коли пряма вставка між переводами відсутня (очевидно, що мінімум впливу повинен спостерігатися за умови дуже великої прямої вставки). Тому визначення й порівняння між собою допустимих швидкостей руху поїздів суміжними переводами, що властиві для крайніх значень довжини прямої вставки ($d = 0$ і $d = \infty$), дозволяє чітко відповісти на запитання впливає довжина прямої вставки на допустимі швидкості чи ні. На практиці ця ідея була реалізована шляхом натурних випробувань на міцність суміжних стрілочних переводів, розташованих без прямої вставки, за умови руху по бокових напрямках обох переводів ($d = 0$) та тільки по боковому напрямку дослідного переводу ($d = \infty$).

Одержані під час випробувань дані дозволили також визначити вплив довжини прямої вставки на напружено-деформований стан суміжного переводу, укладеного за першою схемою, та додатково оцінити стан дослідних переводів і, як наслідок, їх придатність для проведення випробувань (якщо дані, одержані за циклу $d = \infty$, вимагають обмеження швидкості руху поїздів, то такий перевід не є справним і для випробувань не підходить). Також для підвищення надійності результатів було проведено два експерименти: досліджено вплив довжини прямої вставки під час руху дослідного поїзда з переводу № 43 на перевід № 29 та навпаки.

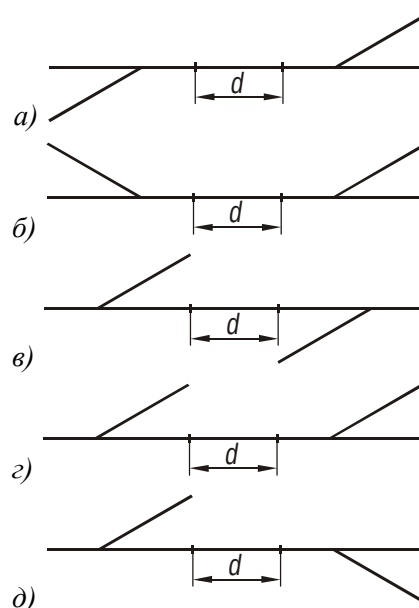


Рис. 1. Схеми розташування суміжних стрілочних переводів: а – 1, б – 2, в – 3, г – 4, д – 5

Дослідні стрілочні переводи розташовані на головній парній колії станції Запоріжжя-Вантажне Придніпровської залізниці (№ 29 і № 43). Це переводи типу Р65, марки 1/11, проекту 1740, на залізобетонних брусах. По прямому напрямку переводів (як і по колії) для пасажирських поїздів встановлена максимальна швидкість 100 км/год, для вантажних – 80 км/год; по боковому – 40 км/год (нормативна допустима швидкість по боковому напрямку переводу проекту 1740 [1]) для обох категорій поїздів. Переважна більшість поїздів рухається по прямому напрямку дослідних переводів, по бокових напрямках обох переводів виконується здебільшого тільки маневрова робота. Фрагмент схеми станції із зображеними на ній дослідними переводами наведено на рис. 2.

Дослідження проводилося в період з 30 листопада до 18 грудня 2007 року. На його початок по дослідних переводах було пропущено близько 230 млн т вантажу брутто, кілька разів замінювалися хрестовини та один раз решта металевих частин, тому на момент випробувань їх вертикальний та горизонтальний знос не перевищував 1...2 мм. Баластний шар та залізобетонні бруси, стан стрілочних переводів і прилеглих колій за рівнем та положенням у плані загалом відповідали вимогам [1]. Якось спеціальна підготовка переводів до випробувань не проводилася. Під час випробувань баласт перебував у незамерзломому стані.

Відповідно до [7] (у даному випадку першої редакції вказівок, яка набула чинності в жовтні 2006 р. [9]), основним завданням випробування стрілочного переводу на міцність є визначення напружень, які виникають у його елементах. Додатково до цього знаходять також вертикальні та горизонтальні (поперечні) переміщення металевих частин переводу та сили, що на них діють, горизонтальні переміщення брусів та рейкових елементів. Крім перерахованих вище

характеристик, з метою визначення впливу довжини прямої вставки на безпеку руху поїздів у межах хрестовинного вузла під час випробувань також досліджувалися зусилля в контррейкових болтах.

Для реєстрації напружень у рейках і гостряку та вертикальних сил, що передаються від коліс на рейки, використовувалися прямокутні тензорезистори КФ5ПІ з базою 20 мм виробництва ВФ «Веда» (ТВ 3.06 України 7710-0001-93), датчики одноразового застосування. Для визначення напружень у підшві рейок та гостряка вони наклеювалися на відстані близько 5 мм від внутрішньої або зовнішньої кромки. Парний номер приладу означає, що він розміщений на внутрішній кромці, непарний – на зовнішній. Деформації та переміщення рейкових елементів і брусів визначалися за допомогою прогиномірів типу ЦНИИ. Горизонтальні сили одержано за методом д-ра техн. наук О. П. Єршкова у перерізах, де розташовувалися прилади для вимірювання напруження в неробочій кромці головки рейки. Для визначення зусиль у контррейкових болтах застосовувалися колійні болти, обладнані тензорезисторами.

Схема встановлення приладів на переводи № 29 (рис. 3) розроблена з використанням принципів, викладених у [8]. Розташування приладів на переводі № 43 відрізнялося лише для приладів «1»–«4», «Ш1», «Ш2», «Г1», «Г2», «ПГ1», «ПГ2», «ПВ1», «ПВ2»: через технічні причини цей переріз був зміщений у бік переднього стику рамних рейок у сусідній ящик.

Визначення показників напружено-деформованого стану стрілочних переводів виконувалося під дією дослідного поїзда, який рухався переводами в режимі вибігу. Він складався з двох електровозів серії ВЛ11 (один у голові поїзда, другий – у хвості), чотирьох чотиривісних піввагонів на візках моделі 18-100 та пасажирського вагона на візках моделі КВЗ-ЦНИИ.

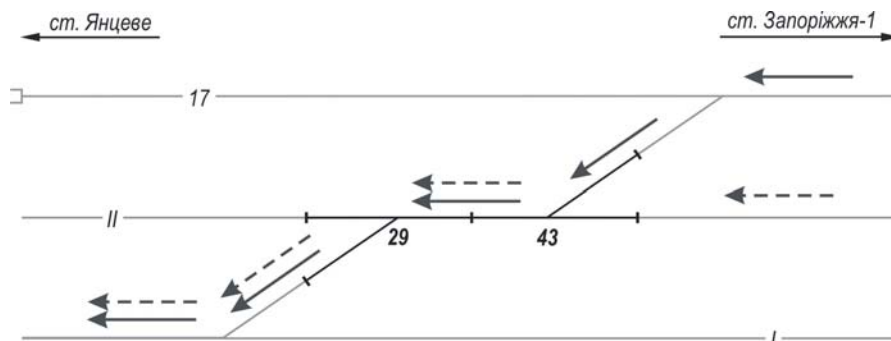
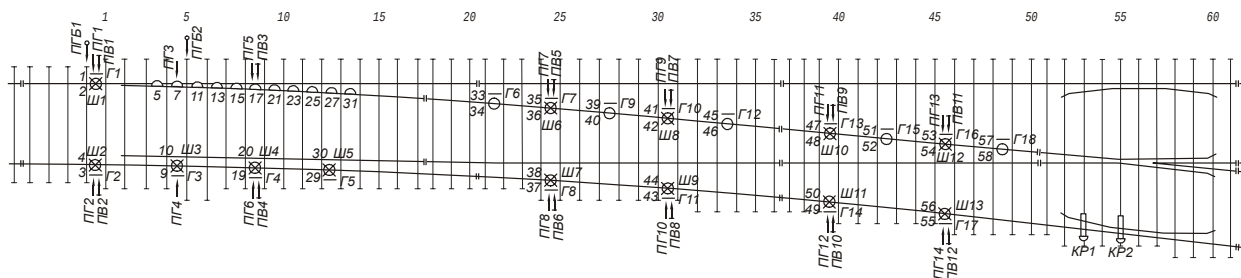


Рис. 2. Фрагмент схеми станції Запоріжжя-Вантажне (суцільними стрілками зображено маршрут руху поїзда під час випробувань переводу № 29 за циклом $d = 0$, пунктирною – $d = \infty$)



Умовні позначення:

- × – прилад для вимірювання вертикальної сили, що діє на рейку;
- △ – прилад для вимірювання напруження в кромці підшви рейки та гострия;
- – прилад для вимірювання напруження в неробочій кромці головки рейки;
- ↑ ↓ – прилади для вимірювання відповідно вертикальних і горизонтальних переміщень рейки;
- – прилад для вимірювання горизонтального переміщення бруса;
- – прилад для вимірювань зусиль у контррейкових болтах

Рис. 3. Схема встановлення приладів на стрілочному переводі № 29

Три піввагони були завантажені щебенем (до навантаження 21,5...23,0 т/вісь), один – порожній. Під час випробування технічний стан вагонів та локомотивів задовольняв вимоги відповідних нормативних документів з їх утримання та ремонту. Дослідний поїзд рухався із швидкостями 5, 15, 25 і 40 км/год. Під час протишерстного напрямку руху за кожним із циклів здійснювалося від 4 до 7 поїздок, під час пошерстного – 8-11. По дослідному переводу поїздки виконувалися лише по боковому напрямку.

Випробування та розшифровка одержаних даних виконані Колієвипробувальною ГНДЛ ДНУЗТ за допомогою вимірювально-інформаційної системи «ПОНІЛ ДИИТ – 1», що пройшла державну метрологічну атестацію відповідно до чинного порядку.

Обробка та аналіз даних зроблені за технологією, наведеною в [8]. Групування показань приладів виконано окремо для перших та других за напрямом руху поїзда осей візків, для їх вирівнювання використано нормальний закон. Допустимі та рекомендовані значення сил, деформацій та напружень в елементах стрілочного переводу прийнято за [7].

Довжина прямої вставки та допустимі швидкості руху поїздів суміжними переводами, розташованих за першою схемою, за умови руху по бокових напрямках обох переводів

У табл. 3 разом із середніми значеннями наведено найбільші з-поміж всіх екіпажів дослідного поїзда максимальні ймовірні величини показників, що визначалися під час досліджень, відповідно до номера випробуваного переводу, швидкості руху дослідного поїзда та циклу

(найчастіше це дані, зареєстровані під час руху електровоза серії ВЛ11, у решті випадків – завантаженого піввагона). У верхній половині клітинки подано значення, одержане під час циклу $d = 0$, у нижній – $d = \infty$. Коли в клітинці замість двох значень наведено одне – це означає, що величина для пошерстного напрямку руху дослідного поїзда більша за значення для протишерстного незалежно від циклу.

Дані про вертикальні переміщення рейок не потрапили до табл. 3 тому, що вони потрібні не для визначення допустимих швидкостей руху поїздів переводом, а для оцінки достовірності результатів випробувань (за наявності переміщень, що перевищують граничну величину, стрілочний перевід не може вважатися справним, а результати достовірними). Величини вертикальних переміщень рейок по довжині стрілочного переводу № 29 знаходилися в діапазоні від 0,8 мм до 4,3 мм, № 43 – від 0,7 мм до 2,5 мм, що суттєво менше за допустиму величину 10 мм [7]. Справний стан переводів також підтверджують дані, одержані за циклом $d = \infty$, – їх величини суттєво менші за граничні значення, наведені у [7].

Порівняння між собою даних різних циклів випробувань дозволяє стверджувати, що з показників, для яких визначено допустимі величини, лише напруження в підшві гострия за швидкості 40 км/год суттєво залежить від довжини прямої вставки (29-й перевід), решта величин практично однакові або менші за значення, одержані для пошерстного руху. Зіставлення ж даних з граничними значеннями дозволяє зробити висновок, що для переводів проекту 1740 довжина прямої вставки не впливає на допустиму швидкість: за всіх швидкостей руху дослідного поїзда та циклів

Середні та максимальні ймовірні величини показників напружено-деформованого стану дослідних переводів, що визначалися під час випробувань

Перевід № 29								Перевід № 43							
Швидкість руху, км/год															
5		15		25		40		5		15		25		40	
Напруження (рамні рейки та рейки з'єднувальної частини), МПа															
$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$
132,7	154,0	133,6	159,1	132,6	163,1	141,2	171,3	132,2	159,5	128,6	144,4	126,4	152,0	131,1	157,8
Напруження (гостряк), МПа															
$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^i$
165,3	205,2	163,9	193,5	182,4	201,2	210,5	240,1	158,2	178,0	165,7	196,9	176,0	205,1	191,4	217,7
				170,5	199,9	173,3	198,4	157,8	168,8	163,9	184,7	169,2	191,9	182,8	209,7
Горизонтальна сила, кН															
$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$	$\bar{H}$	$H_{\max}^i$
47,6	77,9	49,3	74,2	55,6	84,7	57,1	79,4	58,1	82,2	58,1	81,8	57,1	80,3	62,2	91,5
53,2	73,9	55,3	77,7	58,2	84,6	54,4	79,2								
Горизонтальні переміщення брусків, мм															
$\bar{y}_b$	$y_{b\max}^i$	$\bar{y}_b$	$y_{b\max}^i$	$\bar{y}_b$	$y_{b\max}^i$	$\bar{y}_b$	$y_{b\max}^i$	$\bar{y}_b$	$y_{b\max}^i$	$\bar{y}_b$	$y_{b\max}^i$	$\bar{y}_b$	$y_{b\max}^i$	$\bar{y}_b$	$y_{b\max}^i$
0,35	0,59	0,37	0,55	0,40	0,57	0,49	0,74	0,10	0,19	0,12	0,24	0,12	0,24	0,15	0,28
0,27	0,45					0,40	0,58	0,10	0,20			0,12	0,21	0,15	0,27
Зусилля в контррейкових болтах, кН															
$\bar{P}_k$	$P_{k\max}^i$	$\bar{P}_k$	$P_{k\max}^i$	$\bar{P}_k$	$P_{k\max}^i$	$\bar{P}_k$	$P_{k\max}^i$	$\bar{P}_k$	$P_{k\max}^i$	$\bar{P}_k$	$P_{k\max}^i$	$\bar{P}_k$	$P_{k\max}^i$	$\bar{P}_k$	$P_{k\max}^i$
56,3	69,9	54,9	69,2	55,4	74,3	52,1	74,8	39,3	45,0	39,8	45,0	39,6	45,0	39,4	45,5
55,9	70,9	57,3	71,4	57,7	72,1	52,3	63,0	42,7	45,3	43,1	45,6	43,8	51,2	41,1	48,6
Вертикальна сила, кН															
$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$	$\bar{P}$	$P_{\max}^i$
132,7	184,7	129,0	175,7	127,9	166,8	142,6	179,4	123,7	157,0	128,7	158,2	126,5	156,1	138,3	182,8
				128,9	168,0			129,1	157,7	124,5	160,9	126,8	162,3	141,3	176,9
Горизонтальні переміщення рейок, мм															
$\bar{y}$	$y_{\max}^i$	$\bar{y}$	$y_{\max}^i$	$\bar{y}$	$y_{\max}^i$	$\bar{y}$	$y_{\max}^i$	$\bar{y}$	$y_{\max}^i$	$\bar{y}$	$y_{\max}^i$	$\bar{y}$	$y_{\max}^i$	$\bar{y}$	$y_{\max}^i$
2,32	2,57	2,34	2,72	2,11	3,10	2,62	3,39	2,95	3,71	2,75	3,70	3,10	3,66	3,20	4,02
						2,61	3,24					2,78	3,50	2,45	3,70

Примітка: Допустиме значення зусилля в контррейкових болтах – 381 кН (прийнято за [10]). Величини в таблиці наведено з урахуванням монтажних зусиль 30 кН.

випробувань одержані величини показників не перевищують допустимих та рекомендованих значень [7].

Далі розглянемо більш детально напруження в підшві гостряка. Для переводу № 29 за циклом $d = 0$ зареєстровано максимальне напруження 240,1 МПа (прилад «17»), за циклом $d = \infty$ – 198,4 МПа («21»), різниця складає 21 %. Для переводу № 43 – 217,7 МПа («21») та 209,7 МПа («21») відповідно, різниця – 4 %. Таким чином експериментально встановлено, що за умови руху поїздів по бокових напрямках обох суміжних переводів, розташованих за першою схемою, відсутність прямої вставки може призводити до збільшення напружень у підшві криволінійного гостряка на 20 %. Для відповіді на запитання, чому в одному випадку спостерігалось суттєве збільшення напруження, а в іншому – ні, потрібно виконати спеціальні дослідження, які з очевидних причин під час даної роботи не проводилися. У даному випадку для

нас дуже важливий сам факт збільшення напруження в підшві гостряка переводу, укладеного без прямої вставки із суміжним, невиняковим якого підтверджується обома виконаними експериментами та одержаними розподілами напружень по довжині гостряка.

Як уже зазначалося, для переводів проекту 1740 збільшення напруження в підшві гостряка, зареєстроване під час циклу $d = 0$, не має особливого значення, тому що допустима величина в цьому випадку не перевищується. Інша картина спостерігається для переводів, запроєктованих недавно.

Випробування на міцність нових переводів на залізобетонних брусах типу Р65 марки 1/11 проектів Дн 300, Дн 355 [5, 6] та Дн 345 (результати готуються до друку) показали, що під час протишерстного руху по боковому напрямку зі швидкістю 40 км/год напруження в підшві криволінійного гостряка досягають 240,0 МПа, 255,2 МПа і 253,5 МПа відповідно

(прилади, що реєстрували максимальні напруження, встановлювалися на відстані 3,36...4,34 м від вістря гостряка, як і прилади «17» і «21» – 3,58 м і 4,10 м). Тому зумовлене відсутністю прямої вставки їх ймовірне збільшення на 20 % призведе до появи напружень 288...306 МПа, що більше за нормативну величину 275 МПа.

На нашу думку, головною причиною збільшення напружень у підшві криволінійних гостряків нових переводів є зміни, внесені в конструкцію рамної рейки. У цих переводах по довжині рамної рейки наявна лише одна горизонтальна упорка – біля вістря гостряка, тоді як у переводу проекту 1740 упорки розташовано на кожному брусі від вістря й до кореня гостряка. Вилучення упорок призвело до зменшення загальної горизонтальної жорсткості просторової системи рамна рейка – гостряк нових переводів і, як наслідок, збільшення напружень у підшві гостряків.

Наведені вище результати дають підставу рекомендувати для суміжних стрілочних переводів типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах, розташованих за першою схемою з прямою вставкою, що не відповідає вимогам ЦП/0138, встановлювати допустимі швидкості руху поїздів (за умови руху по бокових напрямках обох переводів) залежно від наявності або відсутності в конструкції рамних рейок упорок: за наявності – як для одиночних переводів, за відсутності – не більше 25 км/год.

Вплив довжини прямої вставки на напружено-деформований стан переводу за умови руху поїздів по бокових напрямках обох переводів, розташованих за першою схемою

Для визначення особливостей взаємодії рухомого складу та переводу, розташованого за першою схемою без прямої вставки із суміжним, із всіх показників напружено-деформованого стану переводу найбільшою мірою підходять напруження в зовнішній кромці підшви рейки й гостряка. Крім важливості цього показника самого по собі (як уже зазначалося, визначення напружень є головним завданням випробування на міцність), це дозволяє також порівняти сили, що діють на рейкові елементи переводу за кожним із циклів, – напруження є результатом дії обох цих чинників.

Як і завжди під час випробувань стрілочних переводів на міцність, напруження в зовнішній кромці підшви рейки перевищували напруження у внутрішній. Максимальні значення для зовнішніх рейок (рейки, що є продовженням

кривого гостряка) найчастіше реєструвалися під першими за напрямом руху дослідного поїзда осями, для внутрішніх – під другими.

Незважаючи на тип екіпажа, цикл досліджень, номер дослідного переводу, якісні характеристики (положення локальних екстремумів) розподілу напружень по довжині переводу від швидкості не залежать. Швидкість впливає на кількісні характеристики розподілу: з її зростанням значення локальних максимумів збільшуються, досягаючи найбільших величин за швидкості 40 км/год. Одержані в цьому випадку розподіли для кожного екіпажа наведено на рис. 4 і 5. Тут тонкою лінією показані середні значення, товстішою – максимальні ймовірні. Чорний колір – це дані, одержані під час циклу досліджень $d = 0$, сірий – $d = \infty$.

Для визначення істотності різниці між напруженнями, одержаними за різних циклів досліджень, використано двовибірковий t -критерій Стюдента для вибірок з різними дисперсіями (нульова гіпотеза, рівень ймовірності 0,999). Прилади, для яких величина t -критерію перевищує критичне значення, на рис. 4 і 5 обведені кружечком.

Аналіз даних, наведених на рис. 4 і 5, дозволяє зробити такі узагальнення:

- довжина прямої вставки впливає тільки на напружено-деформований стан криволінійних гостряка та рамної рейки переводу. Для найбільш несприятливого випадку ($d = 0$) та типу екіпажа (локомотив) істотна різниця спостерігається на відрізу, який закінчується в місці розташування приладу «23». Таким чином, ділянка, на якій наявний вплив довжини прямої вставки на напружено-деформований стан стрілочного переводу, закінчується на відстані близько 7,5 м від переднього стику рамної рейки;

- наявна якісна різниця між дією на дослідний перевід локомотива та вагонів. Для електровоза напруження, що зареєстровані приладами, розташованими ближче до вістря гостряка («7», «11», «13»), за циклу $d = 0$ були менші за напруження, одержані за циклу $d = \infty$, а напруження, що фіксувалися приладами «15», «17» і «21» за циклу $d = 0$, перевищували напруження за циклу $d = \infty$. Тоді як для вагонів, незалежно від місця розташування приладу, напруження, одержані за циклу $d = 0$, перевищували напруження, одержані за циклу $d = \infty$.

Для переводу № 29 (див. рис. 4, б-г) це можна пояснити тільки дією значної горизонтальної сили, тому що в цих перерізах вертикальне навантаження від колеса на гостряк відсутнє через його помітне пониження відносно рамної

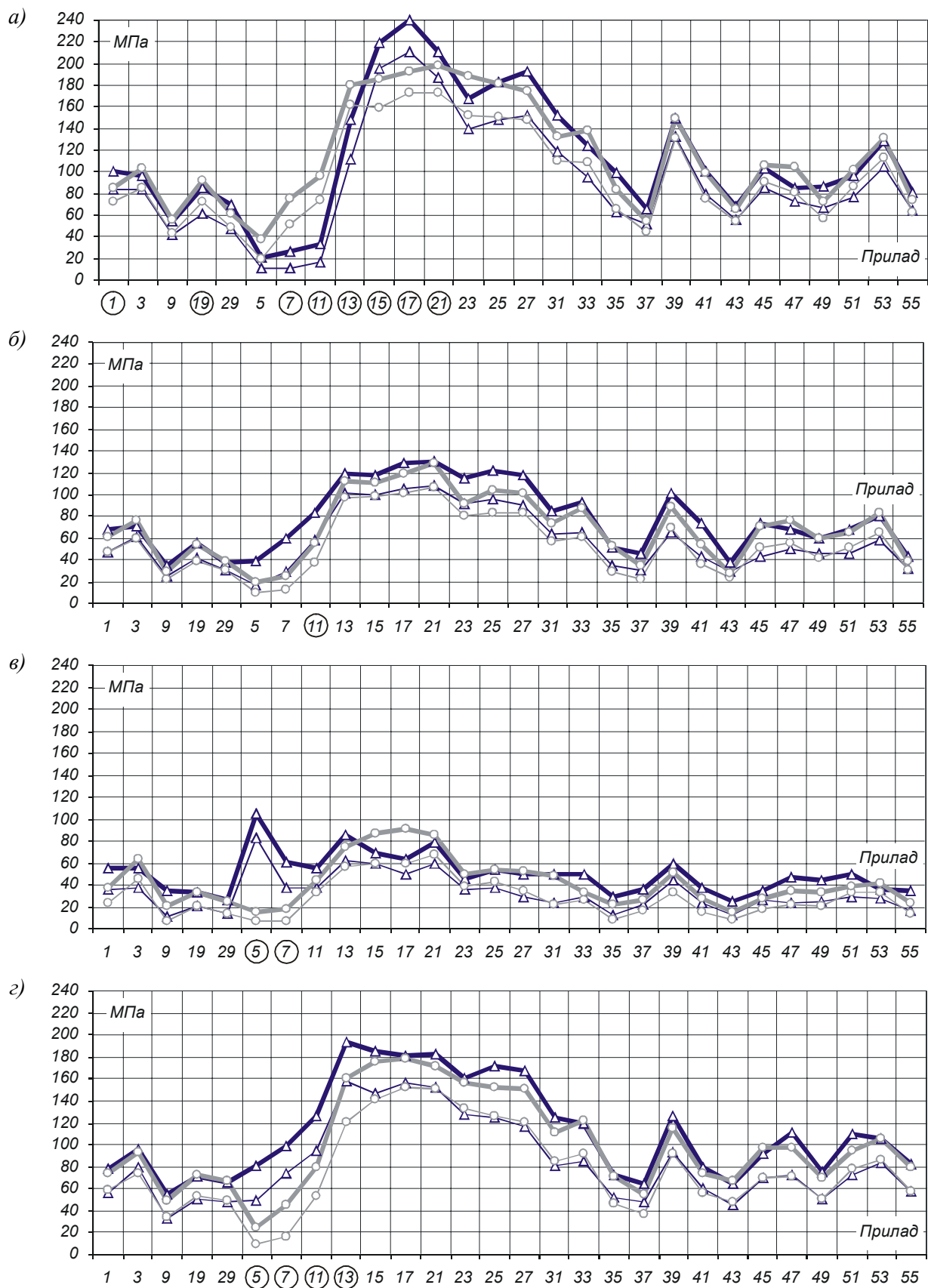


Рис. 4. Напруження в зовнішній кромці підшви рейок та гострика переводу № 29 за швидкості 40 км/год:
 а – електровоз серії ВЛ11, б – пасажирський вагон, в – порожній піввагон, г – завантажений піввагон

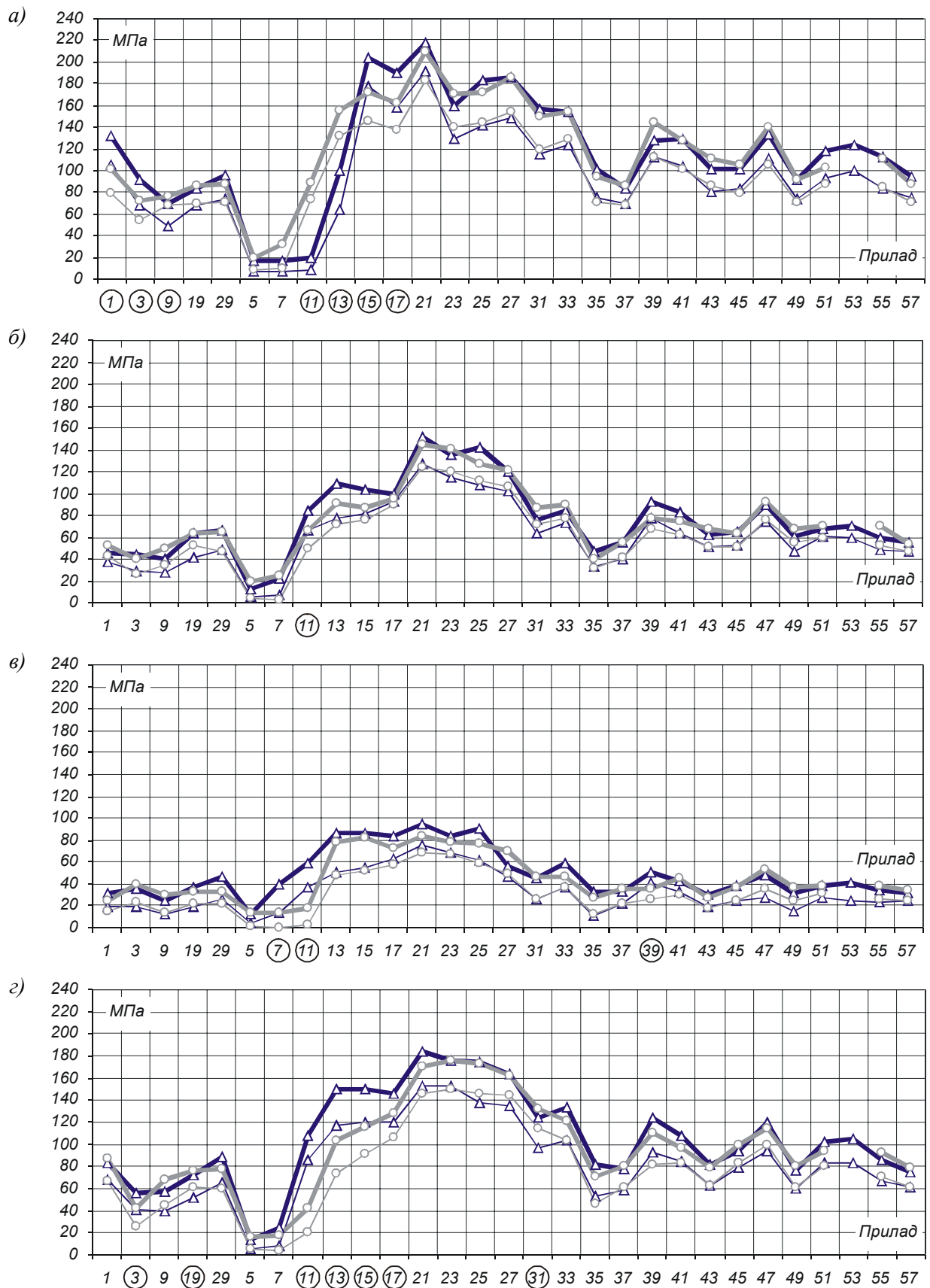


Рис. 5. Напруження в зовнішній кромці підшви рейок та гострияка переводу № 43 за швидкості 40 км/год: а – електровоз серії ВЛ11, б – пасажирський вагон, в – порожній піввагон, з – завантажений піввагон

рейки (табл. 4, прилади «5» і «7»). У решті випадків для однозначного пояснення цього явища підстав немає: тут, крім збільшення горизонтального навантаження, можливе зростання й вертикального – висота гостряка дозволяє;

– довжина ділянки, на якій спостерігається вплив прямої вставки на напружено-деформований стан переводу, залежить від навантаження на вісь: вона більша для локомотива та завантаженого піввагона, менша для пасажирського вагона та порожнього піввагона;

– суттєва різниця між результатами, одержаними для кожного з дослідних переводів, відсутня, що свідчить про їх невинноватість.

Таблиця 4

Висота криволінійного гостряка відповідно до місця розташування приладів, мм

Прилад	Ширина головки, мм	Дослідний перевід	
		№ 29	№ 43
«5»	9	129,6	130,4
«7»	15	132,6	134,8
«11»	22	136,4	137,3
«13»	31	140,4	139,3
«15»	41	140,5	140,0
«17»	50	140,7	140,6

Висновки

1. За критерієм міцності стрілочного переводу результати виконаних досліджень дають підставу рекомендувати для суміжних переводів типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах, розташованих за першою схемою з прямою вставкою, що не відповідає вимогам ЦП/0138, встановлювати допустимі швидкості руху поїздів (за умови руху по бокових напрямках обох переводів) залежно від наявності або відсутності в конструкції рамних рейок суміжних переводів упор: за наявності – як для одиночних переводів, за відсутності – не більше 25 км/год.

2. Ділянка, на якій спостерігається вплив довжини прямої вставки на напружено-деформований стан переводу типу Р65 марки 1/11 проекту 1740 на залізобетонних брусах, у найбільш несприятливому випадку закінчується на відстані близько 7,5 м від переднього стику рамної рейки.

Зменшення довжини прямої вставки призводить до збільшення горизонтального та, ймовірно, вертикального навантаження на криволінійний гостряк у найбільш уразливому його місці – у межах бокового стругання.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП-0138 [Текст] : Затв.: Наказ Укрзалізниці 22.12.05. № 427-Ц. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2006. – 336 с.

2. Даниленко, Э. И. Результаты испытаний стрелочных переводов типа Р65 марок 1/11 и 1/9 на железобетонных брусьях [Текст] / Э. И. Даниленко, Н. Н. Шавловский // Заліз. трансп. України. – 2000. – № 4. – С. 19-23.
3. Орловський, А. М. Результати натурного випробування на міцність стрілочного переводу типу Р65 марки 1/9 проекту 65109Ж-01 [Текст] / А. М. Орловський, В. П. Гнатенко, К. В. Мойсеєнко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 31. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 144-152.
4. Гнатенко, В. П. Результати натурного випробування на міцність стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту 65111Ж [Текст] / В. П. Гнатенко, К. В. Мойсеєнко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 32. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 186-192.
5. Мойсеєнко, К. В. Напружено-деформований стан стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту Дн 300 [Текст] / К. В. Мойсеєнко, В. П. Гнатенко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 103-115.
6. Мойсеєнко, К. В. Напружено-деформований стан стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту Дн 355 за даними натурного випробування [Текст] / К. В. Мойсеєнко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 35. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 114-123.
7. Технічні вказівки з проведення натурних випробувань стрілочних переводів на міцність [Текст] : Затв.: Наказ Укрзалізниці 04.03.10 № 028-ЦЗ. – К., 2010. – 15 с.
8. Мойсеєнко, К. В. Основні положення технології натурного випробування на міцність нового стрілочного переводу [Текст] / К. В. Мойсеєнко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 37. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – Вип. 37. – С. 125-133.
9. Технічні вказівки з проведення натурних випробувань стрілочних переводів на міцність [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 13.10.06. № 640-ЦЗ. – К., 2006. – 16 с.
10. ГОСТ 11530–93 Болты для рельсовых стыков железнодорожного пути. Технические условия [Текст]. – Введ. в Украине 01.01.99. – М.: Стандартинформ, 2006. – 7 с.

Надійшла до редколегії 16.05.2011.

Прийнята до друку 25.05.2011.

АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

В даній статті зроблено кількісний аналіз конструкцій стрілочних переводів, визначено показники експлуатаційної надійності роботи стрілочних переводів та проаналізовано середні напрацювання стрілочних переводів за різними критеріями.

Ключові слова: конструкція стрілочних переводів, надійність в експлуатації, статистична вибірка

В данной статье сделан количественный анализ конструкций стрелочных переводов, определены показатели эксплуатационной надежности работы стрелочных переводов и проанализированы средние наработки стрелочных переводов по разным критериям.

Ключевые слова: конструкция стрелочных переводов, надежность в эксплуатации, статистическая выборка

In this article the quantitative analysis of constructions of switches is done, the indices of operating reliability of work of switches are determined and the accrued operating times of switches by the different criteria are analyzed.

Keywords: switch construction, reliability in service, statistical sample

Вступ

Споруди та пристрої залізниць мають відповідати вимогам, які забезпечували б пропуск поїздів з найбільшими встановленими швидкостями, а запобігання появі несправностей та забезпечення довгострокової служби споруд і пристроїв мають бути головним у роботі осіб, які відповідають за їх утримання [1, 2].

За даними служб колії залізниць України певна кількість стрілочних переводів та їх елементів мають малі терміни служби або недостатньо якісно виконують свої функції. Для недопущення використання та впровадження недостатньо якісних конструкцій розроблено відповідну форми обліку випадків неякісної їх роботи та методику обробки статистичного матеріалу і його аналізу.

Своєчасне прийняття рішення щодо доцільності продовження використання існуючих проектів стрілочних переводів та їх елементів та впровадження дослідних конструкцій дозволить суттєво зменшити витрати колійного господарства. Збільшення терміну служби стрілочних переводів тільки на 5 % надає економію понад 10 млн грн в рік.

Для вирішення зазначених питань необхідно проаналізувати роботу стрілочних переводів на залізницях України.

На залізницях України на даний час експлуатується понад 53,295 тис. стрілочних переводів та глухих пересічень. Більшість з них (98 %) – це поодинокі звичайні стрілочні переводи. В даному дослідженні приймають участь

всі основні конструкції стрілочних переводів, які експлуатуються на залізницях України.

Мета та задача статистичних досліджень

Метою випробувань є отримати експлуатаційні характеристики та причини відмов стрілочних переводів різних проектів та їх елементів.

Основним завданням статистичних випробувань є визначення реального стану та характеристик стрілочних переводів на всіх напрямках мережі залізниць України.

На підставі статистичних даних визначаються показники експлуатаційної стійкості різних, найбільш розповсюджених та дослідних проектів стрілочних переводів.

Кількісний аналіз стрілочних переводів, які експлуатуються на залізницях України та основні напрямки експлуатаційної стійкості роботи стрілочних переводів

Кількісний аналіз здійснюється для отримання вибірки стрілочних переводів, які експлуатуються на залізницях України. Ця вибірка склала 25724 стрілочних переводів і береться за 100 %. В дану вибірку увійшли дані по стрілочним переводам, які лежать в колії та ті, які були вилучені станом на 01.01.2010 р. протягом 2008 та 2009 рр.

В головних коліях знаходиться 38,04 % переводів, в приймально-відправних коліях 29,34 %, решта на інших. Основними стрілоч-

ними переводами в залежності від його типу є переводи типу Р65, яких всього є 72 %. При цьому в головних коліях знаходиться 92,5 % переводів типу Р65 від загальної кількості переводів головних колій, або 35 % типу Р65 від загальної кількості всіх переводів.

Переважаючою маркою стрілочних переводів є марка 1/11, яких експлуатується 61 %, з них переводи типу Р65 складають 51 %. З маркою 1/9 укладено 35 % переводів, з них 15 % це типу Р65. В головних коліях 82 % це переводи марки 1/11.

Підрейкова основа переводів – це залізобетонні (53 %) та дерев'яні (47 %) бруси. Крім того близько 13% переводів вкладено на шпалах. На залізобетонних брусах в головних коліях знаходиться 82 % переводів. З них майже 90 % це переводи типу Р65.

З кількісного аналізу розподілу стрілочних переводів можна зробити висновок, що найбільш поширеним (перш за все в головних коліях) є переводи типу Р65 М1/11 на залізобетонних брусах.

Згідно звітної документації на початок 2010 року дефектність усіх стрілочних переводів становить близько 13 % та кількість відмов їх елементів поступово збільшується. Дефектність переводів в головних коліях становить 15 %. Крім цього, фактичний середній термін служби елементів стрілочних переводів (стрілки та хрестовини) для деяких проектів значно нижчий нормативного терміну служби, який повинен забезпечуватись конструкцією, технологією й експлуатацією, у межах якої виріб не повинен досягати граничного стану. Однак за даними існуючої звітної документації майже не можливо визначити, які дефекти переважають та в яких конструкціях переводів.

Використання статистичних методів дослідження, що опираються на теорію надійності дозволить отримати такі важливі показники як середнє напрацювання до відмови елементів стрілочних переводів та визначити основні причини вилучення елементів стрілочних переводів по дефектам. Це дозволить порівняти їх з гарантійними та нормативними термінами напрацювання та зробити висновки, щодо якісної роботи стрілочних переводів в залежності від проекту стрілочного переводу та умов експлуатації.

На основі цього визначаються основні напрямки експлуатаційної стійкості роботи стрілочних переводів: створення напівавтоматизо-

ваної форма обліку, яка дозволить розширити діапазон досліджень (в подальшому таку напівавтоматизовану форму в комплекті «АСУ-колія» можна використовувати в технічних відділах дистанції колії, для покращення якості інформації у формах обліку та скорочення їх оформлення); встановлення перспективних проектів стрілочних переводів основних заводів-виробників, які мають не менше нормативного терміну служби чи ресурсу для певних умов експлуатації; визначення для заводів-виробників стрілочної продукції основних напрямків покращення їх конструкції, що дозволить зменшити витрат колійного господарства і підвищити безпеки руху поїздів по стрілочним переводам; визначення напрямків зменшення кількості відмов стрілочних переводів та їх елементів, що дозволить зменшити експлуатаційних витрат залізниці; визначення показників, на основі яких можна ефективно планувати поставок певних марок стрілочної продукції, що дозволить раціонально розподілити кошти та забезпечити безпечний пропуск поїздів із урахуванням експлуатаційних умов.

Форма первинного обліку стану та роботи стрілочних переводів

Дослідження експлуатаційної стійкості роботи стрілочних переводів виконується на основі розробленої методики оцінки експлуатаційної надійності стрілочних переводів і їх елементів, яка приведена в [9].

Первинний облік щодо стану та роботи стрілочних переводів виконується на підставі встановлених звітних та облікових форм та таблиць паспорту дистанції колії [3 – 5].

Враховуючи одноразове (на рік) заповнення облікових та звітних форм найбільш придатною існуючою формою з даними для визначення експлуатаційної стійкості елементів стрілочних переводів є форма ПУ-6. Однак ця форма потребувала деяких змін та доповнень, які були враховані при розробці напівавтоматизованої форми обліку роботи стрілочних переводів. Для цього було зроблено реєстр проектів стрілочних переводів та визначено набір інформації, яка повинна бути по кожному фактору форми ПУ-6.

ДНУЗТом розроблено напівавтоматизовану форму обліку ПУ-6 у форматі Microsoft Excel, яка наповнена даними з основних проектів стрілочних переводів, які використовуються на залізницях України.

Показники, що визначалися під час статистичних випробувань

Встановлення перспективних проектів стрілочних переводів основних заводів-виробників їх раціональність використання, придбання, технічного обслуговування здійснюється на основі показників надійності їх роботи. Підбір показників та способи їх розрахунку в значній степені визначається можливостями отримання інформації про роботу стрілочних переводів.

У процесі виконання випробувань були отримані або розраховані наступні основні параметри експлуатаційної роботи стрілочних переводів:

- середній термін напрацювання при заміні окремих елементів стрілочних переводів (гостряків, рамних рейок, хрестовин), який визначався середнім пропущеним тоннажем, в млн т, або середнім терміном служби в роках в залежності від:
 - номера проекту стрілочного переводу;
 - типу стрілочного переводу;
 - марки стрілочного переводу;
 - переважного напрямку руху по стрілочному переводі;
 - призначення колії (головна чи приймально-відправна);
 - заводу-виробника;
 - розташування стрілочного переводу на станції (вхідний, вихідний, інший);
 - умов експлуатації по вантажонапруженості.
- розподіл напрацювання вилучених стрілок та хрестовин по заводам-виробникам дніпропетровським і керченським (ДнСЗ і КСЗ).
- розподіл причин вилучення окремих елементів стрілочних переводів (гостряків, рамних рейок, хрестовин) в залежності від:
 - номера проекту стрілочного переводу;
 - від характеристики дефекту (довжина, глибина)

Крім середніх показників визначаються також мінімальні та максимальні значення напрацювання згідно довірчих меж при заданому рівні ймовірності $\alpha = 0,05$.

Строки служби стрілок і хрестовин визначаються кількістю пропущеного тоннажу за описаною в [7] методикою. Аналіз експлуата-

ційної стійкості роботи елементів стрілочних переводів здійснюється шляхом порівняння середнього напрацювання з нормативним та гарантійним терміном служби чи ресурсом для певних умов експлуатації. Нормативні строки служби стрілок і хрестовин взяті з [8], гарантійні – з [7].

Середнє напрацювання пропущеного тоннажу чи середній термін служби в роках, при заміні елементів стрілочних переводів визначався за матеріалами напівавтоматизованої форми ПУ-6.

Точність визначення напрацювання елементів стрілочних переводів

Точність визначення середнього напрацювання залежить від репрезентативності та випадковості вибірки, якості вихідної інформації по пропущеному тоннажу елементів, які відмовили від критеріїв вибірки. Точність визначення середнього напрацювання оцінюється величиною середньоквадратичного відхилення та довірчих меж.

Пропущений тоннаж щодо вилучених елементів стрілочних переводів вказувався працівниками дистанцій у напівавтоматизованій формі ПУ-6. Проте, він перевірявся розрахунком.

Визначення напрацювання елементів стрілочного переводу здійснювався для вилучених елементів стрілок і хрестовин відповідно до умов їх роботи на станції.

Пропущений тоннаж розраховувався за даними вантажонапруженості за рік і датою укладання і зняття стрілочних переводів або його елементів.

Пропущений тоннаж, або термін служби в роках можна визначати шляхом обліку пропущеного вантажу по головних коліях без зупинки, а також із зупинкою на приймально-відправних коліях з урахуванням корегуючих коефіцієнтів. Для вхідної і вихідної стрілки на головних коліях можна брати коефіцієнт вище, ніж інших для інших стрілок головного колії. Для приймально-відправних колій напрацювання визначається в роках з урахуванням різних коефіцієнтів залежно від схеми роботи станції.

Визначення та аналіз показників експлуатаційної роботи стрілочних переводів

Визначення показників експлуатаційної роботи виконується для всіх вилучених стрілочних переводів прийнятих у вибірку в загальному вигляді та окремо різним факторам. До ана-

лізу залучались зняті елементи стрілки (рамні рейки та гостряки) та хрестовини вилучені тільки у 2008 та 2009 рр. Середні напрацювання пропущеного тоннажу і їх відхилення визначались для стрілок і хрестовин при різних комбінаціях факторів, які впливають на них. Повний багатофакторний аналіз застосувати для даної вибірки даних не вдалося. Також потрібно зазначити, що по кожній відмові елементу стрілочного переводу кількість вихідної інформації у формі ПУ-6 була різною. Тому використовуючи різні критерії аналізу отримані різні кількості вибірки.

Детальне визначення показників експлуатаційної роботи стрілочних переводів приведено в звіті науково-дослідної роботи. В даній статті приводяться висновки проведеного аналізу.

Висновки аналізу по експлуатаційній стійкості елементів стрілки (гостряків і рамних рейок) для загальної вибірки

В середньому гостряки типу Р65 на залізобетонних брусах забезпечують гарантійні строки служби для обох заводів-виробників, проте по нормативному терміну безвідмовну роботу дані гостряки забезпечують у 35 % випадків для ДнСЗ і 39 % для КСЗ. Середні напрацювання в колії гостряків складають для ДнСЗ – 106 млн т, для КСЗ – 119 млн т.

В середньому рамні рейки типу Р65 на залізобетонних брусах забезпечують гарантійні строки служби для ДнСЗ, проте по нормативному терміну безвідмовну роботу дані рамні рейки забезпечують у 47 % випадків для ДнСЗ і 26 % для КСЗ. Середні напрацювання в колії рамних рейок складають для ДнСЗ – 141 млн т, для КСЗ – 79 млн т.

В середньому вузол «рамна рейка – гостряк» типу Р65 на залізобетонних брусах забезпечують гарантійні строки служби, проте безвідмовну роботу він забезпечує лише у 52 % випадків для ДнСЗ і 48 % для КСЗ. Середні напрацювання в колії вузла «рамна рейка – гостряк» складає для ДнСЗ – 155 млн т, для КСЗ – 145 млн т.

В середньому вузол «рамна рейка – гостряк» типу Р65 на дерев'яних брусах забезпечує гарантійні строки служби, проте безвідмовну роботу він забезпечує лише у 62 % випадків для ДнСЗ і 60 % для КСЗ. Середні напрацювання в колії вузла «рамна рейка – гостряк» складає для ДнСЗ – 164 млн т, для КСЗ – 159 млн т.

В середньому вузол «рамна рейка – гостряк» типу Р50 на дерев'яних брусах забезпечує гара-

нтійні строки служби, проте безвідмовну роботу він забезпечує лише у 37 % випадків для ДнСЗ. Середні напрацювання в колії вузла «рамна рейка – гостряк» складає для ДнСЗ – 112 млн т, для КСЗ – не оцінюється дуже мала вибірка по даному критерію.

В середньому вузол «рамна рейка – гостряк» типу Р65 на дерев'яних брусах в приймально-відправних коліях забезпечує гарантійні строки служби, оскільки більший від встановленого 2 роки [7], проте безвідмовну роботу він забезпечує лише у 42 % випадків для ДнСЗ і 38 % для КСЗ. Середні напрацювання в колії вузла «рамна рейка – гостряк» в приймально-відправних коліях складає для ДнСЗ – 75 млн т, для КСЗ – 68 млн т.

Висновки аналізу по експлуатаційній стійкості елементів стрілки для обмеженої вибірки стосовно умов експлуатації по вантажонапруженості

Висновок про роботу елементів стрілки в залежності від експлуатаційних умов для різних заводів-виробників можна було зробити стосовно стрілок типу Р65. Середні напрацювання елементів стрілок типу Р65 при середньомережевих умовах складає 227 млн т для ДнСЗ і 191 млн т – КСЗ, що на 16 % нижче по середньому напрацюванню від ДнСЗ, а з врахуванням верхньої границі довірчих меж різниця складає всього 4 %. При цьому безвідмовна робота забезпечується лише у 70...75 % випадків для обох заводів-виробників (в порівнянні з нормативним терміном 300 млн т). Для стрілок, які працюють в умовах меншої вантажонапруженості, середні напрацювання складає 132 млн т для ДнСЗ і 84 млн т – КСЗ, що на 37 % нижче по середньому напрацюванню від ДнСЗ, а з врахуванням верхньої границі довірчих меж різниця складає 30 %. При цьому безвідмовна робота забезпечується лише у 58 % випадків для ДнСЗ і 37 % – КСЗ (в порівнянні з нормативним терміном 225 млн т). Для стрілок, які працюють в умовах більшої вантажонапруженості, середні напрацювання складає 252 млн т для ДнСЗ і 230 млн т – КСЗ, що на 9 % нижче по середньому напрацюванню від ДнСЗ, а з врахуванням верхньої границі довірчих меж різниця складає всього 2 %. При цьому безвідмовна робота забезпечується у 84 % випадків для ДнСЗ і 77 % – КСЗ (в порівнянні з нормативним терміном 300 млн т).

Висновки аналізу по експлуатаційній стійкості елементів стрілки (гостряків, рамних рейок) для обмеженої вибірки стосовно умов експлуатації по вантажонапруженості і розташування стрілочного переводу на станції

В роботі отримано значення середнього напруження елементів стрілки при середньомережевих умовах по вантажонапруженості для вхідних та вихідних стрілочних переводів на станції. Такий критерій вибірки підвищує точність розрахунку середнього напруження, але зменшує обсяг вибірки. Виділити як фактор завод-виробник при таких критеріях вибірки немає можливості – замала вибірка.

А самі висновки такі:

- Середні напруження для даної обмеженої вибірки в порівнянні із загальним аналізом, приведеним в табл. 3.2 є вищими на 30 %.
- Відхилення від середнього напруження мають невеликі коливання і становлять 10 %, що підтверджує точність розрахунку.
- Для гостряків типу Р65 середнє напруження – 165 млн т. На основі цього можна зробити висновок, що гостряки типу Р65 забезпечують гарантійні строки служби, проте безвідмовну роботу дані гостряки забезпечують у 55 % випадків, згідно нормативних термінів.
- Для рамних рейок типу Р65 середнє напруження – 271 млн т. На основі цього можна зробити висновок, що рамні рейки типу Р65 забезпечують гарантійні строки служби, проте безвідмовну роботу дані гостряки забезпечують у 93 % випадків, згідно нормативних термінів.
- Середнє напруження в колії вузла «рамна рейка – гостряк» складає – 233 млн т. Тобто, вузол «рамна рейка – гостряк» типу Р65 забезпечує гарантійні строки служби, проте безвідмовну роботу він забезпечує лише у 75 %.
- Потрібно для всіх стрілочних переводів в головних коліях вказувати умови експлуатації по вантажонапруженості у напівавтоматизованій формі ПУ-6. Такої інформації подано приблизно третину від всіх вилучених стрілочних переводів. Це дозволить розширити вибірку даних по критерію вантажонапруженості на ділянці і отримати середні напруження по тоннажу залежно від проекту стрілочного переводу, перева-

жного напрямку рух, заводу-виробника та ін.

Висновки аналізу по експлуатаційній стійкості елементів стрілки (гостряків, рамних рейок) для обмеженої вибірки переважного напрямку руху по стрілочному переводі

Середнє напруження при переважному руху по прямій ділянці колії становить 175 млн т, довірчі межі коливаються в межах 8 %.

Середнє напруження при переважному рівномірному русі по прямій і боковій колії ділянці становить 132 млн т, довірчі межі коливаються в межах 8 %. В порівнянні з рухом переважачим по прямій колії це менше на 25 %.

Середнє напруження при переважному русі на боковий напрямок становить 118 млн т, довірчі межі коливаються в межах 20 %. В порівнянні з рухом переважачим по прямій колії це менше на 33 % і на 10 % в порівнянні з рівномірним рухом.

Висновки по експлуатаційній стійкості елементів стрілки (гостряків, рамних рейок) для обмеженої вибірки в залежності від причин вилучення за проектами стрілочних переводів

Середні напруження елементів стрілки для типових проектів типу Р65 марки 1/11 коливаються від 119 млн т до 178 млн т, відхилення від середнього значення від 11 млн т до 62 млн т, або від 6 % до 38 %. Найменші відхилення від середнього значення спостерігаються для більш повної вибірки по проектах 1740 та М1740. Середнє напруження по пропущеному тоннажу із врахуванням відхилення для проекту М1740 є на 18 % більше від У1740 і на 9 % менше від 1740. Проекти М1740 і У1740 забезпечують безвідмовну роботу елементів стрілок в середньому на 50...58 % при нормативному терміні 300 млн т. Гарантійні умови в середньому витримуються.

Середні напруження елементів стрілки для проектів 2215 і М2215 типу Р65 марки 1/9 є 209 млн т і 199 млн т відповідно, відхилення від середнього значення становлять 50 млн т і 30 млн т, або 24 % та 15 % відповідно. Середнє напруження по пропущеному тоннажу з врахуванням відхилення для проекту М2215 є на 10 % менше від 2215. У2215 не порівнюється, оскільки вибірка по ньому незначна і великі відхилення від середнього значення. Проекти М2215 і 2215 забезпечують безвідмовну роботу елементів стрілок в середньому на 65...70 %

при нормативному терміні 300 млн т [8]. Гарантійні умови в середньому витримуються.

Середнє напрацювання для проектів типу Р50 марки 1/11 та 1/9 на дерев'яних брусах на 20...30 % менше від проектів типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах. Проект 2497 забезпечує безвідмовну роботу елементів стрілок на 58 % при нормативному терміні 260 млн т [8] та проект 2498 на 83 % при нормативному терміні 225 млн т [8].

Середнє напрацювання елементів стрілок для проекту типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах 2433.00.000-08;(-09) на 20 % більше від базового проекту 2433.00.000.

Середнє напрацювання елементів стрілок для проекту Дн 290.00.000;(-01) на 50 % менше від базового проекту 1740.00.000. Відхилення від середнього становить 20 %.

Основна причина вилучення елементів стрілки для проекту 1740 є бічний знос рамної рейки навпроти вістря та бічний знос гостряка та викришування гостряка через надмірну бокову дію.

Основна причина вилучення елементів стрілки для проекту М1740 є бічний знос рамної рейки навпроти вістря та бічний знос гостряка.

Основна причина вилучення елементів стрілки для проекту У1740 є бічний знос рамної рейки навпроти вістря та бічний знос рамної рейки

Основна причина вилучення елементів стрілки для проекту М2215 є бічний знос рамної рейки навпроти вістря.

Основними причинами по відмовам в зоні стрілки є бічний знос гостряка (18 %) та бічний знос рамної рейки (9 %) навпроти вістря гостряка. В середньому по зносу знімалися гостряки та рамні рейки при величині зносу 8 мм. Основними причинами зняття по дефектам є викришування на голівці гостряка через недостатню контактну-втомлювальну міцність металу; викришування гостряка в зоні вістря через посилену бокову дію коліс – 30 %; виколювання загартованого шару головки гостряка і рамної рейки і поперечні тріщини на голівці рамної рейки в зоні перекочування коліс з гостряка на рамну рейку.

Висновки по експлуатаційній стійкості хрестовин для обмеженої вибірки в залежності від причин вилучення по проектах стрілочних переводів

Для головних колій середнє напрацювання хрестовин більше в порівнянні з приймально-відправними. Середнє напрацювання хрестовин

в головних коліях до їх вилучення за зносом і за дефектами приблизно рівні і складають 128 млн т. На момент досягнення нормативного напрацювання хрестовини марки 1/11 (для стрілочних переводів типу Р65) в головних коліях забезпечують безвідмовну роботу для ДнСЗ і на 80 % для КСЗ. Середнє напрацювання хрестовин ДнСЗ на 20 % вище ніж для КСЗ для марок 1/11 і на 30 % вище для марок 1/9. Проект М1740.00.000-08;(-09) – забезпечує нормативну роботу хрестовин. Проект У1740.00.000 – забезпечує нормативну роботу хрестовин на 80 %.

Для жорстких хрестовин найнижче середнє напрацювання є в суцільнолитих хрестовинах і становить 106 млн т з відхиленням 30 %, для яких основними причинами вилучення стали вертикальний знос осердя та викришування осердя через надмірна бокову дію. Збірна хрестовина з литим осердям має напрацювання на 30 % більше в порівнянні з суцільнолитою. Основними причинами вилучення стали вертикальний знос осердя та викришування осердя через надмірна бокову дію. Збірна хрестовина, типу загальної відливки з косою врізкою та збірна з косою врізкою з подовженими задніми закінченнями склали малу вибірку і оцінювати напрацювання важко, проте як видно приведені середні напрацювання є вищими в порівнянні з іншими конструкціями. На основі чого можна зробити висновок, що конструкція хрестовини є покращеною відносно базової збірної хрестовини.

Висновок

1. Створена напівавтоматизована форма обліку ПУ-6 дозволила розширити і уточнити діапазон досліджень. Що, в свою чергу, дозволило точніше отримати значення середнього напрацювання, враховуючи різні критерії вибірки. Крім того, кількість критеріїв оцінки є збільшеною за рахунок введення даної форми.

2. Елементи стрілок і хрестовин стрілочних переводів витримують гарантійні терміни служби.

3. Нормативний термін служби елементів стрілок і хрестовин в середньому не досягається на 25...40 % залежно від вантажнапруженості головних колій, заводу-виробника, типу проекту стрілочних переводів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст] : Затв.: Наказ Мінтрансзв'язку Укра-

- їни від 20.12.1996 р. № 411 / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К., 2003. – 133 с.
2. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України ЦП 0138 [Текст] / Е. І. Даніленко [та ін.]. – К., 2006. – 336 с.
 3. Інструкція про порядок складання технічного паспорта дистанції колії, звітів про колійне господарство і про захисні лісонасадження ЦП-ЦЧУ-0186 [Текст]. – К., 2008. – 168 с.
 4. Технічний паспорт дистанції колії (АГУ-4, АГО-1, АГО-3) [Текст].
 5. Методичні вказівки про порядок складання звітних та облікових форм у колійному господарстві ЦП-ЦЧУ-0187 [Текст]. – К., 2008. – 295 с.
 6. Рыбкин, В. В. Методика оценки эксплуатационной надежности стрелочных переводов и их элементов [Текст] / В. В. Рыбкин, Е. М. Баль, И. А. Бондаренко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 35. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 124-128.
 7. Гарантійні строки служби та умови забезпечення гарантійної експлуатації металевих елементів стрілочних переводів ЦП 0162 [Текст] / Е. І. Даніленко [та ін.]. – К.: Транспорт України, 2007. – 56 с.
 8. Положення про нормативні строки служби стрілочних переводів у різних експлуатаційних умовах ЦП 0101 [Текст]. – К., 2003. – 30 с.

Надійшла до редколегії 23.03.2011.

Прийнята до друку 28.03.2011.

КОРРЕКТИРОВКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЙ ПО МКЭ МЕТОДОМ HSS

Проаналізовано застосування методу Hot Spot Stress (HSS) у постановці лінійної поверхневої екстраполяції (LSE) для коректування результатів розрахунку, отриманих методом скінченних елементів (МСЕ) у випадку сингулярності напружень. Наведені приклади конструкцій й тестові приклади були розраховані за допомогою проектно-обчислювального комплексу SCAD for Windows (версія 11.3).

Ключові слова: метод скінченних елементів, сингулярність, збіжність результатів

Проанализировано применение метода Hot Spot Stress (HSS) в постановке линейной поверхностной экстраполяции (LSE) для корректировки результатов расчета, полученных методом конечных элементов (МКЭ) в случае сингулярности напряжений. Приведенные примеры конструкций и тестовые примеры были рассчитаны с помощью проектно-вычислительного комплекса SCAD for Windows (версия 11.3).

Ключевые слова: метод конечных элементов, сингулярность, сходимость результатов

The usage of the Hot Spot Stress (HSS) method by means of linear surface extrapolation (LSE) approach was analyzed for the correction of results of the Finite-Element Method (FEM) in case of singularity of stresses. The given examples of structures and testing examples were computed on the base of design-and-computation software SCAD for Windows (version 11.3).

Keywords: finite-element method, singularity, convergence of results

Введение

В последние десятилетия в практике инженерной деятельности широчайшее распространение получил один из численных методов строительной механики – метод конечных элементов (МКЭ). Его аббревиатура уже стала одним из обязательных элементов различных научных работ и технических отчетов, анализирующих работу самых разнообразных видов инженерных конструкций, как строительных, так и машиностроительных.

Такая популярность МКЭ связана с несколькими причинами. Во-первых, большой интерес представляет оценка работы конструкции как единой пространственной системы, а не поэлементно, как это выполнялось ранее. При этом традиционные аналитические методы механики твердого тела, во многом, не позволяют с приемлемой точностью проанализировать подобные сложные объекты.

Во-вторых, имеется достаточно большое количество как теоретических (см., например, работы [1 – 5]), так и практических работ (см., например, [6 – 11]), посвященных применению МКЭ для расчета самых разнообразных видов конструкций.

В-третьих, и наверное самое главное, МКЭ, представленный в форме метода перемещений может быть достаточно просто формализован, что позволило создавать на основе этого доста-

точно мощные многозадачные проектно-вычислительные комплексы, как, например, описанные в работах [12 – 14].

Проблема сходимости результатов

Известно, что в практике использования МКЭ одним из основных эмпирических правил, неоднократно приводимых в указанных выше работах, является необходимость сгущения конечно-элементной (КЭ) сетки для получения более точных результатов. Всевозрастающая мощность используемой в последние годы компьютерной техники позволила выполнять очень мелкую и подробную КЭ сетку, создавая и анализируя расчетные модели, количество степеней свободы в которых исчисляется миллионами. При этом, стремясь получить все более и более точные результаты, пользователи различных программных продуктов, реализующих МКЭ, используют все более и более мелкую сетку в зонах с повышенным уровнем, в первую очередь, напряжений. При этом ожидается количественная сходимость величины получаемых результатов, однако этого, к сожалению, зачастую не происходит.

Об этой неприятнейшей особенности МКЭ в форме метода перемещений широко заговорили относительно недавно. Появился даже специальный англоязычный термин Hot Spot и его более поздний русскоязычный аналог «особая

точка» для описания тех областей расчетной модели, в которых при сгущении КЭ сетки напряжения не только не сходятся, но и расходятся со все возрастающей скоростью. Такая ситуация, описываемая как сингулярность по напряжениям, наблюдается в местах сопряжения отдельных элементов конструкции между собой, т.е. фактически в любых участках, где угол сопряжения элементов сколь-нибудь отличен от нуля. При этом наблюдаемая сингулярность по напряжениям никак не связана с сингулярностью по перемещениям, сходимость которых оказывается достаточно хорошей.

Вместе с тем, оценка уровня напряжений в конструкции является одной из важнейших инженерных задач, на решение которой и нацелены, собственно, имеющиеся методы описания работы различных видов конструктивов, в том числе и сам МКЭ. Именно знание величины напряжений в различных участках конструкции и позволяет оценить возможность ее эксплуатации и применения по назначению в целом.

Метод HSS

Для обхода данной проблемы был разработан и начал использоваться специальный метод – Hot Spot Stress. По своей сути это скорее не метод, а технология, позволяющая скорректировать результаты расчета напряжений, получаемые с помощью МКЭ. Его суть достаточно подробно описана во многих работах (см., например, [15 – 18]) и может быть наглядно проиллюстрирована графически на рис. 1, позаимствованном из работы [18].

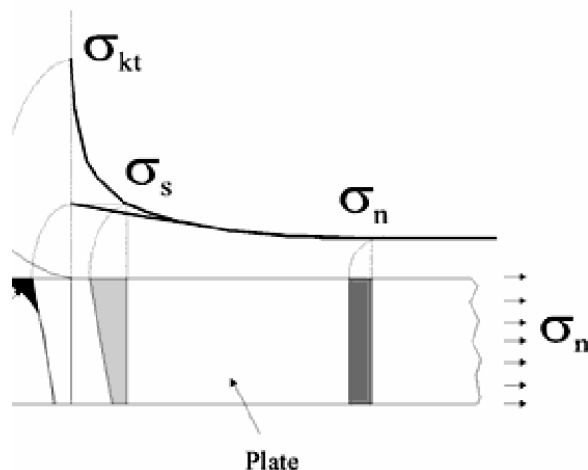


Рис. 1. Сущность применения метода HSS

Верхняя линия показывает уровень напряжений, получаемый при расчете МКЭ в угловой зоне сопряжения двух взаимно перпенди-

кулярных элементов. Она имеет вид резко возрастающей кривой по мере приближения к углу, и напряжения принимают очень высокие значения (σ_{kt}). Однако на определенном удалении от угла градиент напряжений оказывается довольно низким (σ_n). Этот факт и используется в одной из разновидностей метода HSS, основанной на выполнении линейной поверхностной экстраполяции (linear surface extrapolation – LSE). Напряжения МКЭ определяются на расстоянии половины ($0,5 \cdot t$) и полутора ($1,5 \cdot t$) толщин соединяемых листов. Затем выполняется линейная экстраполяция на угловую точку. Получаются некие условные напряжения (σ_s), которые и принимают за окончательные в данной области. При этом размер КЭ должен составлять не более половины толщины t .

В связи с этим авторам данной публикации представляется необходимым обратить внимание на следующие особенности такого подхода. Во-первых, в специальной литературе четко не оговаривается, толщину какого из соединяемых элементов следует принимать в качестве параметра t , особенно в случае, если пересекаются, например, три взаимно перпендикулярные пластинчатые элементы (см. рис. 2). И, во-вторых, на каком из элементов в подобном случае следует выполнять отступление на указанные расстояния.

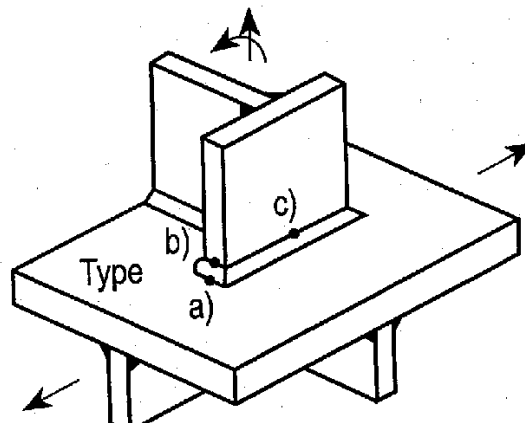


Рис. 2. Типичное угловое соединение элементов

Как указывается в работах [15 – 18] применение метода HSS в разновидности LSE позволяет получить вполне приемлемые результаты и таким образом решить проблему сходимости напряжений в угловой зоне. Попробуем использовать данную технологию на примере одного из широко известных отечественных программных продуктов, реализующих МКЭ – SCAD for Windows [13]. Для работы была выбрана одна из последних версий комплекса – версия 11.3.

Таким образом, *целью данной работы* является оценка возможности применения технологии метода HSS в разновидности LSE для расчета конструкций на примере проектно-вычислительного комплекса SCAD for Windows.

Материалы и результаты исследований

Для оценки сходимости напряжений без и с учетом применения технологии метода HSS был выбран тестовый пример в виде горизонтальной консольной балки, прикрепленной к вертикальной пластине. Такой выбор был связан с тем, что в практике проектирования значительное число узлов и элементов конструкций напоминает по своей сути работу консольных элементов.

Так, например, на рис. 3 приведена КЭ модель несущего кронштейна. Модель была построена в проектно-вычислительном комплексе SCAD for Windows в виде пластинчатой схемы. Она представляет собой систему вертикальных ребер жесткости, соединенных с неподвижно закрепленным верхним горизонтальным основанием. Нагрузка прикладывается в нижней части кронштейна в горизонтальном направлении. Таким образом, кронштейн, выражаясь языком строительной механики, работает по консольной схеме.

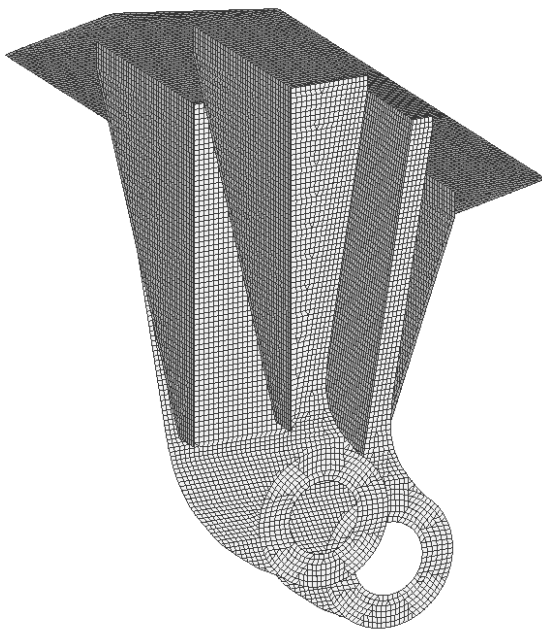


Рис. 3. КЭ модель несущего кронштейна

Выполненный расчет напряжений МКЭ позволил получить довольно неравномерную картину их распределения с явно выраженной

концентрацией в верхней зоне стыковки ребер с горизонтальным основанием. Она приведена на рис. 4, где более темным цветовым оттенкам соответствует более высокий уровень напряжений. Зона концентрации носит явно выраженный локальный характер и представлена на рисунке в виде небольших пятен.

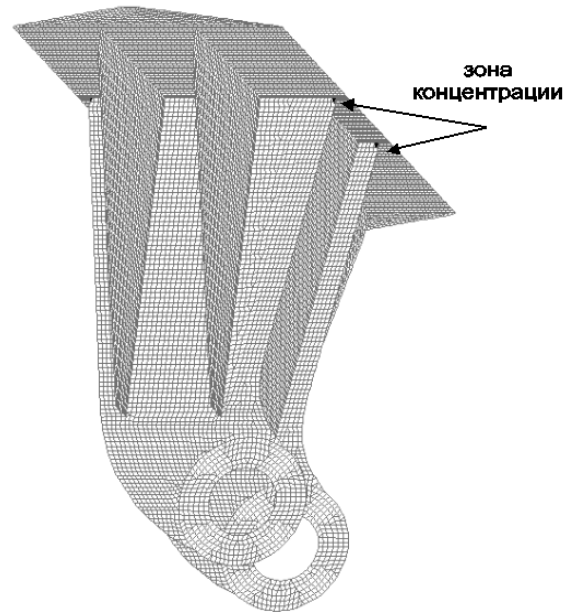


Рис. 4. Зона концентрации напряжений в модели несущего кронштейна

Казалось бы, что достаточно логичным был бы отказ от рассмотрения напряжений в данной зоне и анализ их в другом месте конструкции. Во многих случаях так и поступают, считая, что при этом справедливой оказывается теория приспособляемости материала, а локальные напряжения в целом являются неопасными. Тогда возникает иной вопрос, а в каком же месте необходимо рассматривать напряжения и какие из них считать критерияльными?

Применение метода HSS фактически уже дает ответ на эти вопросы – анализировать напряжения нужно именно в зоне их максимума, получаемого с помощью расчетов по МКЭ. Все иные участки конструкции дают заведомо лучшую картину.

Заметим, также, что приведенные на рис. 4 участки концентрации напряжений являются наиболее нагруженными участками конструкции кронштейна, как и предполагает консольная схема. При этом полученный характер изменения напряжений в данной зоне качественно соответствует приведенному на рис. 1.

Сгущение КЭ сетки в рассматриваемой модели приводит к расходимости напряжений по

закону, близкому к логарифмическому, что наглядно видно из графика, представленного на рис. 5. По горизонтальной оси на графике от-

ложен размер КЭ в мм, по вертикальной оси – величина напряжений в МПа.

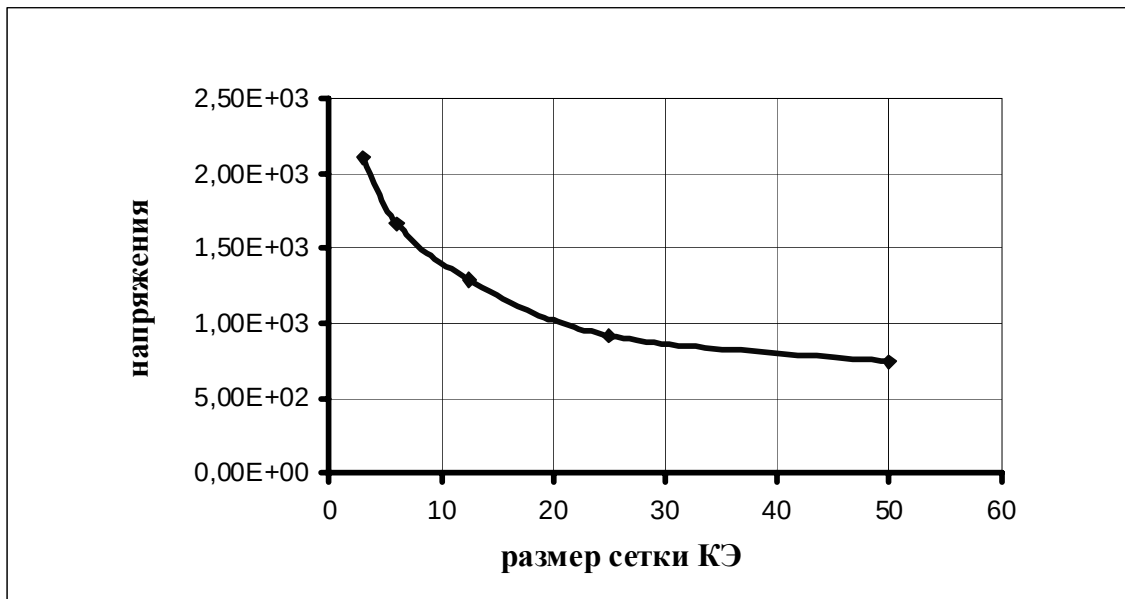


Рис. 5. Сходимость напряжений в зоне концентрации для модели несущего кронштейна

На основании проанализированного характера работы несущего кронштейна была выбрана тестовая модель в виде консольной балки, прикрепленной к вертикальной пластине (рис. 6). Модель представляет собой пластинчатую систему, составленную из изопараметрических оболочечных КЭ типа № 44.

Закрепления принимались по верхней и нижней кромкам опорной пластины. Нагружение задавалось в виде сосредоточенной силы величиной 1000 кг, приложенной на консоли балки.

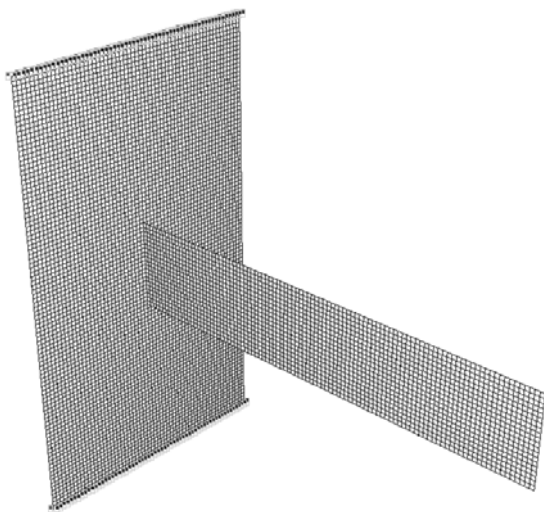


Рис. 6. Тестовая КЭ модель консольной балки

Высота поперечного сечения консольной балки принималась 100 мм и оставалась неизменной во всех сериях вычислительных экспериментов. Толщина поперечного сечения изменялась и принималась равной 10 и 20 мм. Вылет консоли составил 500 мм.

Размеры вертикальной пластины принимались 500×300 мм. Толщина варьировалась в ходе проведения серии расчетов и принималась 10, 20, 40 и 70 мм. Также отдельно рассматривался случай отсутствия вертикальной пластины, когда консольная балка была защемлена в основании. Это теоретически соответствует случаю бесконечно большой толщины вертикальной пластины.

Расчеты выполнялись в две серии. Для серии № 1 толщина консольной балки принималась $t = 10$ мм, для серии № 2 – $t = 20$ мм. Для обеих серий расчеты выполнялись с последовательным двухкратным сгущением сетки КЭ – 5, 2,5 и 1,25 мм. Задача решалась в линейной постановке.

Полученные результаты расчетов для серии № 1 приведены в табл. 1 – 6.

В табл. 1 – 5 приведены значения максимальных эквивалентных напряжений (в МПа) по верхней кромке консольной балки в угловой точке (0·t), а также в точках на расстоянии $0,5 \cdot t$ и $1,5 \cdot t$. В качестве параметра t принималась толщина поперечного сечения консольной балки. Также, в таблицах приведено значение на-

пряжений, рассчитанное с помощью LSE-подхода.

Таблица 1

**Эквивалентные напряжения (серия № 1)
для модели консольной балки (10 мм)**

Размер КЭ, мм	1,5· <i>t</i>	0,5· <i>t</i>	0· <i>t</i>	LSE
5	585	1253	1783	1587
2,5	570	1194	2238	1506
1,25	568	1158	2687	1453

Таблица 2

**Эквивалентные напряжения (серия № 1)
для модели консольной балки (20 мм)**

Размер КЭ, мм	1,5· <i>t</i>	0,5· <i>t</i>	0· <i>t</i>	LSE
5	356	524	655	608
2,5	354	495	775	566
1,25	354	485	913	551

Таблица 3

**Эквивалентные напряжения (серия № 1)
для модели консольной балки (40 мм)**

Размер КЭ, мм	1,5· <i>t</i>	0,5· <i>t</i>	0· <i>t</i>	LSE
5	287	349	405	380
2,5	287	329	469	350
1,25	287	323	549	341

Таблица 4

**Эквивалентные напряжения (серия № 1)
для модели консольной балки (70 мм)**

Размер КЭ, мм	1,5· <i>t</i>	0,5· <i>t</i>	0· <i>t</i>	LSE
5	278	325	372	349
2,5	278	307	429	322
1,25	278	302	498	314

Таблица 5

**Эквивалентные напряжения (серия № 1)
для модели консольной балки (заделка)**

Размер КЭ, мм	1,5· <i>t</i>	0,5· <i>t</i>	0· <i>t</i>	LSE
5	275	320	366	343
2,5	275	302	422	316
1,25	275	296	494	307

В табл. 6 приведены значения максимальных вертикальных прогибов для всех рассчитанных случаев (в мм). Значение прогиба принималось по средней линии консольной балки.

Таблица 6

**Прогибы (серия № 1)
для модели консольной балки**

Размер КЭ, мм	5	2,5	1,25
10 мм	18,4	18,5	18,5
20 мм	4,6	4,6	4,6
40 мм	2,7	2,7	2,7
70 мм	2,5	2,5	2,5
заделка	2,5	2,5	2,5

Полученные результаты расчетов для серии № 2 приведены в табл. 7 – 12.

В табл. 7 – 11 приведены значения максимальных эквивалентных напряжений (в МПа) по верхней кромке консольной балки в угловой точке (0·*t*), а также в точках на расстоянии 0,5·*t* и 1,5·*t*. В качестве параметра *t*, как и в серии тестовых задач № 1, принималась толщина консольной балки. Также, в таблицах приведено значение напряжений, рассчитанное с помощью LSE-подхода.

Таблица 7

**Эквивалентные напряжения (серия № 2)
для модели консольной балки (10 мм)**

Размер КЭ, мм	1,5· <i>t</i>	0,5· <i>t</i>	0· <i>t</i>	LSE
5	183	515	1237	681
2,5	182	488	1601	641
1,25	182	482	1938	632

Таблица 8

**Эквивалентные напряжения (серия № 2)
для модели консольной балки (20 мм)**

Размер КЭ, мм	1,5· <i>t</i>	0,5· <i>t</i>	0· <i>t</i>	LSE
5	154	252	436	301
2,5	155	246	521	292
1,25	155	245	615	290

Таблица 9

**Эквивалентные напряжения (серия № 2)
для модели консольной балки (40 мм)**

Размер КЭ, мм	$1,5 \cdot t$	$0,5 \cdot t$	$0 \cdot t$	LSE
5	139	160	220	171
2,5	139	158	256	168
1,25	139	158	300	168

Таблица 10

**Эквивалентные напряжения (серия № 2)
для модели консольной балки (70 мм)**

Размер КЭ, мм	$1,5 \cdot t$	$0,5 \cdot t$	$0 \cdot t$	LSE
5	136	145	189	150
2,5	136	144	218	148
1,25	136	144	259	148

Таблица 11

**Эквивалентные напряжения (серия № 2)
для модели консольной балки (заделка)**

Размер КЭ, мм	$1,5 \cdot t$	$0,5 \cdot t$	$0 \cdot t$	LSE
5	135	141	183	144
2,5	135	140	211	143
1,25	135	140	247	143

В табл. 12 приведены значения максимальных вертикальных прогибов для всех рассчитанных случаев (в мм). Значение прогиба, как и в серии тестовых задач № 1, принималось по средней линии консольной балки.

Таблица 12

**Прогибы (серия № 2)
для модели консольной балки**

Размер КЭ, мм	5	2,5	1,25
10 мм	16,7	16,8	16,9
20 мм	3,3	3,3	3,4
40 мм	1,5	1,5	1,5
70 мм	1,3	1,3	1,3
заделка	1,2	1,2	1,2

Картина напряженного состояния оставалась качественно одинаковой во всех рассмотренных случаях (рис. 7). Зона концентрации напряжений выделена более темным цветом.

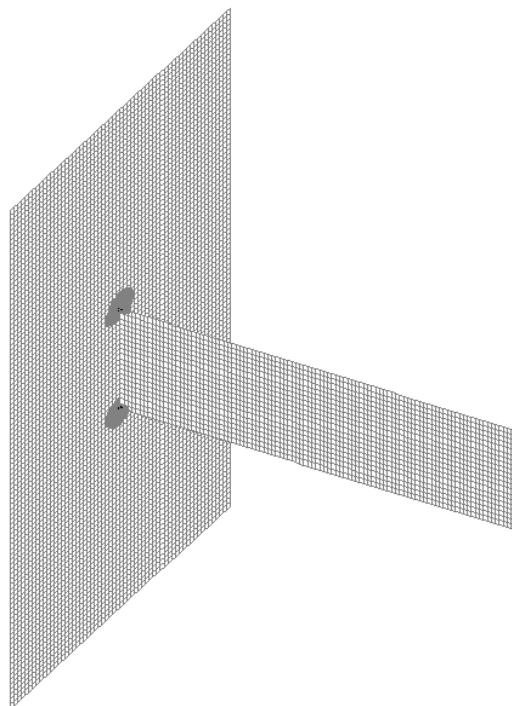


Рис. 7. Напряженное состояние
тестовой модели консольной балки

Как видно из полученных результатов, при сгущении КЭ сетки сходимость напряжений для угловой точки для всех рассмотренных вариантов, рассчитанных с помощью МКЭ, отсутствует. Однако, на определенном удалении от угловой точки (в частности, уже на расстоянии $0,5 \cdot t$) наблюдается достаточно устойчивая сходимость. В свою очередь, применение технологии LSE также позволяет получить сходимость напряжений и в угловой точке, причем наблюдается так называемая сходимость «сверху».

Так, для серии № 1 при толщине вертикальной пластины 10 мм откорректированное значение эквивалентных напряжений по технологии LSE для угловой точки составляет примерно 1400 МПа, при толщине 20 мм – 520 МПа, при толщине 40 мм – 3300 МПа, при толщине 70 мм – 300 МПа и для случая жесткой заделки консольной балки – 300 МПа. Заметим, что теоретическое значение напряжения в угловой точке, вычисленное методами сопряжения для случая жестко зашпеленной консольной балки в данной серии тестовых задач, также составляет величину 300 МПа.

Для серии № 2 при толщине вертикальной пластины 10 мм откорректированное значение эквивалентных напряжений по технологии LSE для угловой точки составляет примерно 620 МПа, при толщине 20 мм – 280 МПа, при толщине 40 мм – 165 МПа, при толщине 70 мм – 145 МПа и для случая жесткой заделки консольной балки – 140 МПа. Заметим, что теоретическое значение напряжения в угловой точке, вычисленное методами сопромата для случая жестко защемленной консольной балки в данной серии тестовых задач, составляет величину 150 МПа.

С величиной перемещений подобных проблем со сходимостью не возникает. Наблюдается достаточно устойчивый результат независимо от крупности КЭ сетки и толщин конструктивных элементов.

Единственным вопросом, остающимся открытым в данной ситуации, является вопрос об адекватности полученных значений напряжений, в особенности для случаев тонкостенных конструкций. Даже для толщины 20 мм уровень напряжений намного превышает величину допускаемых напряжений сталей, из которых чаще всего изготавливаются большинство строительных и машиностроительных конструкций (230...260 МПа). Принимая во внимание, что толщина используемых в реальных конструкциях стальных листов во многих случаях составляет 8...16 мм, получаемый уровень напряжений следует считать достаточно высоким.

Возвращаясь к примеру несущего кронштейна (см. рис. 3), отметим, что применив для этого случая технологию метода HSS с использованием LSE, можно получить напряжение в угловой точке порядка 1000 МПа. Однако данный кронштейн с аналогичной конструкцией успешно эксплуатируется в одной из тяговых машин отечественного железнодорожного парка уже на протяжении около 10 лет. Поэтому полученный результат требует более тщательной проверки.

Рассмотрим еще один пример строительной конструкции – бункер для угля. Его КЭ модель приведена на рис. 8 (в силу симметрии конструкции смоделирована ее четверть). Картина напряженного состояния, полученная по результатам расчета МКЭ, приведена на рис. 9. Одной из зон концентрации напряжений является зона стыковки горизонтальных ребер жесткости со стенкой (на рис. 9 отмечено стрелками).

Применив технологию метода HSS с использованием LSE, можно получить напряжение в этой зоне порядка 550 МПа. Однако, как и в случае с несущим кронштейном, бункерные емкости аналогичной конструкции эксплуатируются на различных предприятиях в течение десятков лет, испытывая при этом не только статические, но и динамические воздействия. Такие факты вызывают больше вопросов, чем дают ответов.

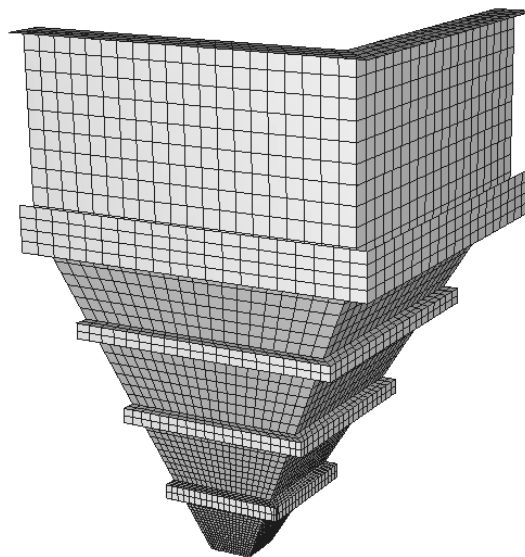


Рис. 8. КЭ модель бункера для угля

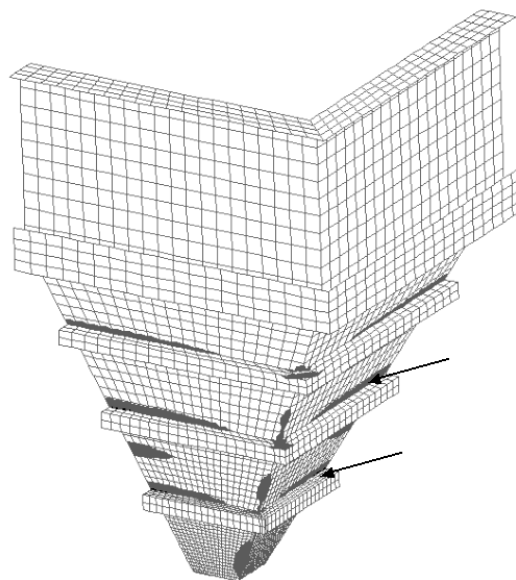


Рис. 9. Напряженное состояние модели бункера для угля

Таким образом, применение технологии метода HSS для корректировки результатов расчета МКЭ требует более детального анализа и, возможно, постановки и проведения специальных экспериментальных исследований.

Выводы

На основе проведенных исследований возможно констатировать следующее.

1. В зоне стыковки пластинчатых КЭ под любым углом, отличным от нуля, имеет место сингулярность по напряжениям, а сама зона является «особой точкой», в которой простое считывание результатов МКЭ является необоснованным.

2. Технология корректировки результатов расчета напряжений МКЭ с помощью HSS метода на основе LSE позволяет получить их количественную сходимость для «особых точек» независимо от густоты КЭ сетки.

3. Уровень откорректированных напряжений существенно возрастает с уменьшением толщины элементов конструкции и в отдельных случаях многократно превышает ожидаемый теоретический уровень, что недостаточно хорошо увязывается с накопленным опытом проектирования аналогичных конструкций.

4. По всей видимости, требуется экспериментальное изучение данного вопроса с целью установления окончательной возможности использования технологии метода HSS для корректировки результатов МКЭ.

5. Возможно, одним из путей, позволяющих разрешить проблему с сингулярностью напряжений в МКЭ, был бы отказ от использования формы метода перемещений и переход к форме метода сил, а возможно и к комбинированной форме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О. Зенкевич : [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1975. – 542 с.
2. Стренг, Г. Теория метода конечных элементов [Текст] / Г. Стренг, Дж. Фикс : [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1977. – 350 с.
3. Розин, Л. А. Основы метода конечных элементов в теории упругости [Текст] / Л. А. Розин. – Л.: ЛПИ, 1972. – 77 с.
4. Бате, К. Численные методы анализа и метод конечных элементов [Текст] / К. Бате, Е. Вилсон : [пер. с англ.]. – М.: Стройиздат, 1982. – 200 с.
5. Основы метода конечных элементов [Текст] / В. И. Большаков [и др.]. – Д.: ПГАСА, 2000. – 255 с.
6. Розин, Л. А. Метод конечных элементов. Расчет гидротехнических сооружений на ЭВМ [Текст] / Л. А. Розин. – Л.: Энергия, 1971. – 214 с.

7. Бурман, З. И. Расчет тонкостенных подкрепленных оболочек методом конечных элементов с применением ЭЦВМ [Текст] / З. И. Бурман, В. И. Лукашенко, М. Т. Тимофеев. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1973. – 570 с.
8. Постнов, В. А. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций [Текст] / В. А. Постнов, В. С. Калинин, Д. М. Ростовцев. – Л.: Судостроение, 1974. – 342 с.
9. Немчинов, Ю. И. Расчет пространственных конструкций (методом конечных элементов) [Текст] / Ю. И. Немчинов. – К.: Будівельник, 1980. – 230 с.
10. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений [Текст] / А. С. Городецкий [и др.]. – М.: Транспорт, 1981. – 143 с.
11. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – К.: ВПП «Компас», 2001. – 448 с.
12. Алямовский, А. А. Solid Works / COSMOS Works. Инженерный анализ методом конечных элементов [Текст] / А. А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.
13. SCAD для пользователя [Текст] / В. С. Карпиловский [и др.]. – К.: ВВП Компас, 2000. – 332 с.
14. Басов, К. А. ANSYS в примерах и задачах [Текст] / К. А. Басов; под общ. ред. Д. Г. Красковского. – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.
15. Fricke, W. Recommended Hot-Spot Analysis Procedure for Structural Details of Ships and FPSOs Based on Round-Robin FE Analysis [Electron. resource] / W. Fricke // Int'l J. of Offshore and Polar Engineering. – 2002. – Vol. 12, No 1. – CD-R.
16. Maddox, C. J. Hot-Spot Stress Design Curves for Fatigue Assessment of Welded Structures [Electron. resource] / C. J. Maddox // Int'l J. of Offshore and Polar Engineering. – 2002. – Vol. 12, No 2. – CD-R.
17. Nazari, A. Application of the Hot Spot Stress Method to the Fatigue Assessment of Hollow Section Shiploader Boom Connections [Electron. resource] / A. Nazari, J. Durack // Proc. of 5th Australasian Congr. on Appl. Mechanics ACAM-2007. – Brisbane, 2007. – CD-R.
18. Bard, W. T. Fatigue Assessment of Aluminum Ship Details by Hot-Spot Stress Approach [Text] / W. T. Bard, W. Xiaozhi, B. Stig // ABS Technical Papers, 2007. – P. 255-271.

Поступила в редколлегию 16.05.2011.

Принята к печати 25.05.2011.

Н. В. ЗУЕВСКАЯ (НТУУ «КПИ», Киев), С. А. ДВОРНИК, В. Е. ГУБАШОВА (СП «Основа-Солсиф»), Ю. В. ВОЛЫК (НТУУ «КПИ», Киев)

ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ГЛУБОКИХ ВЫЕМОК

В статті наведено порівняння зміни напружено-деформованого стану ґрунту та елементів огорожувальної конструкції при влаштуванні глибоких виїмок за результатами використання двох різних моделей розрахункової програми PLAXIS.

Ключові слова: напружено-деформований стан, ґрунт, огорожувальна конструкція, глибока виїмка, PLAXIS

В статье приведено сравнение изменения напряженно-деформированного состояния грунта и элементов ограждающей конструкции при устройстве глубоких выемок по результатам использования двух различных моделей расчетной программы PLAXIS.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, грунт, ограждающая конструкция, глубокая выемка, PLAXIS

The article presents a comparison of modification of the strained-and-stressed state for the soil and in the elements of barrier structure during carrying out a deep excavation. The results are given using two different models of the soil in computation software PLAXIS.

Keywords: strained-and-stressed state, soil, barrier structure, deep excavation, PLAXIS

При устройстве глубоких выемок для выполнения транспортных туннелей, паркингов и других подземных сооружений стоит важная задача правильного расчета конструкции ограждения котлована, которая в свою очередь усложняется присутствием существующих зданий в непосредственной близости к глубокой выемке котлована, что особенно характерно для строительства в условиях стесненной городской застройки. В этом случае, как правило, для ограждения глубоких котлованов применяются гибкие подпорные стены, устраиваемые с использованием свай, шпунтов, технологии «стена в грунте» и т.д.

Для расчета ограждающих конструкций и моделирования поведения грунтов при глубоких выемках, в настоящее время существуют возможность применения различных геотехнических программ.

В статье представлен вариант расчета ограждающей конструкции на участке строительства по ул. Паньковская, 14-б в г. Киеве с использованием расчетной программы PLAXIS на примере различных моделей поведения грунтов.

PLAXIS – это расчетная программа, использующая схемы конечных элементов в двумерной системе, которая разработана специально для анализа деформаций и устойчивости в различных геотехнических условиях. Реальные

ситуации могут быть сведены к плоской или осесимметричной модели.

Идея метода конечных элементов заключается в том, что расчетная система заменяется (аппроксимируется) системой с конечным числом степеней свободы, т.е. производится дискретизация системы на отдельные элементы, соединенные между собой в узлах. Работа дискретизированной системы будет определяться взаимодействием отдельных конечных элементов. Решением задачи определения напряженно-деформируемого состояния расчетной системы методом конечных элементов будет являться такое напряженно-деформируемое состояние дискретизированной системы, при котором удовлетворяются условия совместности и равновесия. [3]

Моделирование может быть нелинейным, зависящим от времени и анизотропным. Для моделирования поведения грунта необходимы специальные схемы, чтобы учесть внутрислойное давление независимо от того, является оно гидростатическим или нет. Хотя моделирование грунта представляет собой важную задачу, для многих геотехнических проектов требуется еще моделирование конструкции и системы ее взаимодействия с грунтом. Программа PLAXIS является очень многофункциональной, что позволяет рассматривать все аспекты сложных геотехнических систем [1].

Программа имеет удобный графический интерфейс, позволяющий пользователю быстро создавать геометрическую модель и сетку конечных элементов на основании вертикального разреза проектируемого сооружения.

Итак, в программе PLAXIS есть возможность моделировать поведение грунтов, используя следующие модели [2]:

- модель Мора-Кулона (*Mohr-Coulomb Model*);
- модель трещиноватых скальных пород (*Jointed Rock Model*);
- модель твердеющего грунта (*Hardening Soil Model*);
- модель для мягких грунтов (*Soft Soil Model*);
- модель для мягких текучих грунтов (*Soft Soil Creep Model*).

Ниже рассмотрим модели грунтов, используемые для решения поставленной задачи, описание их применений, а так же параметры, необходимые в каждой модели.

Модель Мора-Кулона (*Mohr-Coulomb Model*)

MC – упруго-пластичная модель Мора-Кулона включает в себя пять входных параметров: модуль Юнга (E), коэффициент Пуассона (ν), сцепление (c), угол трения (ϕ) и угол дилатансии (ψ). Эта модель Мора-Кулона представляет приближение «первого порядка» поведение грунта или скального грунта. Рекомендовано использовать эту модель как первый анализ рассматриваемой проблемы. Для каждо-

го слоя одна оценка постоянной средней жесткости. Благодаря этой постоянной жесткости, расчеты сравнительно быстрые. Кроме этого пять параметров модели, упомянутые выше, и начальные условия грунта играют существенную роль в наибольших проблемах грунтовых деформаций.

Модель твердеющего грунта (*Hardening Soil Model*)

HS – улучшенная модель моделирования поведения грунта. Как для модели Мора-Кулона, предельные состояния давления описаны посредством угла внутреннего трения ϕ , сцепления c , и угла дилатансии ψ . Однако, жесткость грунта описана более точно, используя три различных входных жесткости: модуль деформации при нагрузке E_{50} , модуль деформации при разгрузке E_{ur} , одометрический модуль деформации E_{oed} . В отличие от модели *MC*, модель *HS* учитывает тот фактор, что все жесткости возрастают с давлением.

Сравнение результатов использования различных моделей показано на примере ограждающей конструкции по объекту: «Офисно-жилой комплекс по ул. Паньковская, 14-б и ул. Саксаганского/Паньковской, 20/14-б». Расчетная схема представляет собой ограждение котлована (буроабитивные сваи $\varnothing 820$ мм), разьединительную диафрагму (буроинъекционные сваи $\varnothing 180$ мм) и фундамент существующего здания по ул. Саксаганского, 70/16.

Описание элементов расчетной схемы приведено в табл. 1.

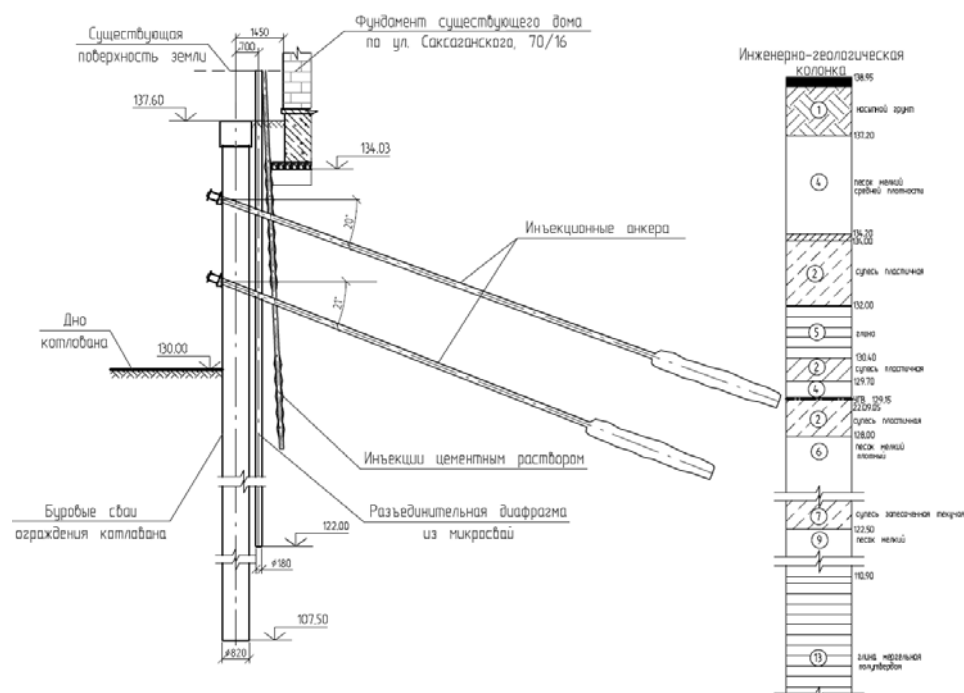


Рис. 1. Расчетная схема

Таблица 1

Элементы расчетной схемы

Элемент	Отметка верха	Отметка низа	Длина, м	Диаметр, мм	Шаг, м
Ограждение котлована – сваи Ø820 мм	136,85	107,50	29,35	820	1,0
Разъединительная диафрагма – микросваи Ø180 мм	139,00	122,00	17	180	0,2
Инъекционные грунтовые анкера	135,50	20°	18		1,0
	133,10	21°	16		2,0

Инженерно-геологические условия площадки строительства характеризуются грунтами, физико-механические свойства которых представлены в табл. 2:

Таблица 2

Физико-механические характеристики грунтов

№ п/п	Наименование грунта	Показатели характеристик					
		Плотность грунта ρ , т/м ³	Плотность сухого грунта ρ_d , т/м ³	Коэффициент по- ристости e	Удельное сцепление c , кПа	Угол внутр. трения ϕ , град.	Модуль дефор- мации E , МПа
1	Супесь, местами пылеватая, твердая и пластичная	1,74	1,57	0,701	14	25	14
2	Суглинок мягкопластичный	1,88	1,57	0,702	25	21	16
3	Глина тугопластичная, местами полутвердая	1,93	1,57	0,702	22	18	14
4	Песок мелкий кварцевый, маловлажный, влажный и насыщенный водой, средней плотности	1,96	1,46	0,856	43	16	15
5	Глина с прослоями супеси слабозаторфованная, текучепластичная	1,94	1,58	0,677	1,0	31	25
6	Песчаник глинистый с прослойками песчаника крепкого, твердый	1,68	1,15	1,089	3,0	12	3
7	Песок средней крупности, средней плотности	1,97	1,60	0,656	2,0	32	28
8	Суглинок, пылеватый, местами с прослойками глины («наглинок»)	2,00	1,55	0,735	26,0	23	20
9	Глина мергельная («киевский мергель»)	2,05	1,60	0,70	60	20	25

Рассмотрим и сравним полученные при расчете данные изгибающих моментов элементов ограждения котлована, их горизонтальные перемещения, а также изменения усилий в анкерах. На рис. 2 и 3 представлены цветовые поля

деформаций в расчетной модели. Рис. 4 показывает разницу в вертикальных перемещениях дна выемки при использовании различных грунтовых моделей, представленных в программе PLAXIS.

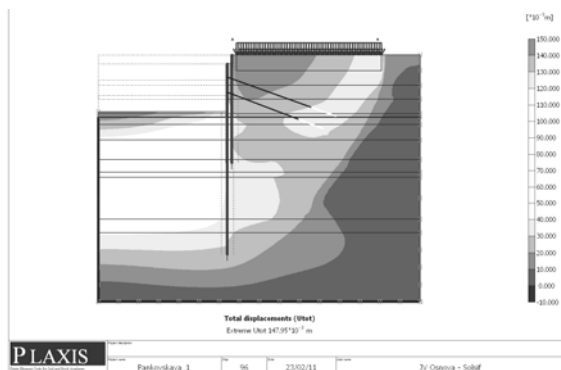


Рис. 2. Общие перемещения расчетной модели при использовании модели грунта *MC*

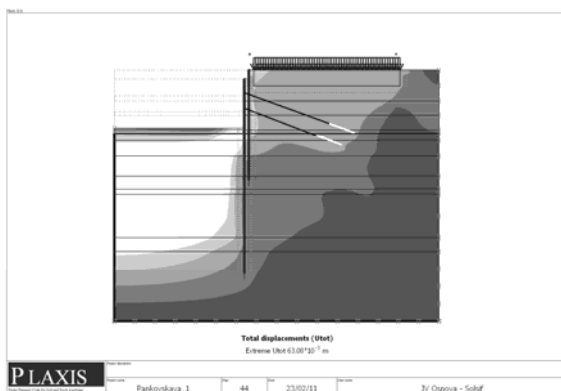


Рис. 3. Общие перемещения расчетной модели при использовании модели грунта *HS*

Эпюры вертикального перемещения поверхности дна котлована (рис. 4) показывают численное значение высоты поднятия грунта после полной выемки. Очевидно, что при использовании модели *HS* вертикальные перемещения меньше более чем в два раза, чем при использовании модели *MC*. Такой результат основан на том, что модель *HS* учитывает модуль упругости грунта при разгрузке, полученный при трехосном испытании, который не используется в расчетах модели *MC*.

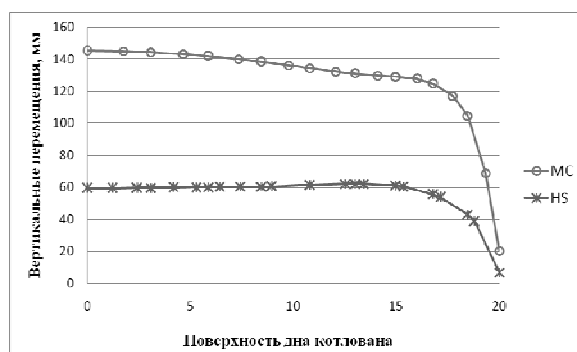


Рис. 4. Вертикальные перемещения поверхности дна котлована при использовании двух моделей грунта

Ниже приведены графики сравнения изгибающих моментов (Bending moment, kN·m) и горизонтальных перемещений (Horizontal displacements, mm) свай ограждения котлована и микросвай разьединительной диафрагмы.

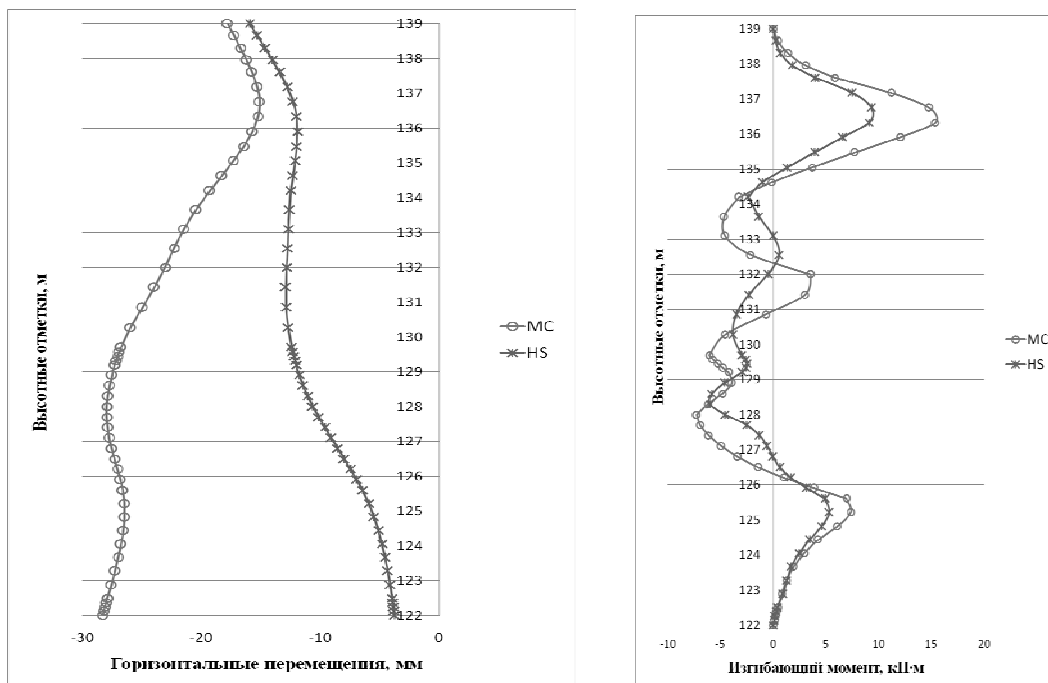


Рис. 5. Микросвай разьединительной диафрагмы

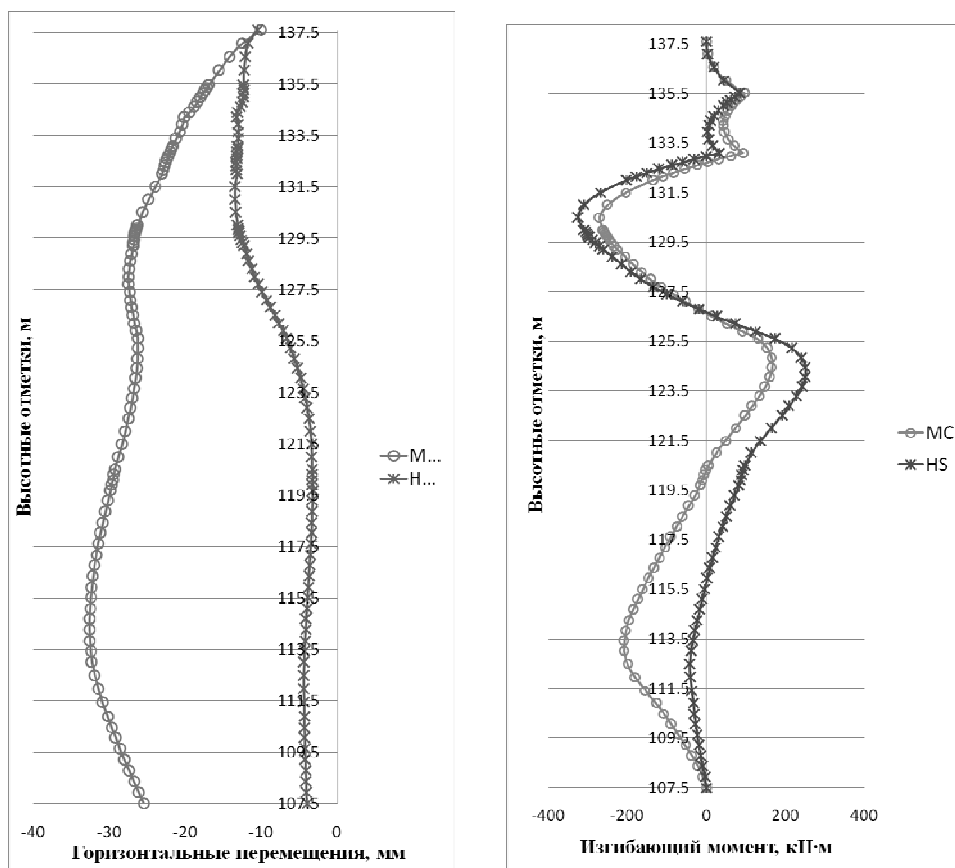


Рис. 6. Буровые сваи ограждения котлована

Таблица 3

Сравнение результатов расчета по двум выбранным моделям

Мо- дель	Сваи Ø820 мм		Сваи Ø180 мм		Вертикальное перемещение поверхности дна котлована	Коэффициент безопасности
	Изгибающий момент, кН·м	Перемещения, мм	Изгибающий момент, кН·м	Перемещения, мм		
MC	271,0	32,62	15,4	28,31	145	2,112
HS	324,5	13,39	9,4	15,94	62	2,032

Сравнивая результаты табл. 3, необходимо принимать во внимание то, что разъединительная диафрагма не используется как конструкция, воспринимающая горизонтальное давления, а только как элемент, разделяющий фундаменты возводимого здания и существующего.

Ниже приведена таблица сравнения максимальных значений напряжений в грунтовом массиве, полученных при помощи программы PLAXIS, после выполнения ограждения котлована и полной выемки грунта до проектной отметки (табл. 4).

На рис. 7 и 8 показаны касательные напряжения, возникшие в грунтовом массиве расчетной модели.

Таблица 4

Максимальные значения напряжений в грунтовом массиве

Напряжения в грунте	Модель MC	Модель HS
Касательные напряжения, кН/м ²	129,49	103,15
Горизонтальные суммарные напряжения, кН/м ²	634,07	645,75
Вертикальные суммарные напряжения, кН/м ²	789,40	790,76

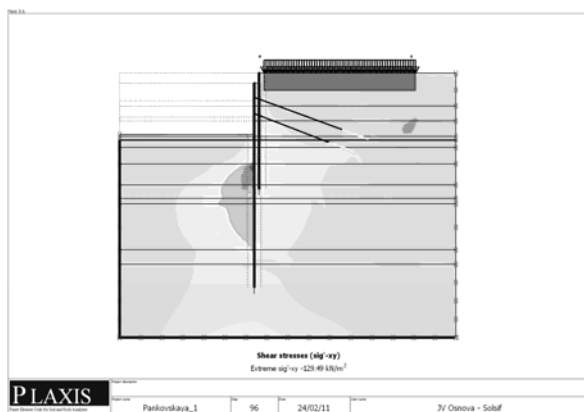


Рис. 7. Касательные напряжения (Shear stresses, kN/m^2) – модель *MC*

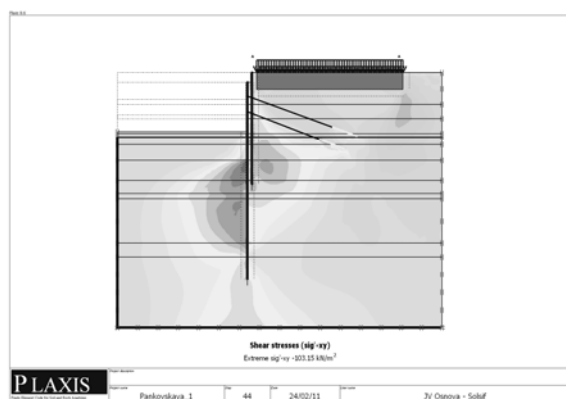


Рис. 8. Касательные напряжения (Shear stresses, kN/m^2) – модель *HS*

Используя также одну из возможностей расчетной программы PLAXIS, мы можем проследить изменения усилий натяжения в корне анкеров после полной выемки. Анкера верхнего яруса корнем находятся в глинах и супеси. Анкера нижнего яруса корнем находится в следующих грунтах: песок мелкий и супесь. Как показывают результаты расчета – потери усилий предварительного натяжения происходят больше при использовании модели *MC*, чем при *HS* (на примере верхнего яруса – 3,8 % потерь при *MC* против 1,3 % при *HS*), то же происходит и с общими перемещениями анкеров (37,44 мм при *MC* и 11,54 мм при *HS*). Результаты проведенных расчетов являются теоретическими и подлежат обязательной проверке экспериментальным путем непосредственно на площадке строительства.

Выводы

На основании расчетов, полученных при использовании программы PLAXIS, можно сделать некоторые выводы по сравнению применения таких моделей, как модель Мора-Кулона (*Mohr-Coulomb Model*) и модель твердеющего грунта (*Harden Soil Model*):

- как при *MC*, так и *HS* не происходит существенных изменений изгибающих моментов элементов расчетной схемы, перемещения же, напротив, меньше при *HS*;
- вертикальные перемещения поверхности дна выемки существенно отличаются по результатам расчета двух моделей. Необходимо принимать во внимание возможность влияния в расчете больших деформаций дна котлована на горизонтальные перемещения конструкции ограждения;
- применение в расчете различных моделей поведения грунта и их взаимодействия с элементами ограждающей конструкции не влечет за собой изменение устойчивости расчетной схемы (коэффициент безопасности не претерпевает существенных изменений);
- модель *HS* дает меньшие перемещения корня грунтовых анкеров и потери усилий предварительного натяжения.

После выполнения сравнения двух часто используемых моделей расчетного комплекса PLAXIS также необходимо отметить, что получаемые результаты зависят не только от квалификации инженера-проектировщика, но и от качества определения физико-механических характеристик грунтов на строительной площадке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Plaxis Version 8. General information [Electron. resource] / Plaxis bv, AN Delft, The Netherlands. – Access mode: www.plaxis.nl
2. Plaxis Version 8. Material models manual [Electron. resource] / Plaxis bv, AN Delft, The Netherlands. – Access mode: www.plaxis.nl
3. Основания и фундаменты [Текст] : справочник / под ред. проф. Г. И. Швецова. – М.: Высш. шк., 1991. – С. 44-46.

Надійшла до редколегії 31.03.2011.

Прийнята до друку 08.04.2011.

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МІЖПО- ВЕРХОВОГО ПЕРЕКРИТТЯ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО РІШЕННЯ

За результатами розрахунку міцності похилих перерізів конструкцій перекриттів здійснено техніко-економічне порівняння вартості, трудомісткості, витрат бетону та арматури з наступним визначенням найбільш економічного рішення перекриття.

Ключові слова: конструкція плоского перекриття, розрахунок перекриття, напружено-деформований стан, техніко-економічні показники

По результатам расчета прочности нормальных сечений конструкций перекрытий выполнено технико-экономическое сравнение стоимости, трудоемкости, расхода бетона и арматуры с последующим определением самого экономичного решения перекрытия.

Ключевые слова: конструкция плоского перекрытия, расчет перекрытия, напряженно-деформированное состояние, технико-экономические показатели

According to the results of strength calculation of normal cross-sections of intermediate floor constructions the feasibility comparison of cost, labour capacity, consumption of concrete and reinforcement is performed with subsequent determination of the most economical solution of the intermediate floor.

Keywords: flat slab design, calculation of intermediate floor, strained-and-stressed state, technical-economic indicators

Стан будівельної галузі та перспективи її розвитку, в глобальному відношенні, обумовлені загальним станом економіки України, яка переживає загальносвітову кризу. Але залишається досить багато проблем, які потребують подальшого рішення безпосередньо в самій галузі. На сучасному етапі її розвитку в Україні ми не можемо говорити про будь-яку конкурентоспроможність цієї галузі. Якщо на регіональному рівні ми ще можемо простежити тенденцію верховенства будівельних організацій центральних районів та великих міст-мільонерів у зв'язку з їх значними потужностями та інвестиційною привабливістю, то на глобальному рівні будівельна галузь України програє через брак і часткову відсутність фінансових і організаційних перетворень і як наслідок, збереження досить низької культури виробництва і відсутність значних виробничих потужностей.

Однією з найбільших проблем в Україні залишається житлово-комунальна проблема, яка полягає в незабезпеченості більшості населення України власним житлом із-за відсутності достатньої кількості житлового фонду, а також досить висока вартість житла на тлі соціальних та економічних проблем, викликаних світовою кризою. Ринок житла в Україні характеризується низькою ліквідністю, значним попитом, високими цінами, які зростають з кожним роком, циклічним характером.

Вирішенням проблеми вартості житла, безпосередньо в самій будівельній галузі є, зни-

ження собівартості виготовлення будівельної продукції шляхом зниження матеріалоемності, трудомісткості виробництва робіт в цілому, а також вибір найоптимальніших і найекономічніших з цієї точки зору конструкцій.

При будівництві досить трудомісткими являються роботи з влаштування перекриттів, як монолітних так і збірних. Вартість арматурних і опалубних робіт при цьому складає від 25 до 50 %, а трудомісткість – 40...70 % від загальної вартості та трудомісткості будівельно-монтажних робіт. Цими роботами безпосередньо на будівництві зайнято приблизно 35 % робітників, які безпосередньо займаються зведенням конструкцій, або 5 % всіх робітників на будівництві. Саме тому пошук шляхів збільшення індустріалізації, росту продуктивності праці, скорочення вартості арматурних та опалубних робіт, а також раціональне використання матеріалів, в першу чергу сталі, дозволить знизити собівартість проведення будівельно-монтажних робіт і таким чином понизити загальну вартість житла, що в тандемі з проведенням ефективної економічної політики держави дозволить вирішити гостру житлово-комунальну проблему.

В результаті проведеної науково-пошукової роботи було здійснено аналіз та порівняння напружено-деформованого стану різних типів перекриттів на прикладі конкретної будівлі та вибір найбільш економічного та найменш трудомісткого варіанту перекриття для зниження загальної вартості будівництва, а також скоро-

чення його термінів, що дає можливість на короткий період заморожувати кошти в незавершеному будівництві.

В статті представлено відповідні графічні та ілюстративні матеріали у вигляді залежностей та графіків. Попередньо зробивши розрахунки матеріалоємності та трудомісткості виробництва обраних для аналізу типів перекриттів, ми можемо наглядно продемонструвати основні техніко-економічні показники того чи іншого варіанту перекриття. Це дає можливість, враховуючи матеріальну базу і можливості виконання відповідного комплексу робіт підрядної організації, обрати найекономічніший тип перекриття.

Для визначення напружено-деформованого стану і порівняння техніко-економічних показників оберемо чотири типи конструктивних схем перекриттів:

Монолітне залізобетонне перекриття з прихованими ригелями.

Монолітне залізобетонне безкапітельне перекриття.

Збірно-монолітне залізобетонне перекриття з використанням круглопустотних плит.

Змішане збірно-монолітне перекриття за технологією «Пластбау».

Данні типи перекриттів є найбільш вживаними у будівництві житлових будівель. Виконаємо конструювання обраних типів перекриттів з метою визначення матеріалоємності та трудомісткості виробництва, оскільки саме ці два показники найбільше впливають на вартість готової конструкції.

Розрахунок основних конструктивних елементів, обраних для порівняння типів перекриттів, виконаємо за першою групою граничних станів в обчислювальному програмному комплексі SCAD, задавши скінченно-елементну модель відповідних конструктивних елементів. Широкі можливості даного програмного комплексу дозволяють не лише провести основні розрахунки, а й виконати конструювання заданих елементів перекриття і вивести необхідні для аналізу напружено-деформованого стану графічні матеріали. Розрахунок основних техніко-економічних показників, попередньо сконструйованих типів перекриттів, виконаємо в програмному комплексі АВК-5.

Монолітне залізобетонне перекриття з прихованими ригелями

За отриманими площами робочої арматури, визначеними в результаті розрахунку, підбираємо необхідну кількість стержнів арматури класу А400С. Пливу армуємо в'язаними сітками з

поперечною та поздовжньою робочою арматурою, які встановлюємо відповідно до полів розподілення моментів. Приховані ригелі армуємо об'ємними в'язаними каркасами, які встановлюємо в площині плити. Мінімальний діаметр робочої арматури 10мм. Принципова конструкція плоского перекриття з армуванням плити просторовими арматурними каркасами представлена на рис. 1.

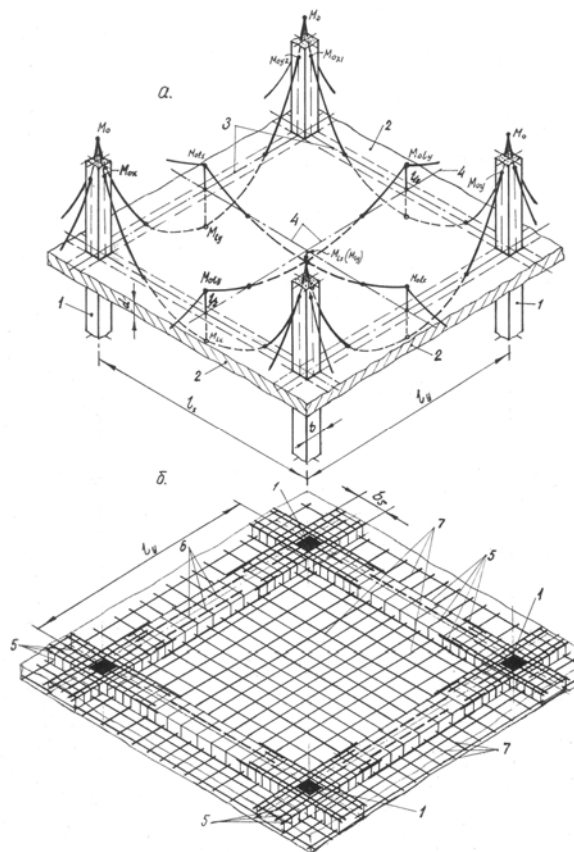


Рис. 1. Принципова схема об'ємного армування плити плоского перекриття багатоповерхової будівлі:
а – загальний вигляд осередку фрагмента каркаса і розподіл згинальних моментів в перерізах плити перекриття,
б – схема об'ємного армування плити;

1 – колони, 2 – плита перекриття, 3 – створ колон, 4 – перетин у середині прольоту осередку перекриття, 5 – об'ємні арматурні каркаси «умовних» ригелів в створах колон, 6 – поперечна арматура (хомути) об'ємних арматурних каркасів, 7 – нижні плоскі арматурні сітки осередків перекриття

Монолітне залізобетонне безкапітельне перекриття

Відповідно до, визначених за результатами розрахунку, ізopolів розподілення моментів в даній плиті перекриття, підбираємо необхідну кількість та крок робочої арматури. Пливу армуємо в'язаними сітками з поперечною та поздовжньою робочою арматурою. Мінімальний діаметр робочої арматури 12 мм. Принципова

конструкція плоского монолітного безкапітельного перекриття представлена на рис. 2.

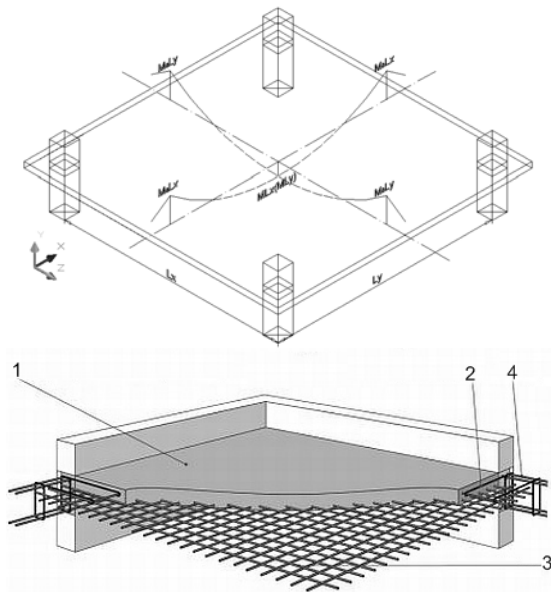


Рис. 2. Принципова конструкція плоского монолітного безкапітельного перекриття:
1 – бетон монолітного перекриття, 2 – верхня робоча арматура плити, 3 – нижня робоча арматура плит, 4 – бортова (обв'язувальна) балка

Збірно-монолітне залізобетонне перекриття з використанням круглопустотних плит

Багатопустотні плити безопалубного формування виготовляють необхідної довжини згідно проекту. Номінальна ширина складає 1200, 1500 мм. Наскрізні поздовжні пустоти можуть мати круглі, овальні, прямокутні і інші форми перерізу. Вздовж бокових поверхонь виконані поздовжні пази, призначені для утворення між плитного шва омоноличування. Плити армуються попередньо напруженою арматурою класу А800С відповідно до розрахунку за першою та другою групою граничних станів. Монолітні ригелі розраховуємо, як нерозрізні балки, змодельовавши їх стержневими скінченними елементами. Армвання монолітних несучих та пов'язових ригелів виконуємо об'ємними арматурними каркасами з робочою арматурою класу А400С, встановлену відповідно до розрахунку. В міжплитних швах, поперек несучих ригелів, розміщуємо плоскі арматурні каркаси з верхньою робочою арматурою класу А400С. Конструкція збірно-монолітного залізобетонного перекриття з використанням круглопустотних плит представлена на рис. 3, 4.

Змішане збірно-монолітне перекриття за технологією «Пластбау»

Розрахунок міцності плити за технологією «Пластбау» аналогічний розрахунку частореб-

ристого перекриття з балочними плитами. Монолітну плиту армуємо, відповідно до розрахунку за першою групою граничних станів, зварними сітками з поперечною робочою арматурою класу Вр-I. Розрахунок другорядної балки виконуємо на дію рівномірно розподіленого навантаження, змодельовавши її в програмному комплексі SCAD стержневим скінченним елементом таврового профілю. Головну балку розраховуємо, як нерозрізну, змодельовану стержневими скінченними елементами прямокутного профілю. Армвання головних та другорядних балок виконуємо окремими стержнями класу А400С, об'єднаними в об'ємні арматурні каркаси, відповідно до проведених розрахунків. Конструкція змішаного збірно-монолітного перекриття за технологією «Пластбау» представлена на рис.5, 6.

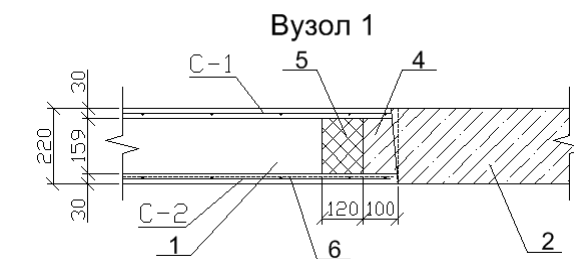
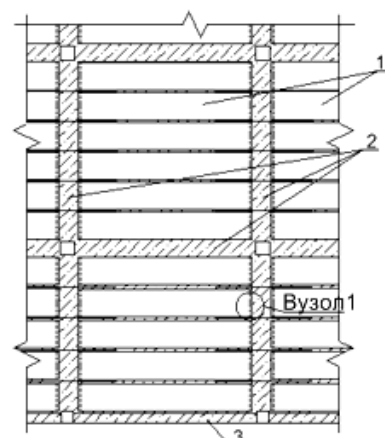


Рис. 3. Принципова конструкція збірно-монолітного залізобетонного перекриття з використанням круглопустотних плит:

1 – круглопустотна плита, 2 – монолітний ригель, 3 – бортова (обв'язувальна) балка, 4 – бетонна шпонка, 5 – пінопістирольна заглушка, 6 – попередньо напружена арматура круглопустотної плити

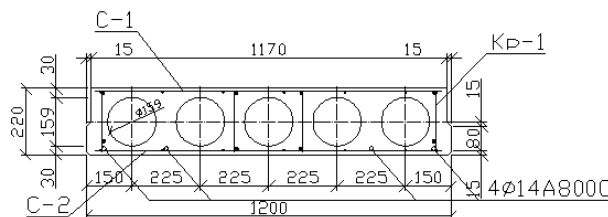


Рис. 4. Армвання багатопустотної плити

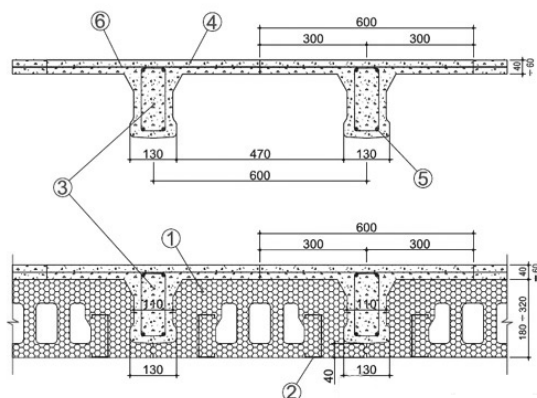


Рис. 5. Поперечний переріз міжповерхового перекриття:

1 – незнімна опалубка перекриття, 2 – оцинкований сталевий U-профіль, 3 – залізобетонні ребра перекриття, 4 – залізобетонна плита перекриття, 5 – робоча арматура ребер, 6 – арматура плити

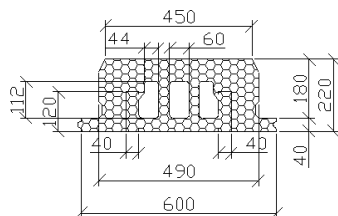
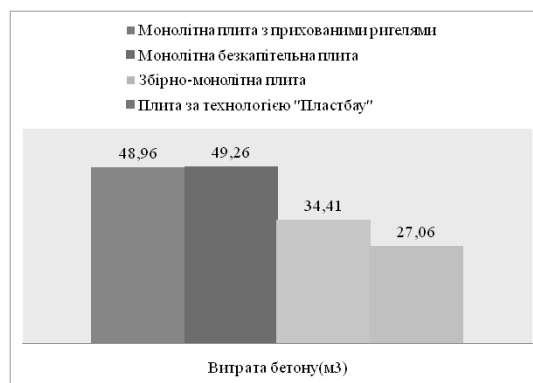
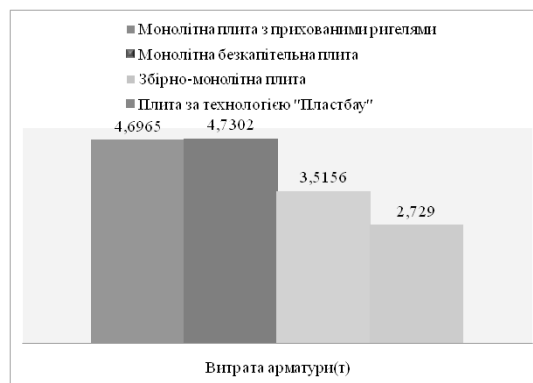
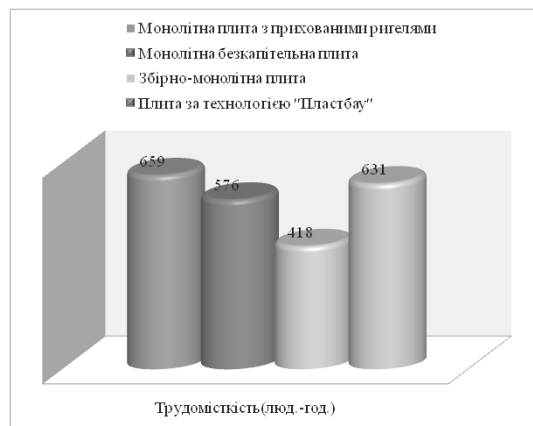
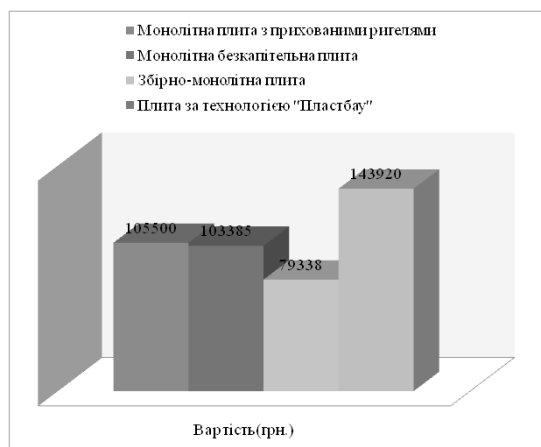


Рис. 6. Пінополістирольний блок незнімної опалубки «Пластбау»

Для більшої наочності та зручності аналізу основних даних, отриманих в результаті проведених техніко-економічних розрахунків, по чотирьом обраним типам перекриттів приведемо їх в формі гістограм.

Наведені гістограми техніко-економічних показників чітко демонструють, що найбільш економічно вигідним є збірно-монолітне залізобетонне перекриття з використанням круглопустотних плит, оскільки серед обраних для порівняння чотирьох типів перекриттів має найнижчі показники вартості і трудомісткості.



Це пов'язано з досить високою індустріалізацією даного типу перекриття із-за використання досить ефективних і економічних багатопустотних плит. Саме використання подібних плит заводського виготовлення дає можливість значно скоротити найбільш трудомісткі роботи по зведенню монолітних залізобетонних конструкцій перекриття безпосередньо на будівельному майданчику. Використання попередньо напруженої арматури в подібного роду плитах скорочує витрати основних конструкційних матеріалів в даному типі перекриття. За витратою арматурної сталі та бетону, відповідно з приведеними гістограмами, збірно-монолітне перекриття з використанням круглопустотних плит поступається лише конструкції плити за технологією PLASTBAU (ПЛАСТБАУ), яка є свого роду аналогом монолітного часторебристого перекриття. Вибираючи той чи інший тип

конструкції перекриття, необхідно також враховувати матеріально-технічні можливості будівельної організації, а також переваги конструкцій, які визначені, як пріоритетні при певних умовах будівництва.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України про запобігання впливу світової фінансової кризи на розвиток будівельної галузі та житлового будівництва [Текст] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2009. – № 19. – Ст. 257.
2. Будівельна галузь в Україні: проблеми та перспективи розвитку [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://nikinfo.net/doc.php?id=83630>
3. Монолитные перекрытия зданий и сооружений [Текст] / под. ред. И. В. Санникова. – К.: Будівельник, 1991.
4. Рекомендации по расчету и конструированию монолитных железобетонных каркасов многоэтажных зданий системы БелНИИС с армированием плоских дисков перекрытий пространственными (объемными) арматурными каркасами [Текст] / Ин-т БелНИИС. – Мн., 2003.
5. Рекомендации по расчету и конструированию сборно-монолитного каркаса зданий серии Б1.020.1-7 [Текст] / Ин-т БелНИИС. – Мн., 2004.
6. Железобетонные конструкции (расчет и конструирование) [Текст] / под ред. С. А. Ривкина. – К.: Будівельник, 1972.
7. Бондаренко, В. М. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций [Текст] / В. М. Бондаренко, В. И. Римшин. – М.: Высш. шк., 2006.
8. Бондаренко, В. М. Железобетонные и каменные конструкции [Текст] / В. М. Бондаренко, Д. Г. Суворкин. – М.: Высш. шк., 1987.
9. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи [Текст].
10. СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции [Текст].
11. ДБН В.2.6-6:95 Конструкції будинків та споруд. Проектування, будівництво та експлуатація будинків системи «Пластбау» [Текст].
12. ДБН Д.1.1.-1-2000 Правила визначення вартості будівництва [Текст].

Надійшла до редколегії 11.05.2011.

Прийнята до друку 24.05.2011.

МОДУЛЬНА СИСТЕМА ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРИ ВИВЧЕННІ НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ СТУДЕНТАМИ ТЕХНІЧНИХ ВНЗ

У статті виконано порівняння класичної й комп'ютерної системи оцінки знань студентів, проаналізований ефект застосування системи дистанційного навчання «Прометей». Показано позитивні сторони проходження студентами модульного контролю.

Ключові слова: модульний контроль, нарисна геометрія, тестування

В статье выполнено сравнение классической и компьютерной системы оценки знаний студентов, проанализирован эффект применения системы дистанционного обучения «Прометей». Показаны позитивные стороны прохождения студентами модульного контроля.

Ключевые слова: модульный контроль, начертательная геометрия, тестирование

The comparison of classical and computer testing system is given in the article. The effect of usage of «Prometei» remote education system is analyzed. The positive effects of passing the Module Tests by students are shown.

Keywords: module control, descriptive geometry, testing

Вступ

У контексті сучасних тенденцій модернізації і гуманізації вищої освіти проблема якості підготовки майбутніх спеціалістів у технічних вищих навчальних закладах (ВНЗ) і стимулювання їх творчої діяльності є актуальним питанням.

Тенденція постійного скорочення аудиторного часу на вивчення графічних дисциплін у технічних ВНЗ потребує від викладача ретельного пошуку методів удосконалення навчального процесу.

Проведений аналіз педагогічного досвіду [1, 2] показує, що при традиційній побудові навчального процесу не стимулюється активна навчальна діяльність студентів, не забезпечується включення студентів у процес формування узагальнених знань і способів діяльності і, крім того, не забезпечується можливість самоосвіти, саморозвитку і самовираження в ході оволодіння студентами знаннями, уміннями та навичками.

Вивчення досвіду педагогічної та психологічної роботи у ВНЗ при вивченні графічних дисциплін, аналіз філософської, соціологічної і психолого-педагогічної літератури дозволили нам сформулювати проблему дослідження: «Модульна система як засіб підвищення якості при вивченні нарисної геометрії студентами технічних ВНЗ».

З 2005 року кафедра «Графіки» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту (ДНУЗТ) широко використовує проведення тестування з використанням системи дистанційного навчання (СДН) «Прометей». Дана система показала високу ефективність оцінювання знань студентів під час складання модульного контролю з дисциплін «Інженерна графіка» та «Нарисна геометрія».

Використання (СДУ) «Прометей» при проведенні модульного контролю під час іспитів дозволяє активізувати працездатність, мислення та увагу. Запланований модульний контроль знань, враховуючи його неминучість, є мотивуючим фактором і стимулює навчально-пізнавальну активність студентів при вивченні графічних дисциплін. Тому важливим є питання дослідження методики складання тестових завдань.

Аналіз останніх джерел

Методологічною і теоретичною основою дослідження стали: наукові праці відомих педагогів і психологів, педагогічні і методичні роботи в області теорії розвиваючого навчання; теорії організації навчально-пізнавальної діяльності і теорії діагностики методів дослідження.

У галузі психології і методики розвитку просторового мислення (Г. Д. Глейзер, Дж. Гібсон, В. О. Далінгер, П. Я. Каплунович, О. М. Леонтьєв, О. Д. Сьомушкін, Д. Б. Елько-

нін, І. С. Якиманська та ін.); результати теоретичних досліджень у галузі теорії та методики навчання (В. О. Гусев, Г. А. Саранцев, О. В. Усачов, Т. М. Шамало); результати теоретичних досліджень у галузі комп'ютерних технологій (О. Г. Гейн, О. П. Єршов, В. А. Извозчиков, М. П. Лапчик, В. М. Монахов, І. В. Роберт та ін.).

Основні задачі дослідження:

- проаналізувати стан проблеми контролю знань з використанням модульної системи навчання в період адаптації студентів до навчального процесу у технічному ВНЗ;
- розробити методологію підготовки студентів до проведення контролю знань з використанням модульної системи, детально ознайомити їх з метою і методикою проведення такого контролю;
- виявити психолого-педагогічні умови переходу студентів у суб'єктну позицію у процесі проведення модульної системи навчання студентів нарисної геометрії;
- розробити рекомендації щодо розробки методичного забезпечення процесу проведення контролю знань студентів з використанням модульної системи навчання, для підвищення навчально-пізнавальної активності студентів.

Результати досліджень

Як показують дослідження недостатня розробка модульної системи і відмова від її використання при вивченні нарисної геометрії призводить до слабого засвоєння студентами навчальної програми, а відповідно і до зниження рівня підготовки спеціалістів, які випускаються ВНЗ.

Як показав аналіз класичної системи підготовки спеціалістів із вищою освітою має багато позитиву, однак має місце й ряд недоліків:

- відсутність систематичної роботи і низький рівень активності студентів протягом усього семестру;
- вірогідність суб'єктивізму у оцінюванні знань студентів;
- значні затрати часу на проведення екзамнаційну перевірку відповідей;
- недостатній рівень адаптації до вимог світового ринку праці, що швидко змінюється;
- низька мобільність студентів стосовно змін направленості підготовки і спеціальностей;

В основі класичного розуміння контролю знань студентів лежать дидактичні виміри, тобто аналіз та подальші вдосконалення відповідей тих, хто навчається, з питань різного ступеню складності.

У кількісному відношенні результат таких вимірів містить оцінку сукупності відповідей студентів, яка відображується на шкалі оцінок викладача.

Оскільки кожен викладач має власну шкалу оцінювання, то виміри такого роду завжди є суб'єктивними. Для усунення суб'єктивізму дидактичних вимірів іноді вдаються до групового контролю, коли рівень знань студента оцінюється відразу декількома викладачами, а оцінка формується експертним шляхом. Це в деякому ступеню підвищує об'єктивність оцінювання, однак, призводить до збільшення навантаження на викладацький склад. Більше того, навіть при експертному підході до перевірки знань неможливо уникнути помилок, які пов'язані з обмеженим числом питань, які надаються для контролю.

Одним із етапів підвищення ефективності дидактичних вимірів, зокрема при проведенні модульного контролю знань студентів, є перехід до комп'ютерного тестування, основною метою якого є отримання оцінки рівня знань студента з завданням точністю. Отримання, в результаті тестування, об'єктивної оцінки можна досягнути за рахунок підвищення інформативності всіх завдань тесту, або за рахунок збільшення кількості завдань.

Підвищення інформативності тесту – найбільш ефективний шлях вирішення поставленої задачі. Він реалізується за рахунок впровадження адаптивних процедур тестування.

Переваги адаптованого комп'ютерного тестування визначають наступні моменти:

- оцінювання результатів тестування здійснюється в реальному вимірі автоматично фіксується і зберігається на визначений час;
- можливість формування тестів, різних за рівнем підготовки тих, хто навчається;
- можливість керування змістом тесту і стратегій перевірок у ході тестування;
- відсутність необхідності в паперових носіях і аркушах-відповідях. Це важливо для забезпечення захисту від несанкціонованого доступу до контрольних матеріалів;
- нема необхідності в синхронізації процесу тестування для групи студентів, тобто кожен,

хто складає тестування, самостійно обирає темп роботи з тестом;

- при комп'ютерному тестуванні легко ввести часові обмеження або тимчасове відслідкування процесу тестування, що важко здійснити при паперовому тестуванні; це дозволяє враховувати психомоторні аспекти у студентів;

- підвищується ефективність тестування; зменшується час тестування (до 30 % у порівнянні з паперовою формою тестування) для досягнення того ж рівня надійності оцінювання.

В результаті проведених досліджень важливо розробити методичну систему ефективного педагогічного впливу на студентів в адаптаційний період вивчення нарисної геометрії з метою підвищення їх навчально-пізнавальної активності.

Прикладні дослідження представлені у вигляді: реального впровадження процесу контролю знань студентів з використанням модульної системи; результатів спостережень за проведенням занять та іспитів з нарисної геометрії в адаптаційний період навчання студентів-першокурсників.

Науково-теоретична значимість дослідження полягає в теоретичному підґрунті й експе-

риментальної перевірки шляхів підвищення навчально-пізнавальної активності студентів і підвищення якості їх навчання за допомогою впровадження розробленої нами методики навчання і контролю знань студентів з використанням модульної системи.

Дослідно-експериментальна робота виконувалась у три етапи відповідно до поставлених задач.

На першому етапі (2001-2003 рр.) вивчалась проблема використання модульної системи навчання студентів при вивченні курсу нарисної геометрії і методи підвищення навчально-пізнавальної активності. Визначались цілі, задачі, робоча гіпотеза дослідження, проводився констатуючий експеримент.

Другий етап (2003-2004 рр.) був присвячений організації експерименту, що формувався, узагальненню й перевірки отриманих результатів, розробці методичних посібників та рекомендацій.

На третьому етапі (2004-2005 рр.) проводилось впровадження результатів дослідження в практику роботи кафедри інженерної графіки.

Схема адаптивного комп'ютерного тестування наведена на рис. 1.

Адаптивне комп'ютерне тестування



Рис. 1. Схема адаптивного комп'ютерного тестування

Як показали дослідження, розподіл дисципліни на логічно завершені частини теоретичного і практичного матеріалу (модулі), а також використання 100 бальної шкали оцінок знань дозволяє викладачеві більш об'єктивно оціню-

вати знання і навички студента під час тестування.

Приклади тестових завдань різного рівня складності наведені на рис. 2 – 4.

Змістова основа завдання	Яка пряма розташована перпендикулярно до фронтальної площини проєкцій П2?
Варіанти відповідей	1. ☐ a 2. ☐ b 3. ☐ c 4. ☐ d 5. ☒ n 6. ☐ m 7. ☐ g

Рис. 2. Приклад тестового завдання з модульного контролю № 1 по дисципліні «Нарисна Геометрія»

Змістова основа завдання	Білими колами на кресленні зображені видимі проєкції точок, чорними - невидимі. Видимість якої точки на горизонтальній проєкції визначена невірно?
Варіанти відповідей	1. ☐ 1 2. ☐ 2 3. ☒ 3 4. ☐ 4

Рис. 3. Приклад тестового завдання з модульного контролю № 2 по дисципліні «Нарисна Геометрія»

Змістова основа завдання	Визначте, якому з чотирьох аксонометричних зображень моделей відповідає комплексне зображення (видляди спереду та зверху), яке позначене літерою А.
Варіанти відповідей	1. ☐ 1 2. ☐ 2 3. ☒ 3 4. ☐ 4 5. ☐ жодному

Рис. 4. Приклад тестового завдання з модульного контролю № 3 по дисципліні «Нарисна Геометрія»

Висновки

Приєднання України до Болонського процесу передбачає суттєві зміни в організації навчального процесу в вищих навчальних закладах, викликані необхідністю більш різнобічного і ретельного поточного контролю знань студентів. Введення модульного контролю знань потребує від викладацького складу значного збільшення часових затрат не лише на проведення, але й на аналіз результатів такого контролю.

На підставі проведених досліджень можна говорити про наступні позитивні якості проходження студентами модульного контролю:

- кожен конкретний тест є унікальним і не був раніше наданий, що підвищує його надійність;

- ефективність модульного тестування є достатньо високою, оскільки складність завдань, що надаються, відповідає рівню накопичених заздалегідь знань того, хто тестується;

- проходження студентами модульного тестування дозволяє розпізнавати не лише досліджуваних з низьким і середнім рівнем знань, але й дає можливість виявити найбільш підготовлених учнів.

Таким чином можна зробити висновок, що впроваджена в ДНУЗТ модульна система оцінювання знань студентів є ефективним інструментом підвищення показників як якості, так і успішності навчання.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Основи розвитку вищої освіти України в контексті Болонського процесу [Текст] / під ред. В. Г. Кременя; авт. кол.: М. Ф. Степко [та ін.]. – (Документи і матеріали 2003-2004 рр.) – Київ-Тернопіль: Вид-во ТДПУ, 2004. – 147 с.
2. Челишкова, М. Б. Теорія і практика конструювання педагогічних тестів [Текст] / М. Б. Челишкова. – М.: Інформ.-видавн. буд. «Філін», 2003. – 236 с.

Надійшла до редколегії 12.05.2011.

Прийнята до друку 20.05.2011.

А. В. НІКОЛАЙЧУК (ТОВ «Гідрозахист»), І. П. ГАМЕЛЯК (НТУ, Київ),
А. С. ЛИТВИНЕНКО (ДерждорНДІ, Київ), І. В. ЛЯХОВИЙ (Південно-Західна
залізниця України, Київ), Г. В. ЖУРБА (ТОВ «Євроізол-Geosynthetics»)

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БАЛАСТНОЇ ПРИЗМИ НА СЛАБКІЙ ОСНОВІ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

В статті розглянуто питання забезпечення стійкості земляного полотна на слабкій основі з використанням геосинтетичних матеріалів. В результаті розрахунків насипу за несучою здатністю, деформаціями та стійкістю стало можливим обґрунтоване застосування геосинтетичних матеріалів для підсилення ґрунтів основи та укосів високих насипів.

Ключові слова: баластна призма на слабкій основі, геосинтетичні матеріали, підсилення ґрунтів основи та укосів високих насипів

В статье рассмотрен вопрос обеспечения устойчивости земляного полотна на слабом основании с использованием геосинтетических материалов. В результате расчетов насыпи на несущую способность, деформации и устойчивость стало возможным обоснованное применение геосинтетических материалов для усиления грунтов основы и укосов высоких насыпей.

Ключевые слова: балластная призма на слабом основании, геосинтетические материалы, усиление грунтов основы и укосов высоких насыпей

In the article the issue of provision of stability of road bed on weak basis with application of geosynthetics is considered. Due to calculations of earthfill with bearing capacity, deformations and stability the substantiated application of geosynthetics to strengthen the soils of basement and slopes of deep embankments is possible.

Keywords: ballast prism on weak basis, geosynthetics, strengthening the soils of basement and slopes of deep embankments

В рамках підготовки до Євро-2012 Укрзалізниця працює над впровадженням швидкісного руху. В 2010 році залізничниками капітально відремонтовано 858 км колій і повністю модернізували 558 км. У 2011 році заплановано капітально відремонтувати ще 766 км та повністю модернізувати 366 км колій [1]. Модернізація колії проводиться з метою підвищення швидкісних характеристик залізниці шляхом заміни рейко-шпальної решітки, баластної призми та підсилення слабкої основи. Впровадження прискореного руху до 160 км/год сприятиме інтеграції вітчизняного залізничного транспорту в єдину європейську транспортну мережу швидкісного залізничного сполучення.

Досягнення таких показників швидкісного режиму неможливе без підвищення стійкості баластної призми, особливо на ділянках зі слабкою основою. Високі вимоги щодо рівності залізничної колії вимагають мінімізації консолідаційних процесів у земляному полотні. За традиційною технологією покращення фізико-механічних властивостей ґрунтів на ділянках зі слабкою основою досягається шляхом відсіпання поверх слабкої основи шару щебеню. Прогнозувати кількість щебеню, необхідну для забезпечення міцності основи, дуже складно,

тому вона визначається в кожному окремому випадку безпосередньо на місці виконання робіт. З часом, значна частина щебеневого баласту змішується зі слабким ґрунтом, що знову призводить до втрати міцності основи щебеневої призми, виникнення її осідання, і, як наслідок, зменшення швидкості руху поїздів.

Для запобігання перманентному осіданню колії необхідне, як ретельне дослідження ґрунтів основи для визначення достовірних значень їх фізико-механічних властивостей, так і застосування сучасних технологій, що використовують геосинтетичні матеріали.

Одним із прикладів може бути модернізація залізничної колії на ділянці Вінниця – Сосонка Південно-Західної. Дана ділянка є однією із найстаріших у складі залізниці. За час експлуатації її модернізація відбувалась неодноразово. Це було пов'язано, як із влаштуванням другої колії і відповідними змінами у конструкції земляного полотна, особливо на мостових переходах, так і під час її електрифікації.

При виконанні проектних робіт виникли складності зі стабілізацією земляного полотна під баластною призмою. Протягом багатьох років на цій ділянці боролися з трьома «хворими» місцями, де спостерігались зсувні процеси,

через тиксотропні властивості ґрунтів основи баластної призми, періодично виникали просадки. Всі попередні спроби вирішити ці проблеми традиційними методами вимагали значних фінансових витрат і мали лише короткочасний ефект. Діюча нормативна база хоч і передбачає застосування геосинтетичних матеріалів, але не дає методики розрахунку стійкості та міцності баластної призми на слабкій основі з використанням таких матеріалів. Тому керівництвом Укрзалізниці було прийнято рішення на створення експериментальної ділянки в рамках проекту «Модернізація залізничної колії на ділянці Вінниця – Сосонка парна колія 1072(0,2) – 1063(0,4)». Науково-дослідний центр ТОВ «Гідрозахист» на замовлення генерального проектувальника об'єкту проектного інституту «Львівтранспроект» розробив заходи по стабілізації баластної призми з використанням геосинтетичних матеріалів [2].

Враховуючи складність поставленої задачі, постала необхідність виконання ретельних інженерно-геологічних вишукувань з метою визначення стану земляного полотна. Ця частина роботи була виконана спеціалістами лабораторії ґрунтів і земляного полотна Державного дорожнього НДІ ім. М. П. Шульгіна. Дослідження виконувались з використанням методу динамічного зондування за удосконаленою методикою [3], і шляхом відбору зразків для лабораторних випробувань з подальшим статистичним та аналітичним аналізом отриманих даних.

В процесі дослідження у ґрунт забиваються металеві стержні перший з яких має конусний наконечник з кутом при вершині 60° і площею лобового перерізу $3,0 \text{ см}^2$, діаметр якого у 1,4 рази більше діаметра штанг для зменшення чи повного усунення тертя ґрунту по бічній поверхні штанг (рис. 1). Молот сталої маси (7,5 кг) вільно падає на «наковальню» вздовж направляючої штанги. Залежно від опору ґрунтів зондуванню висота скидання молота може змінюватись, що дозволяє оцінювати міцність (несучу здатність) і ущільненість ґрунтів у різних за властивостями шарах з приблизно однаковою точністю. Всього таких сталих висот скидання молота чотири: 4,8 см; 12,0 см; 30,0 см; 75,0 см. Отримані на основі статистичного аналізу безперервні графіки опору ґрунтів зондуванню $P_d = f(H)$ наносять на інженерно-геологічні розрізи для їх наступного сумісного аналізу.

В результаті інженерно-геологічних вишукувань була підтверджена наявність «хворих місць», а також визначені ділянки потенційних деформацій, що ще не проявились у вигляді

осідання баластної призми. Найбільш складною ділянкою земляного полотна є підходи до металевого мосту через р. Десенка на ділянці 1067(0,0) – 1068(0,2). До останньої реконструкції висота насипу біля мосту була на три метри нижче ніж зараз. При влаштуванні другої колії відсипали більш високий насип (непарна колія), а відповідно підняли і новий міст. Після переведення руху на нову колію підняли на висоту близько 3,0 м і старий насип разом із старим мостом. Стан досипаної частини насипу виявився значно гіршим, як через недостатню ущільненість ґрунту, так і через значно збільшену площу водозбору атмосферних опадів на підходах до мосту, які потрапляють через шар щебеню в ґрунт насипу. Насип земляного полотна на підходах до мосту через р. Десенка складається з піску алювіального дрібнозернистого, середньої густини. Запропоноване проектне рішення рекомендує розібрати частину земляного полотна і заново вкласти насип до проектних відміток, виконавши армування розібраної відновленого земляного полотна геосинтетичними матеріалами.



Рис. 1. Проходження зондувальних свердловин

На основі отриманих при інженерно-геологічних вишукуваннях даних науково-дослідним центром ТОВ «Гідрозахист» при підтримці спеціалістів НТУ та ТОВ «Євроізол-Geosynthetics» виконані розрахунки осідання насипу на слабкій основі та час консолідації насипу [2, 4]. Розрахунок насипу виконується за несучою здатністю, деформаціями, та стійкістю. При розрахунках важливим є адекватна оцінка напружено-деформованого стану насипу від дії зовнішнього навантаження. При дослідженні НДС використовуються рішення механіки ґрунтів [5] та метод скінченних елементів [6]. Перспективним може бути розв'язання зазначених задач на основі теорії зернистих середовищ, тобто на основі систем із структурами вірогідності Е. Харра [7].

Для розрахунку НДС нами використані рішення статистичної теорії:

$$\sigma_{yy}(x, y, z) := qv \left[\Phi\left(\frac{y+b}{z\sqrt{v}}\right) - \Phi\left(\frac{y-b}{z\sqrt{v}}\right) - \frac{(y+b)e^{\left[-\frac{l(y+b)^2}{2vz^2}\right]} - (y-b)e^{\left[-\frac{l(y-b)^2}{2vz^2}\right]}}{z\sqrt{2\pi v}} \right];$$

$$\sigma_{zz}(x, y, z) := q \left(\Phi\left(\frac{y+a}{z\sqrt{v}}\right) - \Phi\left(\frac{y-a}{z\sqrt{v}}\right) \right) \cdot \left(\Phi\left(\frac{y+b}{z\sqrt{v}}\right) - \Phi\left(\frac{y-b}{z\sqrt{v}}\right) \right);$$

$$\tau_{xz}(x, y, z) := -q\sqrt{\frac{v}{2\pi}} \cdot \left(\Phi\left(\frac{y+b}{z\sqrt{v}}\right) - \Phi\left(\frac{y-b}{z\sqrt{v}}\right) \right) \left[e^{\left[-\frac{l(x+a)^2}{2vz^2}\right]} - e^{\left[-\frac{l(x-a)^2}{2vz^2}\right]} \right];$$

$$\tau_{yz}(x, y, z) := -q\sqrt{\frac{v}{2\pi}} \cdot \left(\Phi\left(\frac{x+a}{z\sqrt{v}}\right) - \Phi\left(\frac{x-a}{z\sqrt{v}}\right) \right) \left[e^{\left[-\frac{l(y+b)^2}{2vz^2}\right]} - e^{\left[-\frac{l(y-b)^2}{2vz^2}\right]} \right];$$

$$\tau_{xy}(x, y, z) := \frac{qv}{2\pi} \left[e^{\left[-\frac{l(x+a)^2}{2vz^2}\right]} - e^{\left[-\frac{l(x-a)^2}{2vz^2}\right]} \right] \left[e^{\left[-\frac{l(y+b)^2}{2vz^2}\right]} - e^{\left[-\frac{l(y-b)^2}{2vz^2}\right]} \right],$$

де $\Phi(t)$ – нормована функція Лапласа, a і b – розміри попередньо-напруженої залізобетонної шпали СБЗ-1 (2700×30 мм), коефіцієнт бокового напруження ($v = \sigma_{\text{гориз.}}/\sigma_{\text{верт.}}$), x – відстань між центрами шпал, y – відстань між точками прикладання навантаження (центрами рейок), z – глибина, м.

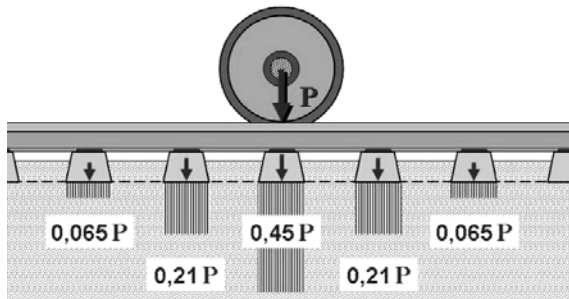


Рис. 2. Розподіл осьового навантаження на шпали

Сумарні напруження визначаються за принципу суперпозиції із врахуванням розподілу осьового навантаження на шпали (рис. 2). При розрахунку земляного полотна напружено-деформований стан елементів рейко-шпальної решітки не є істотним. Тому до розрахунку береться розподіл тиску на шпали від колісних пар, близький до експериментальних даних (рис. 3) [6]. В розрахунках прийнято середній тиск під окремими шпалами в кПа: $q_1 = q_5 = 23,609$ кПа, $q_2 = q_4 = 76,274$ кПа, $q_3 = 163,444$ кПа. Відстань між центрами шпал $l_1 = l_5 = -/+1,092$ м, $l_2 = l_4 = -/+0,546$ м, $l_0 = 0$ м.

Абсолютні величини максимальних значень

вертикальних напружень на основному майданчику земляного полотна (55...75 кПа), отримані за рішенням статистичної механіки, близькі до експериментальних даних [6]. Максимальне значення дотичних напружень спостерігається на глибині 0,8...1,4 м, що необхідно враховувати при призначенні армування геосинтетиками. На рис. 3 і 4 представлено приклади визначення напружень. Розрахунки стійкості насипів земляного полотна виконувались з врахуванням динамічного впливу рухомого складу, рівня ґрунтових вод та фізико-механічних властивостей ґрунтів насипу і слабкої основи [8, 9]. Загальний необхідний коефіцієнт запасу стійкості згідно [8] повинен відповідати умові $K_3 = M_R/M_D \geq 1,4$, де M_R і M_D – відповідно, момент утримуючих і момент зсувних сил відносно центру кривої обертання.

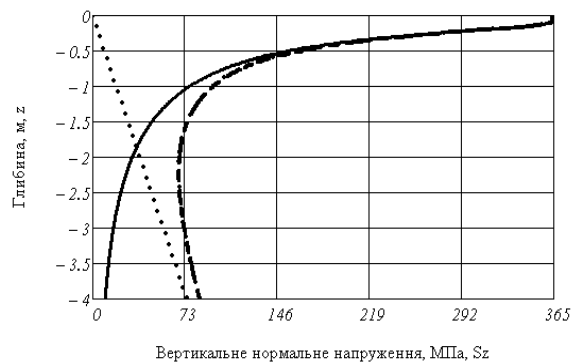


Рис. 3. Зміна вертикальних нормальних напружень за рішенням статистичної механіки, напружень від власної ваги σ_v та сумарних напружень по глибині

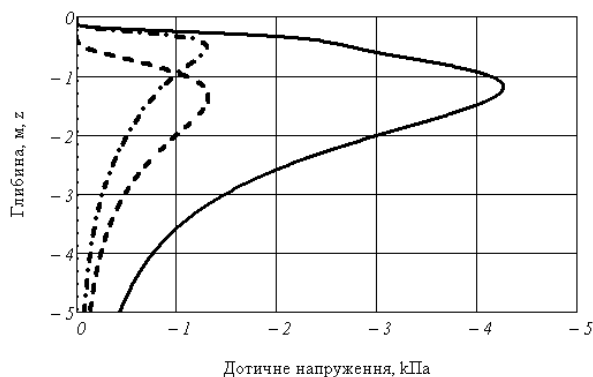


Рис. 4. Зміна дотичних напружень τ_{zz} по глибині за рішенням статистичної механіки

Розрахунок виконувався за методом круглоциліндричних поверхонь обертання, адаптованим до нормативних вимог для спорудження залізниці (рис. 5).

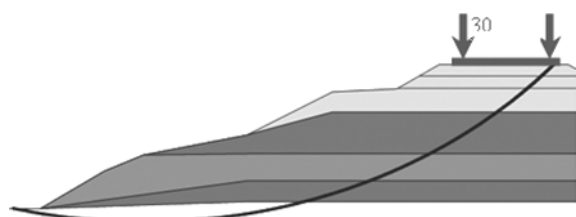


Рис. 5. Розрахункова схема поперечного перерізу земляного полотна для програмного забезпечення ReSSA 3.0



Рис. 6. Схема армування основи баластної призми геосинтетичними матеріалами

За допомогою програмного забезпечення ReSSA 3.0 визначено, що на всій ділянці модернізації парної колії Вінниця – Сосонка 1072(0,2) – 1063(0,4) для забезпечення необхідної міцності та рівності земляного полотна необхідно виконати наступні заходи (див. рис. 6):

- Після зрізання 0,80 м старої баластної призми рекомендується ущільнити земляне полотно і спланувати поверхню з поперечним ухилом в 5 % від осі насипу.
- Для запобігання зануренню чистого щебеню баластної призми в ґрунт земляного полотна, покращення відводу поверхневих вод та забезпечення пропуску пари в зворотному напрямку (знизу вгору) запропоновано безпосередньо під нижнім шаром геограток вкласти нетканий термоскріплений розділюючий, підсилюючий і фільтруючий геосинтетичний матері-

ал з УФ-стабілізованого поліпропілену типу Tupar®SF77 з мінімальною міцністю на розрив 20 кН/м і відносним видовженням до 55 %. Геосинтетичний матеріал вкладається на глибині 0,80 м від низу шпал на сплановану ущільнену поверхню.

- Безпосередньо на шар термоскріпленого геосинтетичного матеріалу вкладається нижній армуючий шар із тканих геограток типу Armatex G®55/55 (гранична міцність на розрив в поздовжньому і поперечному напрямках – 60 кН/м; відносне подовження при розриві в поздовжньому і поперечному напрямках – 13 %; матеріал – високоміцний поліефір).

- Далі вкладається шар щебеню або щебеневопопіщаної суміші потужністю 0,35...0,40 метрів і ущільнюється котками 15...16 т.

- На глибині 0,40...0,45 м від низу шпал вкладається другий армуючий шар із геограток типу Armatex G 55/55.

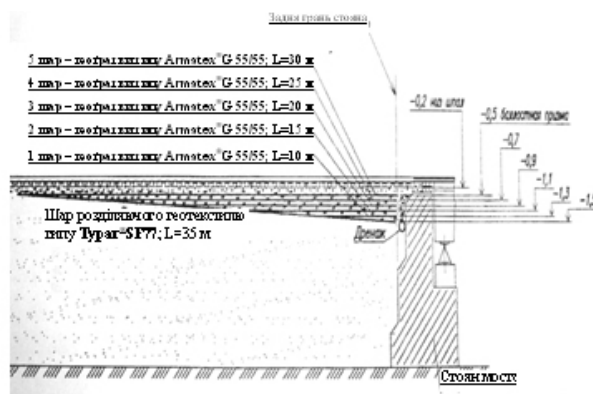


Рис. 7. Схема армування земляного полотна геосинтетичними матеріалами на підходах до мосту

На підходах до мосту через річку Десенка кількість необхідних армуючих шарів геограток поступово збільшується з двох до п'яти (рис. 7) [2, 10]. Це пов'язано з необхідністю зменшення деформацій баластної призми при переході рейко-шпальної решітки до жорсткої мостової конструкції.

Висновок

На основі виконаних обстежень і розрахунків стало можливим обґрунтоване застосування геосинтетичних матеріалів для підсилення ґрунтів основи, та укосів високих насипів. Така технологія дозволяє збільшити міжремонтні терміни ремонту колії, зменшення часу стабілізації колії, підвищити міцність земляного полотна та рівність колії за рахунок використання армуючих геосинтетичних матеріалів. Також зменшується обсяг земляних робіт. Консолідація основи відбувається рівномірно, що підвищує безпеку руху залізничного транспорту. Збільшується термін експлуатації земляного

полотна. Значно зменшується втрата щебеню баластної призми через відсутність змішування з тиксотропними ґрунтами земляного полотна.

Як наслідок забезпечується можливість впровадження швидкісного режиму руху до 160 км/год.



Рис. 8. Влаштування армуючих шарів механізованим і ручним способом та контроль модуля пружності приладом динамічного навантаження ZFG02



Рис. 9. Вигляд модернізованої ділянки при прийманні державною комісією

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Костюк, М. Д. Укрзалізниця працює над впровадженням швидкісного руху в Україні [Електрон. ресурс] / М. Д. Костюк. – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua>
2. Заходи по стабілізації земляного полотна під баластною призмою в рамках проекту: Модернізація залізничної колії на ділянці Вінниця – Сосонка парна колія 1072(0,2) – 1063(0,4) [Текст]. – К., 2010. – 34 с.
3. Литвиненко, А. С. Удосконалення методики обробки даних, отриманих методами динамічного і статичного зондування ґрунтів [Текст] / А. С. Литвиненко // Міжвідомчий наук.-техн. збірник. Будівельні конструкції. – Вип. 63. – К., 2005. – С. 154-160.
4. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах (к СНиП 2.05.02-85) [Текст]. – М.: Стройиздат, 1989. – 192 с.
5. Цытович, Н. А. Механика грунтов [Текст] / Н. А. Цытович. – М.: Высш. шк., 1973. – 280 с.
6. Корнеев, Д. О. Оценка напряженно-деформированного состояния железнодорожных насыпей с использованием объемных геомodelей [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. О. Корнеев. – Новосибирск: Сибирский гос. ун-т путей сообщения, 2009. – 26 с.
7. Freeman, R. B. Stress Predictions for Flexible Pavement Systems [Text] / R. B. Freeman, M. E. Harr // J. of Transportation Engineering. – 2007. – Vol. 133. – P. 142-148.
8. ВБН В.2.3-218-544:2008 Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві [Текст]. – К., 2008. – 122 с.
9. Посібник № 1 з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів (доповн. до ВБН В.2.3-218-544:2008) [Текст]. – К., 2007. – 146 с.
10. Стандартные проектные решения и технологии усиления земляного полотна при подготовке полигонов сети для введения скоростного движения пассажирских поездов [Текст]. – Вип. 3. – М., 1999. – С. 35-57.

Надійшла до редколегії 31.03.2011.
Прийнята до друку 08.04.2011.

НАБЛИЖЕНІ РОЗГОРТКИ СФЕРИ

У статті розглядаються і аналізуються найпоширеніші методи приблизної розгортки сфери. Наведено приклади і послідовне виконання.

Ключові слова: розгортка сфери, сферичні поверхні, метод допоміжних циліндрів, метод допоміжних конусів

В статье рассматриваются и анализируются наиболее распространенные методы приближенной развертки сферы. Приведены примеры и последовательное выполнение.

Ключевые слова: развертка сферы, сферические поверхности, метод вспомогательных цилиндров, метод вспомогательных конусов

In the article the most common methods for approximate involute of sphere are considered and analyzed. The examples and sequential performance are presented.

Keywords: involute of sphere, spherical surfaces, method of auxiliary cylinders, method of auxiliary cones

Вступ

Відомо, що в практиці будівництва фахівці різних спеціальностей використовують розгортки різних поверхонь. Наприклад, проектування та будівництво покрівель, резервуарів, малих архітектурних споруд, тощо [1, 2].

Окрему увагу хочеться приділити розгортці сферичних поверхонь, так як вони мають форму тіла, що не розгортається. Тому до них можна побудувати лише приблизні розгортки, через що втрачається точність зображення даного тіла на плоскій поверхні. На жаль, в багатьох підручниках з «Нарисної геометрії» не приділяється належна увага розгортці подібних тіл. Тому важливим є питання дослідження способів розгортки сферичних об'єктів.

Постановка проблеми

Для будь-якого многогранника можливо побудувати точну розгортку. Циліндр і конус також мають точні розгортки. Деякі поверхні не можуть бути розгорнуті на площині точно, без розривів і складок, наприклад сфера (поверхня кулі). Вони мають назву поверхонь, які не розгортаються. Для цих поверхонь можливо побудувати лише наближені розгортки. Якщо скласти наближену розгортку, ми отримаємо деяку іншу поверхню, наближену по формі до вихідної, але не повністю з нею співпадаючу.

Розглянемо деякі способи наближеної розгортки сфери на прикладі відомих об'єктів.

Очистити апельсин від шкуринки можливо наступним способом: розрізати її ножом по дугах великих кіл (розріз кулі площиною, яка проходить через центр) так, як проходять меридіани земної кулі. При цьому слід відзначити, що кожна частина шкуринки не плоска, а випукла, і спроби зробити її плоскою можливі лише в тому випадку, якщо шкуринка достатньо еластична, і ми зможемо стиснути середину та розтягнувши при цьому краї. Подібна розгортка сфери знаходить широке застосування, наприклад, при виготовленні поверхні глобуса [3].

Розгортка тим точніша, чим більше число частин, на які розрізана сфера. Кожна частина має назву сферичного двокутника.

Існують й інші способи наближених розгорток сфери, наприклад обгортка тенісних куль, яка складається з двох однакових частин, форма яких нагадує вісімку; обгортка футбольних куль, яка складається з п'яти та шестикутників та інші (рис. 1).

Результати досліджень

Заздалегідь поверхня, що не розгортається, апроксимується ділянками розгорнутих поверхонь, будується розгортка цих ділянок, сукупність яких і є умовною розгорткою поверхні.

© Попудняк Ю. Я., Ульченко Т. В., Щербак А. С., 2011

Якщо ця поверхня лінійчата, доцільно умовну розгортку будувати способом триангуляції, тобто шляхом розбиття поверхні на трикутники, які послідовно поєднуються з площиною креслення.

Умовні розгортки поверхні обертання зазвичай будують способом допоміжних циліндрів (рис. 2, 3).

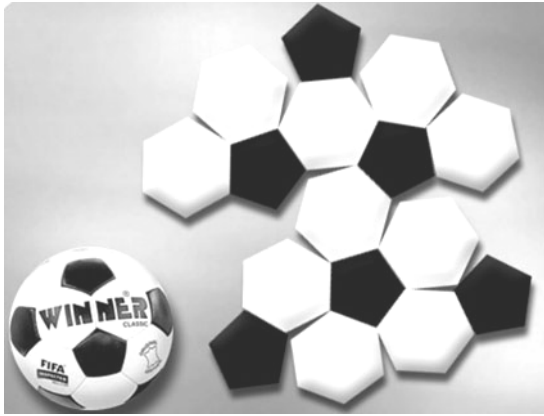


Рис. 1. Розгортка сфери

За допомогою вертикальних площин, що проходять через центр сфери, розіб'ємо її поверхню на дванадцять рівних відсіків. Попарно протилежні відсіки апроксимуємо циліндровою поверхнею (циліндр, описаний навколо сфери). Будуємо розгортку відсіку, який знаходиться між суміжними меридіональними перетинами. Дванадцять подібних розгорток і складуть умовну розгортку сфери. Для побудови розгортки відсіку циліндрової поверхні проводимо в його межах декілька змінних твірних – горизонтальних відрізків 1-2, 3-4, 5-6, 7-8. Ці твірні проєктуються на горизонтальну площину проєкцій у натуральну величину (1121; 3141; 5161; 7181), а відстань між ними проєктується у натуральну величину твірних – отримаємо розгортку відсіку. Так, на плоскій мапі земної кулі площа материків та островів, які знаходяться ближче до північного і південного полюсів виглядає більше ніж насправді (рис. 4).

Спосіб допоміжних конусів (рис. 4) полягає в тому, що сфера горизонтальними площинами розбивається на ряд сферичних, які апроксимуються конічними поверхнями, вписаними або описаними. Сукупність розгорток усічених конусів і представлятиме умовну розгортку сфери. Вона розбита на три сферичні пояси, кожний з яких замінений вписаними конічними поверхнями з вершинами в точках 5. 5' і 5". На

розгортці радіуси секторів кругів відповідають довжинам твірних конусів, а центральні кути секторів визначені за формулою $\varphi = 360 R/L$.

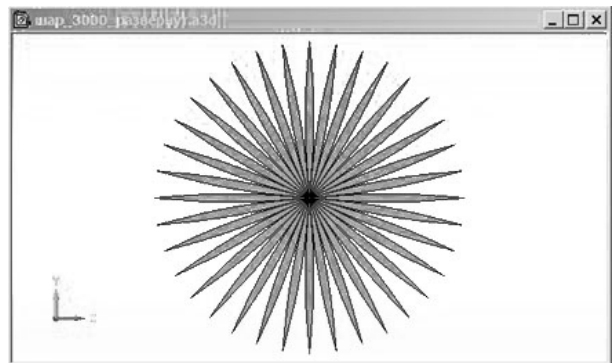
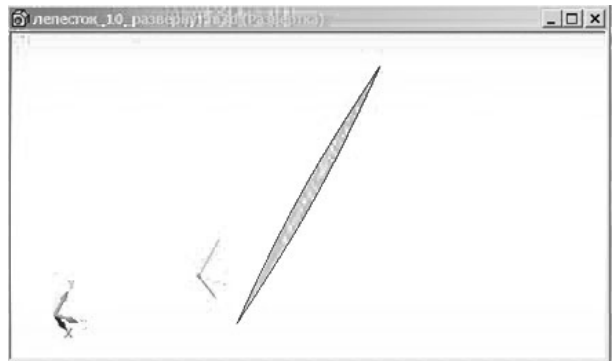
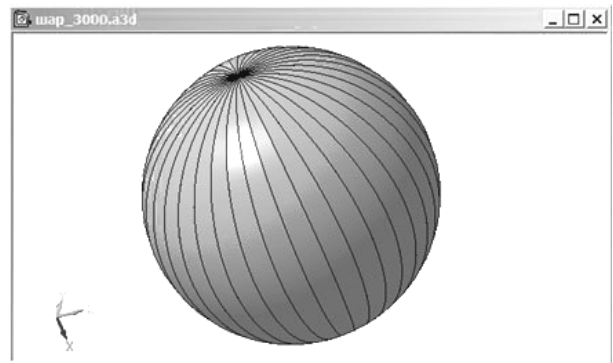


Рис. 2. Розгортка сфери

Висновки

При дослідженні приблизної розгортки сфери ми розглянули та рекомендуємо найбільш ефективні та прості у використанні способи, а саме:

- метод допоміжних циліндрів;
- метод допоміжних конусів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Михайленко, В. Е. Инженерная графика [Текст] : учеб. для вузов / В. Е. Михайленко, А. М. Пономарев. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головн. вид-во, 1985. – 295 с.
2. Тимрот, Е. С. Начертательная геометрия [Текст] / Е. С. Тимрот. – М.: Высш. шк., 1962. – 216 с.
3. Чалый, А. Т. Курс начертательной геометрии [Текст] / А. Т. Чалый. – К.: Вища шк., 1959. – 232 с.

Надійшла до редколегії 10.05.2011.

Прийнята до друку 12.05.2011.

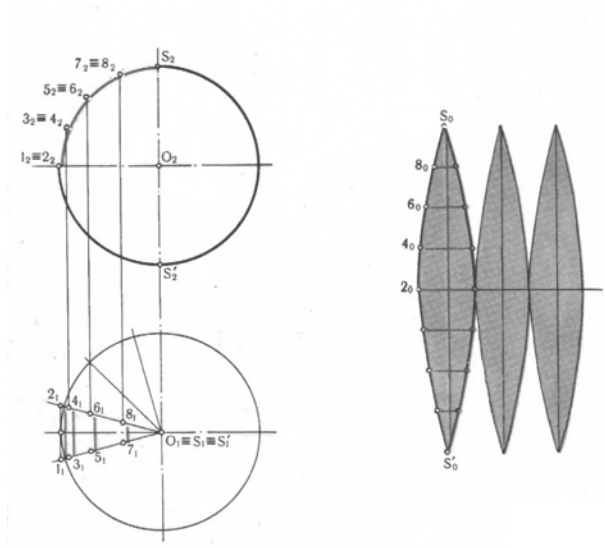


Рис. 3. Розгортка сфери

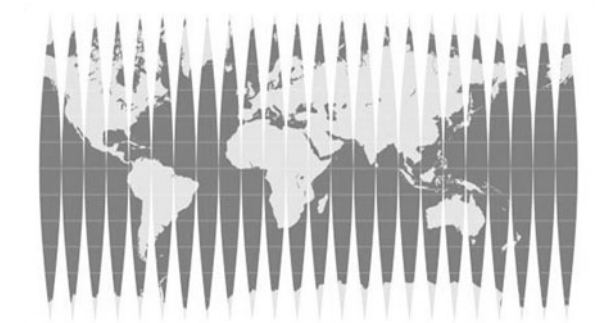


Рис. 4. Розгортка земної кулі

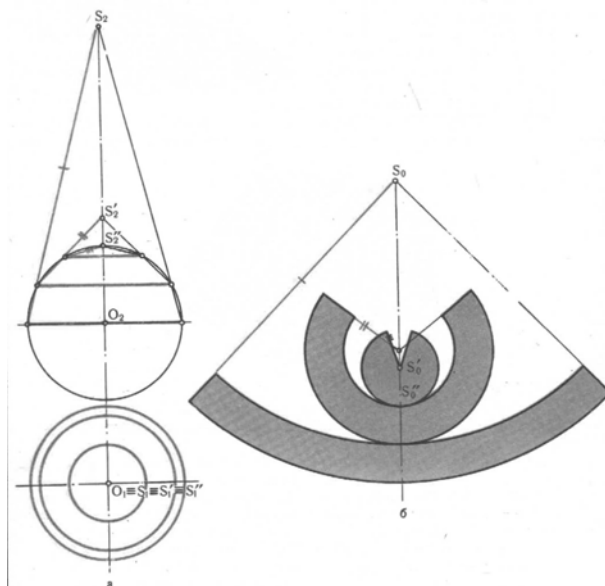


Рис. 5. Розгортка сфери

ВИБРОВАКУУМИРОВАННЫЕ ШЛАКОЗОЛОБЕТОНЫ И ЗОЛОБЕТОНЫ

Запропоновано технологію, що дозволяє вирішити актуальну проблему використання шлаків і золи в будівництві. Показано високу ефективність вакуумної обробки бетонів на основі відходів ТЕС, що дає можливість вирішити проблему дефіциту місцевих заповнювачів.

Ключові слова: вібровакуумування, шлак і зола ТЕС, режими, формування

Предложена технология, позволяющая решить актуальную проблему использования шлаков и золы в строительстве. Показана высокая эффективность вакуумной обработки бетонов на основе отходов ТЭС, что дает возможность решить проблему дефицита местных заполнителей.

Ключевые слова: вибровакуумирование, шлак и зола ТЭС, режимы, формирование

The technology that allows solving an actual problem of application of slag and ash in construction industry is offered. High efficiency of vacuum processing of concrete on the basis of wastes of thermal power plants that gives the opportunity to solve the problem of deficiency of local aggregates is shown.

Keywords: vibrovacuumizing, slag and ash of thermal power plant, procedures, moulding

Постановка проблемы

На современных тепловых электростанциях (ТЭС) при сжигании угля образуются два вида твердых отходов:

- топливный шлак (зернистый материал с крупностью зёрен от 0,16 мм до 20 мм; изредка встречаются более крупные куски);
- зола уноса (дисперсный материал).

При горении топлива крупные частицы не захватываются потоком отходящих газов и оседают вниз, в шлакоосборник, где происходит полное выгорание углеродистых частиц, а минеральная часть переходит в огненно-жидкое состояние (расплав) и сливается в специальную ванну с водой. В результате быстрого охлаждения и высокого давления образующихся водяных паров, крупные куски шлака растрескиваются и распадаются на сравнительно мелкие зерна – гранулы. Оставшиеся крупные куски подаются в дробилку для измельчения, образовавшийся шлак удаляют в отвалы гидравлическим способом.

Мельчайшие частицы потоком газов выносятся из зоны горения и в силу малых размеров быстро охлаждаются. Они из потока уносящих их газов выделяются с помощью системы золоулавливающих устройств. Так образуется зола уноса – один из основных видов отходов ТЭС.

Шлаки тепловых электростанций довольно успешно используются в дорожном строительстве.

Зола ТЭС достаточно хорошо изучены и рекомендованы строителям как активная минеральная добавка при производстве вяжущих

веществ или при приготовлении бетонов и строительных растворов, как минеральный порошок в асфальтобетоны, используют золы при производстве силикатных и керамических изделий. Во всех перечисленных случаях зола используется как добавка в относительно небольшом объеме. Вместе с тем, такое использование золы, как правило, ведет к усложнению технологии, дополнительному технологическому оборудованию, увеличению производственных площадей.

Исходя из этого, актуальной задачей в настоящее время является разработка технологий, способствующих значительному увеличению объемов использования шлаков и золы в строительстве.

Анализ публикаций

Химический состав золы Приднепровской ТЭС, работающей на углях Донецкого бассейна, полученный в результате обобщения опубликованных данных [1], приведен в табл. 1. Следует отметить, что анализ приведенных данных показывает, что золы основных наиболее крупных тепловых электростанций Украины по своему химическому составу близки между собой. Содержание SiO_2 находится в основном в пределах 41...54 %. Отклонение от этих пределов наблюдается лишь как частный результат отдельных проб. Содержание оксидов алюминия, железа, кальция и магния также близки. Колебания химического состава золы в указанных пределах не вызывают существенных изменений ее свойств.

Химический состав золы Приднепровской ТЭС

Марки и классы углей	Химический состав, %							НУЧ, %
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO + + Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O + + Na ₂ O	SO ₃	
АШ, АС, АСШ, ПрПр	47...56	18...25	14...20	2...4	1...1,6	3,2...4,5	0,1...0,8	14...26

Модуль основности зол, вычисленный по данным табл. 1, находится, в основном, в пределах 0,04...0,08. Таким образом, золы от сжигания донецких углей относятся к сверхкислым.

Исследования с помощью светового микроскопа показали, что минеральная часть зол ТЭС на 90...92 % состоит из стекла – стекловидной фазы [1]. Основным компонентом этой фазы является кремнезём, который в значительной степени формирует физические и химические свойства золы. Он входит в минеральную часть углей, в остатки от их сжигания (золы, шлаки) и участвует как основной компонент в процессах гидратационного твердения и в процессах синтеза, образуя различные гидросиликаты [2].

Истинная плотность золы уноса Приднепровской ТЭС и других основных электростанций Украины, определенная по методике ГОСТ 9758-86, находится, как правило, в пределах 2,26...2,50 г/см³. Насыпная плотность этой золы находится в пределах 0,75...1,05 г/см³. Она зависит от гранулометрии, содержания несгоревших углеродистых частиц и восстановленного железа.

Средние результаты ситового анализа сбрашиваемых в отвалы зол уноса характеризуются следующими данными: массовая доля остатка на сите с сеткой 016 – 3...9 %, 008 – 8...16 %. Дисперсность зол зависит от ступени золоулавливающих устройств, от которой отбирается проба. На первых ступенях улавливания отбираются сравнительно крупные фракции, характеризующиеся удельной поверхностью 1500...2000 см²/г, на последних – наиболее мелкие – 5000...6000 см²/г. Средняя дисперсность направляемых в отвалы зол находится в пределах 2600...3800 см²/г. В общем случае в результате естественного расслаивания материала на различных участках золоотвалов, формируемых гидравлической системой удаления отходов с ТЭС, оседают и накапливаются золы различной дисперсности, от 1800 до 7000 см²/г.

По химическому составу топливный шлак мало отличается от золы уноса соответствующих ТЭС. Различие состоит в том, что в результате дожигания топлива в шлакосборниках

шлаки практически не содержат несгоревших углеродистых частиц. Массовая доля таких частиц, независимо от марки сжигаемого угля, обычно составляет 0,4...0,8 % и редко превышает 1 %. При дожигании содержащихся в золе высокотемпературных остатков происходит углубление восстановительных процессов, в результате чего доля FeO в общей массе оксидов железа возрастает в шлаке до 60...90 % против 20...30 % в золе уноса. Выделяемые при этом газы образуют в шлаке микро- и макропоры [3].

Физико-механические характеристики топливных шлаков от сжигания донецких углей в котлоагрегатах с жидким шлакоудалением имеют следующие значения [4]. Средняя плотность зерен находится в пределах 2,27...2,47 г/см³. Колебания плотности связаны с различным значением пористости в отдельных зернах. Истинная плотность шлака, определенная по стандартной методике (ГОСТ 8269), близка к значению 2,60 г/см³. Пористость зерен шлака, вычисленная по результатам определения средней плотности зерен и истинной плотности, находится в пределах 6...13 %. Насыпная плотность зависит от плотности зерен, гранулометрии и находится в пределах 1250...1450 кг/м³. Прочностные характеристики топливных шлаков, определяемые путем испытания их в цилиндре, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Прочностные характеристики шлаков ТЭС

Размер фракции, мм	Дробимость (по ГОСТ 8269), %	Прочность при сдавливании в цилиндре (по ГОСТ 9758), МПа
3...10	19...26	4,8...5,1
10...20	31...34	3,6...3,8

Из приведенных данных видно, что шлак мелкой фракции прочнее шлака крупной фракции, поскольку крупные зерна шлака имеют больше дефектов в виде крупных пор, раковин и микротрещин.

При испытании шлака на морозостойкость по методике ГОСТ 8269 (фракция 5...10 мм)

потери массы составили 1,85 % – после 50 циклов, 3,8 % – после 100 и 4,9 % – после 200 циклов попеременного замораживания и оттаивания [1].

Основной материал

Исследованы бетоны на крупном заполнителе (шлаке и гранитном щебне), в которых в качестве мелкого заполнителя использовали кварцевый днепровский песок и золу. В основу наших исследований положено следующее предположение.

Оптимальный состав бетонной смеси, подвергаемой вакуумированию, должен существенно отличаться от виброуплотняемой. Отличительной особенностью вакуумбетона оптимального состава является его бесконтактное строение, обусловленное избыточным содержанием растворной составляющей за счет повышения доли мелкого заполнителя. Правильный выбор соотношения между мелким и крупным заполнителем (М/К) является важным фактором качества и экономичности вакуумбетона.

Для выявления характера зависимости основных показателей вакуумбетона от соотношения М/К и влияния последнего на ход процесса вакуумирования готовили равноподвижные бетонные смеси ($ОК=3...5$ см) состава 1 : 6 (Ц : М+К) с расходом цемента 316...330 кг/м³, различавшиеся соотношением М/К и расходом воды.

Опытные образцы 15×15×7 см формовали вибровакуумированием и вибрационным способом. Перед вакуумированием бетонную смесь 15 с уплотняли вибрированием. В процессе вакуумирования продолжительностью 6 мин. при разрежении в вакуумпости вакуумщита 0,7...0,75 (полный вакуум принят за единицу) производили периодическое вибрирование по 15 с с интервалом 1...1,5 мин. [5]. Результаты определения прочности образцов через 28 суток нормального твердения приведены на рис. 1 и 2. Данные показывают значительное увеличение прочности для всех видов и составов вакуумбетона в сравнении с виброуплотненным. Оптимальное соотношение М/К, обеспечивающее наибольшую прочность вакуумбетона на кварцевом песке (0,5...0,6), на 25...30 % больше по сравнению с виброуплотненным бетоном (0,4). Вакуумирование (при сравнении оптимальных составов) дало увеличение прочности бетона на 30...40 %. При вакуумировании бетонной смеси, состав которой оптимален для виброуплотнения, это увеличение составило

около 20 %. Следовательно, оптимальный состав бетонной смеси для виброуплотнения не является таковым для вакуумбетона.

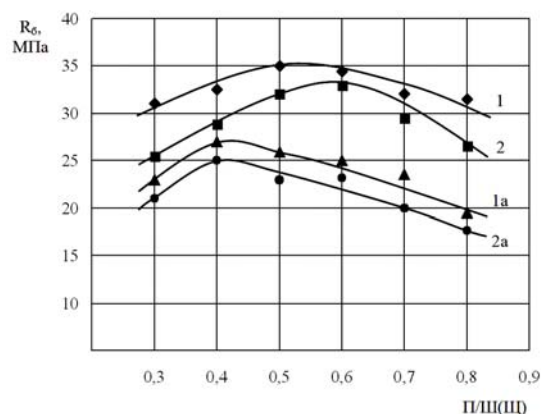


Рис. 1. Прочность бетонов на шлаке и щебне, в которых мелким заполнителем является кварцевый песок:

- 1 – вибровакуумированного на шлаке;
- 1а – то же, виброуплотненного;
- 2 – вибровакуумированного на гранитном щебне;
- 2а – то же, виброуплотненного

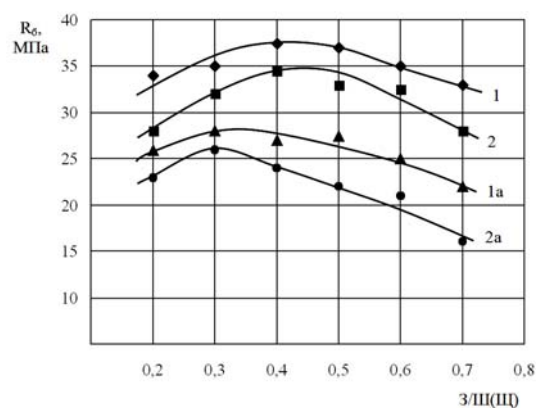


Рис. 2. Прочность бетонов на шлаке и щебне, в которых мелким заполнителем является зола:

- 1 – вибровакуумированного на шлаке;
- 1а – то же, виброуплотненного;
- 2 – вибровакуумированного на гранитном щебне;
- 2а – то же, виброуплотненного

Аналогичные закономерности получены и для бетонов, в которых мелким заполнителем является зола. Только в этом случае оптимальное соотношение М/К для вакуумбетона составляет 0,4, а для виброуплотненных бетонов $М/К = 0,3$. Следует отметить, что бетоны на шлаке и золе, как вибровакуумированные, так и виброуплотненные, характеризуются большей прочностью, чем эти же бетоны на щебне и кварцевом песке. Это открывает широкие возможности использования шлаков и золы для производства строительных изделий и конструкций, что предоставляет возможность значительного снижения стоимости строительства.

Особенно необходимо отметить актуальность массового использования золы в качестве мелкого заполнителя для бетонов. Это связано не только с необходимостью утилизации огромных объемов данного материала в отвалах, но и с существующим в настоящее время дефицитом традиционного мелкого заполнителя.

При исследовании плотности и прочности золобетонов формовали образцы:

- виброуплотненные из исходной (подвижной) бетонной смеси;
- вибровакуумированные;
- виброуплотненные из жесткой смеси (расход воды в бетоне из жесткой смеси такой же, как и у вибровакуумированного).

В исследованиях использовали не только портландцемент М 400, но и местное вяжущее М 200. Подвижность исходной золобетонной смеси характеризовалась осадкой стандартного конуса – ОК=3...4 см. Из каждого вида бетонной смеси формовали те же образцы, что и в предыдущих опытах, для определения плотно-

сти и прочности в возрасте 28 суток при следующих режимах и способах уплотнения (с учетом ранее выполненных нами исследований) [6]. Из бетонной смеси исходного состава образцы формовали вибрационным способом продолжительностью 25...30 с, при формовании образцов из жесткой смеси продолжительность уплотнения вибрированием составляла 60...65 с; вибровакуумированные – после предварительного виброуплотнения продолжительностью 15...20 с, подвергали вакуумированию при разрежении 0,7...0,8. В процессе вакуумирования применяли периодическое вибрирование (в начале процесса два приема по 10...12 с через 2 мин.). Общая продолжительность вибровакуумирования составляла 9 мин., при этом было удалено 88...110 л воды в пересчете на 1 м³ вакуумбетона. Все отформованные образцы твердели в нормальных условиях.

Составы бетонов и результаты их испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Состав, плотность и прочность при сжатии золобетонов

Вид золобетона	Расход материалов, кг/м ³			Количество извлеченной воды, л/м ³	Плотность бетона, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
	Цемент	Зола	Вода			
Цемент М 400						
Виброуплотненный из подвижной смеси	278	1114	368	-	1760 / 1492	5,8
Вибровакуумированный	295	1180	276	110	1751 / 1520	11,7
Виброуплотненный из жесткой смеси	285	1158	274	-	1717 / 1486	8,4
Цемент М 200						
Виброуплотненный из подвижной смеси	291	1107	356	-	1754 / 1460	2,5
Вибровакуумированный	318	1172	261	88	1751 / 1532	4,9
Виброуплотненный из жесткой смеси	312	1166	258	-	1736 / 1517	3,2

Примечание: числитель – плотность бетонов после формования, знаменатель – плотность сухих бетонов.

Вибровакуумирование предоставляет возможность повысить прочность золобетона практически в 2 раза, как при использовании цементов М 400, так и М 200. Прочность бетонов из жестких золобетонных смесей больше прочности бетонов из подвижных смесей только на 25...30 %. Это объясняется недостаточным уплотнением вибрационным способом таких смесей [5].

В табл. 4 обобщены обширные результаты исследований авторов и показана зависимость прочности различных видов золобетонов от расхода цемента М 400 (подвижность исходной золобетонной смеси характеризовалась ОК = 3...4 см).

Как видно из приведенных данных, отмеченные ранее закономерности по прочностным характеристикам рассматриваемых бетонов сохраняются при всех принятых в исследованиях расходах цемента. Эти результаты исследова-

ний еще раз подтверждают высокую эффективность вакуумной обработки золобетонных смесей при формовании изделий.

Таблица 4

Прочность золобетонных в зависимости от расхода цемента и способа уплотнения бетонной смеси

Вид золобетона	Прочность (МПа) при расходе цемента (кг/м ³)		
	250	280	360
Вибровакумированный	8,6	11,8	15,3
Виброуплотненный из подвижной смеси	4,2	5,7	10,1
Виброуплотненный из жесткой смеси	6,3	8,4	12,0

Выводы

Рациональные для вакуумирования бетонные смеси, как на шлаке, так и на щебне, отличаются от виброуплотняемых увеличенным на 25...30 % содержанием мелкого заполнителя (на 200 и более кг/м³) и, соответственно, увеличенным на 20...40 % соотношением М/К. Вакуумная обработка таких бетонов позволяет повысить прочность на 30...50 %, а при получении равнопрочных бетонов – существенно снизить расход цемента.

Показана высокая эффективность вакуумной обработки золобетонных, как на обычном цементе (М 400), так и на местном вяжущем (М 200) – предоставляется возможность повысить

прочность таких бетонов практически в 2 раза.

Широкое использование бетонов на шлаке и золобетонных в строительстве дает возможность решить проблему заполнителей для бетонов, способствует утилизации отходов ТЭС и, соответственно, охране окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сергеев, А. М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности [Текст] : монография / А. М. Сергеев. – К.: Будівельник, 1984. – 120 с.
2. Levine, S. Power plant ash – a growing raw material resource [Text] / S. Levine // Modern concrete. – 1978. – v. 41, No. 10. – P. 59-61.
3. Бабачев, Г. Зола и шлаки в производстве строительных материалов [Текст] : монография / Г. Бабачев. – К.: Будівельник, 1987. – 136 с.
4. Горчаков, Г. И. Использование золы гидроудаления в бетоне [Текст] / Г. И. Горчаков, Э. Г. Мурадов, Н. А. Сканава // Бетон и железобетон. – 1976. – № 9. – С. 14-16.
5. Сторожук, Н. А. Вибровакуумная технология золошлаковых бетонов [Текст] / Н. А. Сторожук, Т. М. Павленко // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. пр. (будівництво). – 2009. – Вип. 72. – С. 302-308.
6. Сторожук, Н. А. Вибровакуумирование бетонных смесей и свойства вакуумбетона [Текст] : монография / Н. А. Сторожук. – Д.: Пороги, 2008. – 251 с.

Поступила в редколлегию 23.02.2011.

Принята к печати 02.03.2011.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТЕКАНИЯ ТОКСИЧНОГО ГАЗА В ПОМЕЩЕНИЕ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОГО ОБЪЕКТА

Розроблено тривимірну чисельну модель розрахунку процесу поширення токсичного газу на промплощадці та затіканні токсичного газу у приміщення при аварійному викиді на підприємстві. Модель базується на чисельному інтегруванні рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки та моделі течії нестислої рідини. Наводяться результати обчислювального експерименту.

Ключові слова: тривимірну чисельна модель, токсичний газ, аварійний викид, нестисла рідина

Разработана трехмерная численная модель расчета процесса распространения токсичного газа на промплощадке и затекания токсичного газа в помещение при аварийном выбросе на предприятии. Модель основывается на численном интегрировании уравнений конвективно-диффузионного переноса примеси и невязкой несжимаемой жидкости. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: трехмерная численная модель, токсичный газ, аварийный выброс, несжимаемая жидкость

The 3D-numerical model to simulate the toxic gas dispersion on industrial sites and inflow of toxic gas into the industrial room after accident ejections was developed. The model is based on the K -gradient transport model and equation of potential flow. The results of numerical experiment are presented.

Keywords: 3D-numerical model, toxic gas, accident ejections, potential flow

Введение

При возможных авариях на территории химически опасных промышленных объектов крайне важно адекватно оценить масштаб угрозы с целью прогноза риска поражения людей на объекте и разработки эффективных мер защиты. В рамках этой комплексной задачи следует выделить задачу о затекании загрязненного атмосферного воздуха (ЗАВ) через систему вентиляции в помещения зданий, которые расположены на промышленной площадке и последующее загрязнение воздушной среды в этих помещениях. Такой прогноз особенно важен при решении задач промышленной безопасности, т.к. внутри помещений может находиться значительное количество людей и надо оценить уровень угрозы их поражения на рабочих местах. То есть, задачу о прогнозе риска поражения людей на промышленном объекте условно можно разбить на две задачи – поражение людей на открытом пространстве и поражение людей внутри помещений. Так, в принципе, и делается в нормативной методике [11], но риск поражения – т.е. величина людских потерь, в данной методике просто «назначается» без опоры на какие – либо расчеты. С точки зрения промышленной безопасности, здесь крайне важно, при разработке ПЛАСА (план ликвидации аварийной ситуации), *рассчитать* и научно обосновать величину возможных потерь. Эти потери в различных местах предприятия, в

различных помещениях – то же будут различны. Поэтому необходимо адекватно определить динамику загрязнения воздушной среды, как на открытом пространстве, так и в помещениях, при возможном затекании в них токсичных веществ и, на основе этой информации, оценить риск поражения людей, находящихся в помещениях, возможность их безопасной эвакуации.

Традиционно для решения данной задачи используется нуль-мерная модель прогноза уровня загрязнения воздушной среды в помещениях [8,11] вида

$$VdC_{\text{пом}} = LCdt - LC_{\text{пом}}dt \quad (1),$$

где V – объем помещения;

$C_{\text{пом}}$ – концентрация токсичного вещества (ТВ) в выходящем из помещения воздухе;

L – воздухообмен;

C – концентрация ТВ во втекающем воздухе.

Необходимо отметить, что концентрация ТВ во втекающем воздухе (т. е. концентрация ТВ на месте расположения воздухозаборника на здании) постоянно изменяется со временем и определяется из решения «внешней» задачи – т.е. задачи о рассеивании токсичного вещества в атмосфере между зданиями. Таким образом, чтобы решать рассматриваемую задачу – ЗАВ, предварительно, необходимо рассчитать процесс рассеивания ТВ на промышленном объекте. С этой точки зрения решение задачи о затекании загрязненного атмосферного воздуха че-

рез систему вентиляции в помещения становится далеко не тривиальной.

Модель (1) широко использовалась в расчетах для прогноза загрязнения воздушной среды в помещениях химических производств при авариях, в метрополитенах и т.д. [8, 11]. Но следует отметить следующие ее недостатки:

- модель определяет концентрацию токсичного вещества не в помещении, а в *удаляемом воздухе*. Это не дает возможности оценить *реальную* степень загрязнения воздушной среды как в самом помещении, так в различных местах внутри него, например, там, где есть риск появления вторичной аварии;

- модель не учитывает влияние положения приточных и вытяжных отверстий вентиляции на процесс переноса токсичного вещества внутри помещения (т. е. не учитывает аэродинамику воздушных потоков в помещении);

- модель не учитывает влияние различных препятствий (технологического оборудования внутри помещения, стеллажей и т. д.) на процесс переноса токсичного вещества и формирование застойных, плохо проветриваемых зон, где возможно накопление загрязнителя.

Но самым главным недостатком модели (1) является то, что «прогнозное» значение концентрации токсичного вещества осредняется по объему помещения, а значит исследователь получает заниженное значение концентрации и тем самым имеет недостоверную информацию о масштабе угрозы – что крайне опасно.

Для ликвидации указанных недостатков следует использовать пространственные (3D) прогнозные модели. В этой связи важным вопросом является построение эффективных (не только с точки зрения затрат времени на расчет, но и простоты реализации) CFD 3D моделей для расчета процесса загрязнения воздушной среды в помещении при затекании в них токсичного газа. Для практики крайне важно, чтобы такие модели считали быстро (время расчета задачи составляло порядка нескольких минут) и при этом позволяли учесть аэродинамику воздушных потоков в помещении, положение, форму технологического оборудования в помещении.

Аналогично, крайне важно для практики иметь эффективные CFD 3D модели для прогноза уровня загрязнения атмосферы в условиях промышленной застройки при аварийных выбросах токсичных веществ. Характерной особенностью задач данного класса является перенос примеси при наличии зданий (препятствий). По этой причине применение аналити-

ческих моделей прогноза для задач данного класса – исключено. Использование на практике прогнозных моделей на базе уравнений Навье-Стокса и различных моделей турбулентности ($k-\varepsilon$ модель, LES моделирование и т.п.) для решения задач о переносе загрязняющих веществ в условиях промышленной площадки или внутри помещений является проблемным в настоящее время. Это связано с необходимостью использования для данных моделей крайне мелкой сетки [1, 9, 12, 13, 15 – 18], необходимостью решения не только уравнений гидродинамики и переноса примеси, но и дополнительных уравнений, применяемых для описания турбулентности. Все это предъявляет высокие требования к ресурсам компьютера. Реализации численных моделей, основанных на уравнениях Навье-Стокса приводит к значительным затратам машинного времени, что является неприемлемым при решении задач, связанных с аварийным загрязнением воздушной среды.

Применение метода физического моделирования для решения рассматриваемого класса задач имеет свои особенности:

- 1) необходимость использования дорогостоящего оборудования (система Laser Doppler, система Ultra Sonic Turbulence Measurement и т. д.);

- 2) значительное время на постановку эксперимента, его проведение, обработку данных;

- 3) проведение физического эксперимента по моделированию процесса переноса токсичных веществ (ТВ) в реальных условиях застройки, при реальных масштабах выброса – опасно, и, по сути, практически неосуществимо;

- 4) при проведении физического эксперимента в аэродинамических трубах возникает проблема неэквивалентности экспериментальных и реальных условий (например, не соблюдение критерия подобия по числу Рейнольдса).

Применение современных коммерческих кодов для прогноза уровня загрязнения атмосферы, например, таких как *WRF*, *CMAQ*, *MUSKAT*, *SILAM*, *LOTUS-EUROS*, *MACMOD*, *WRF-MUSKAT* [13 – 15] требует значительного количества метеорологической информации, что при рассмотрении задач локального прогноза – порядка нескольких сотен метров получить невозможно. Реализация этих кодов осуществляется на сетках порядка 10×10 км и более. В этой связи, важным вопросом является создание математических моделей локального прогноза уровня загрязнения атмосферы при аварийных выбросах токсичных веществ на промышленных площадках, позволяющих

учесть основные физические факторы: различный тип выброса, наличие зданий и обеспечить эффективное решение задачи о затекании токсичного газа в помещения.

Целью настоящей работы является построение численной модели и кода для решения задачи прогноза загрязнения воздушной среды в помещениях при затекании в них токсичного газа. Такую задачу можно назвать сочетанием двух задач – «внешней» (перенос примеси в условиях застройки) и «внутренней» (перенос примеси в помещении). Достоинством предложенной модели является возможность учета основных физических факторов, влияющих на процесс переноса токсичного газа в условиях застройки и внутри помещений, и при этом – небольшие затраты машинного времени при практической реализации модели. Расчет гидродинамики воздушного потока в трехмерной постановке, как для «внешней», так и для «внутренней» задач осуществляется в рамках модели невязкой несжимаемой жидкости [3, 4, 9].

Математическая модель загрязнения атмосферы

Для моделирования процесса переноса загрязняющего вещества на промышленной площадке будем использовать трехмерное уравнение миграции примеси [2–4]

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)C}{\partial z} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \sum Q_i(t) \delta(r - r_i), \end{aligned} \quad (2)$$

где C – концентрация ТВ; 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 ТВ; $\delta(r - r_i)$ – дельта-функция Дирака; $r_i = (x_i, y_i, z_i)$ – координаты источника выброса.

В построенной численной модели метеорологические параметры – профиль скорости ветра на входе в расчетную область, коэффициенты атмосферной диффузии рассчитываются по зависимостям [3, 4]:

$$u = u_1 \left(\frac{Z}{Z_1} \right)^n;$$

$$\mu_z = 0,11z; \quad \mu_y = 0,2 u(x, y, z); \quad \mu_x = \mu_y,$$

где u_1 – значение скорости ветра на высоте $Z_1 = 10$ м; $n = 0,15$.

Постановка краевых условий для уравнения (1) рассмотрена в работах [6, 7].

Математическая модель загрязнения воздушной среды в помещении

Загрязненный атмосферный воздух попадает в помещение через систему вентиляции.

Для расчета трехмерного процесса загрязнения воздушной среды в помещении при втекании в него ТВ, с учетом геометрической формы помещения, наличия в нем технологического оборудования, с учетом положения отверстий приточно-вытяжной вентиляции используется уравнение переноса примеси (2).

На границе втекания (приточное отверстие вентиляции) загрязненного воздуха в помещение задается концентрация ТВ на месте расположения воздухозаборника вентиляции, которая зависит от времени и определяется в процессе решения «внешней» задачи – т.е. задачи об определении нестационарного поля концентрации ТВ в атмосфере при рассеивании его на промплощадке. На твердых границах – пол, стены, потолок, оборудование и т.п. – ставится граничное условие равенства нулю потока примеси. На границе выхода потока из помещения (выходное отверстие вентиляции) ставится «мягкое» граничное условие [7]. В начальный момент времени полагается, что концентрация ТВ $C = 0$ внутри помещения.

Модель гидродинамики

Расчет нестационарного процесса загрязнения воздушной среды, как на промышленной площадке, так и внутри помещений при затекании в них ТВ основывается на предварительном решении гидродинамической задачи – определении поля скорости воздушного потока при наличии препятствий (здания, оборудование в помещениях и т.д.). Для расчета поля скорости воздушного потока при обтекании зданий на промышленной площадке или при движении потока внутри помещения делается допущение, что движение воздушной среды – потенциальное [3, 9], 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 скорости.

Уравнение для определения потенциала скорости имеет вид

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

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 (граница втекания воздушного потока – входное отверстие вентиляции или ветровой поток)

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

где V_n – известное значение скорости;

- на выходной границе

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

(условия Дирихле).

Метод решения

Численное интегрирование уравнения (2) осуществляется с использованием неявной попеременно-треугольной разностной схемы расщепления [6]. Для численного интегрирования уравнения (3) используется метод А. А. Самарского [10]. Для формирования вида расчетной области в модели (как при решении внешней, так и внутренней задач) используется метод «porosity technique» [13]. Применение данного метода дает возможность быстро формировать вид расчетной области и «выделять» в численной модели особенности задачи – положение оборудования в помещениях, форму зданий, положение отверстий вентиляции и т.д.

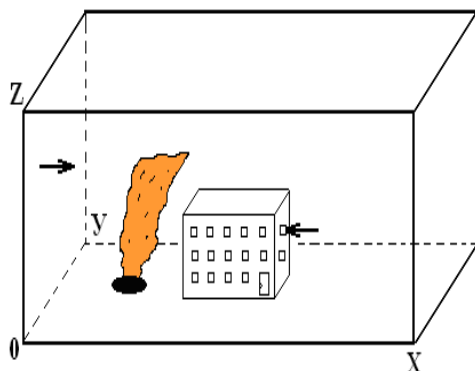


Рис. 1. Схема положения места утечки токсичного вещества на промышленной площадке и места расположения воздухозаборника на торце здания

Практическое применение численной модели

На основе построенной численной модели создан код *CMAF* (*Computer Modelling of Air Pollution*). Данный код был применен для решения следующей задачи. На промышленной площадке расположено здание (рис. 1). Возле него происходит аварийный выброс сероводорода.

Параметры задачи: размеры расчетной области; $60 \times 60 \times 60$ м; интенсивность выброса – 400 г/с. В расчетах принималось: $u_1 = 5$ м/с – значение скорости ветра на высоте $Z_1 = 10$ м; $n = 0,15$, $w_s = 0$. При исследовании, ставится задача определить концентрацию токсичного газа в производственном помещении. Воздух в это помещение поступает из воздухозаборника, расположенного в торце здания (рис. 1, место поступления загрязненного атмосферного воздуха в помещение – т.е. положение воздухозаборника условно показано стрелкой). Воздухообмен в помещении (объемом 223 м^3) составляет $1 \text{ м}^3/\text{с}$.

Результаты решения «внешней» задачи показаны на рис. 2 – 4, где представлена зона загрязнения атмосферы на промышленной площадке для различных моментов времени после аварии. Из данных рисунков отчетливо видно формирование обширной зоны загрязнения, охватывающей здание со всех сторон, т.е., в зону поражения выходят все выходы из здания.

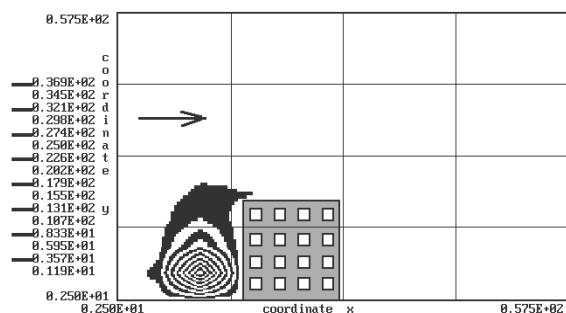


Рис. 2. Зона загрязнения атмосферы, $t = 5$ с (сечение $y = 27,5$ м)

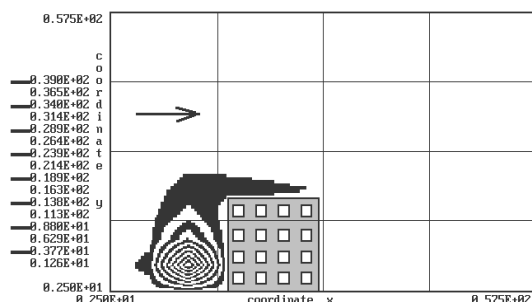


Рис. 3. Зона загрязнения для момента времени $t = 8$ с (сечение $y = 27,5$ м)

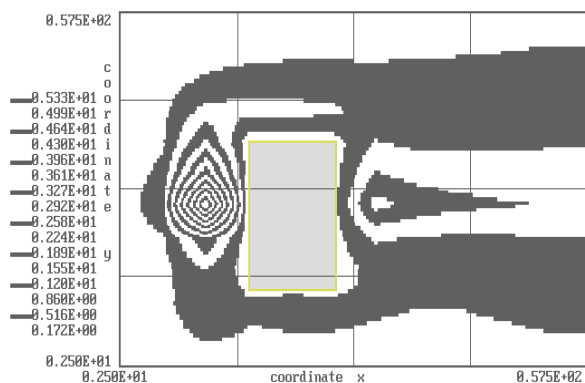


Рис. 4. Зона загрязнения атмосферы (вид сверху) для момента времени $t = 45$ с (сечение $z = 7,5$ м)

Ниже представлены результаты расчета загрязнения воздушной среды в помещении при затекании в него загрязненного атмосферного воздуха и выполненные на базе 3D-модели переноса примеси (2). Схема производственного помещения показана на рис. 5. В помещении находится технологическое оборудование, которое в численной модели представлено в виде двух параллелепипедов. Поступление воздуха в помещении осуществляется через отверстие в стене, а выходное отверстие вентиляции находится на противоположной стене.

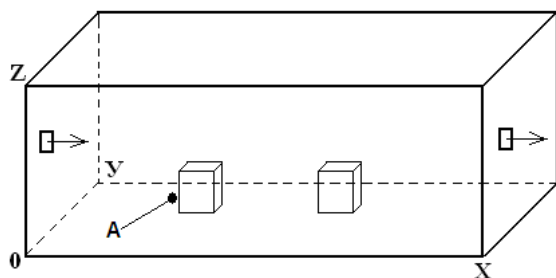


Рис. 5. Схема производственного помещения, куда втекает загрязненный воздух через воздухозаборник системы вентиляции

На последующих рис. 6 – 9 представлена динамика загрязнения воздушной среды в помещении для различных моментов времени (еще раз отметим, что моменту времени $t = 0$ соответствует начало выброса токсичного газа на промышленной площадке). Из данных рисунков видно, как происходит дифракция фронта загрязненного воздуха над технологическим оборудованием в помещении. Вблизи входного отверстия формируется зона загрязнения с большим градиентом концентрации.

При проведении расчетов по распространению загрязненного воздуха в помещении принималось: коэффициент турбулентной диффузии $\mu_x = \mu_y = \mu_z = 0,2 \text{ м}^2/\text{с}$.

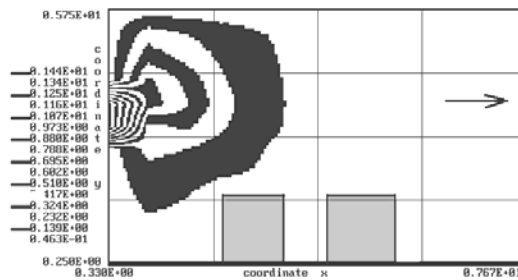


Рис. 6. Зона загрязнения в помещении для момента времени $t = 10$ с (сечение $y = 3,6$ м)

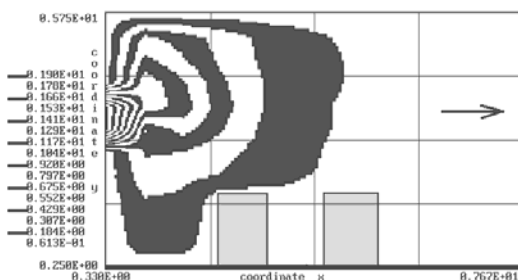


Рис. 7. Зона загрязнения в помещении для момента времени $t = 16$ с (сечение $y = 3,6$ м)



Рис. 8. Зона загрязнения в помещении, $t = 26$ с (сечение $y = 3,6$ м)

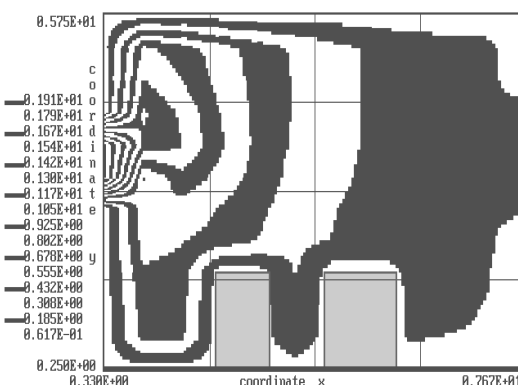


Рис. 9. Зона загрязнения в помещении для момента времени $t = 32$ с (сечение $y = 3,6$ м)

Хорошо заметно (рис. 8, 9) как вытягивается фронт зоны загрязнения в направлении выходного отверстия вентиляции. Отчетливо видно,

как формируются подзоны загрязнения в плохо проветриваемых областях: перед оборудованием, за оборудованием и между оборудованием.

На базе 3D-численной модели имеется возможность прогноза величины концентрации в любой интересующей точке в помещении. Например, концентрация сероводорода перед первым оборудованием (точка А, рис. 5) изменяется с течением времени следующим образом:

$$t = 20 \text{ с} \quad C = 0,092 \text{ г/м}^3$$

$$t = 24 \text{ с} \quad C = 0,148 \text{ г/м}^3$$

$$t = 32 \text{ с} \quad C = 0,334 \text{ г/м}^3$$

Принимая во внимание, что ПДК для сероводорода составляет 10 мг/м^3 , то как видно из представленных данных концентрация загрязнителя в помещении очень быстро превысит это пороговое значение. Таким образом, за такой промежуток времени после аварии эвакуация людей из помещения может быть не осуществлена, и при отсутствии индивидуальных средств защиты следует ожидать токсичное поражение людей внутри помещения.

Отметим, что для решения рассмотренной сопряженной задачи прогноза динамики загрязнения воздушной среды как на промышленной площадке, так и внутри помещения, и при использовании разработанной 3D численной модели потребовалось около 1 мин. времени работы ПК.

Выводы

В работе рассмотрено численное решение сопряженной задачи – перенос токсичного газа в атмосфере при аварии на химически опасном объекте и процесс загрязнения воздуха в помещении при затекании в него токсичного газа через систему вентиляции. Вычислительный эксперимент проведен на базе построенной численной модели. Проведенный вычислительный эксперимент показал эффективность построенной численной модели – оперативное получение прогнозных данных. При этом в модели осуществляется учет основных физических факторов, влияющих на процесс переноса загрязнителя. Построенная численная модель позволяет на новом уровне осуществлять оценку риска поражения людей на химически опасных объектах при авариях и терактах, что является важным определении уровня безопасности промышленного объекта. Модель может использоваться при разработке ПЛАСА для получения научно-обоснованной информации относительно масштаба поражения.

Дальнейшее совершенствование данного направления необходимо вести по созданию

численной модели для расчета рассеивания бактериологических загрязнителей на промышленных объектах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андерсон, Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен [Текст] / Д. Андерсон, Дж. Р. Таннехилл Плетчер. – М.: Мир, 1990 – 725 с.
2. Беляев, Н. Н. Расчет распространения загрязняющих веществ в условиях застройки [Текст] / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 18. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 21-24.
3. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы [Текст] / М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
4. Бесчастнов, М. В. Предупреждение аварий в химических производствах [Текст] / М. В. Бесчастнов, В. М. Соколов. – М.: Химия, 1979. – 392 с.
5. Бесчастнов, М. В. Аварии в химических производствах и меры их предупреждения [Текст] / М. В. Бесчастнов, В. М. Соколов, Н. И. Кац. – М.: Химия, 1976. – 368 с.
6. Бруцкий, Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов [Текст] / Е. В. Бруцкий. – К.: Ин-т гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
7. Гунько, Е. Ю. Оценка риска токсичного поражения людей при аварийном выбросе химически опасного вещества [Текст] / Е. Ю. Гунько // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 20. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 87-90.
8. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский [и др.]. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
9. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
10. Меньшиков, В. В. Опасные химические объекты и техногенный риск [Текст] / В. В. Меньшиков, А. А. Швыряев. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 245 с.
11. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті [Текст]. – К., 2001. – 33 с.
12. Логачев, И. Н. Аэродинамические основы аспирации [Текст] / И. Н. Логачев, К. И. Логачев. – СПб.: Химиздат, 2005. – 659 с.
13. Самарский, А. А. Теория разностных схем [Текст] / А. А. Самарский. – 2-е изд., испр. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
14. Эльтерман, В. М. Вентиляция химических производств [Текст] / В. М. Эльтерман. – 3-е изд., перераб. – М.: Химия, 1980. – 288 с.

15. Computation of Wind Flow and Air Pollution for Regions Having a Complex Topography [Text] / Kadja Mahfound, Anagnostopoulos [*et al.*] / Proc. of 3rd European & African Conf. on Wind Engineering (Eindhoven Univ. of Technology, Netherlands, July 2-6, 2001). – P. 355-358.
16. Development of building resolving atmospheric CFD code taking into account atmospheric radiation in complex geometric [Text] / Y. Qu [*et al.*] // Conf. Abstracts of 31st NATO / SPS Int'l Technical Meeting on Air Pollution Modelling and it's Application (27 Sept. – 01 Oct., Torino, Italy, 2010). – № P1.5.
17. Rakitin, A. Modeling the impact of urban emissions in Russia on air quality in northern Europe [Text] / A. Rakitin, M. Makarova, D. Ionov // Conf. Abstracts of 31st NATO / SPS Int'l Technical Meeting on Air Pollution Modelling and it's Application (27 Sept. – 01 Oct., Torino, Italy, 2010). – № 2.17.
18. The use of MM5–CMAQ air pollution modeling system for real time and forecasting air quality impact of industrial emissions / R. San Jose [*et al.*] // Advances in Air Pollution Modeling for Environment Security. NATO Science Series, – Springer, 2004. – Vol. 54. – P. 326-335.
19. Murakami, S. Overview of turbulence models applied in CWE – 1997 [Text] / S. Murakami // J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 74-76 (1998). – P. 1-24.
20. Murakami, S. Past, present and future of CWE: The view from 1999 [Text] / S. Murakami, A. Mochida // Wind Engineering into the 21st Century. – Rotterdam, Balkena, 1999. – P. 91-97.
21. Murakami, S. Comparison of “*k-ε*” Model, ASM and LES with wind tunnel test for flow field around cubic model [Text] / S. Murakami, A. Mochida, H. Yoshihiko // 8th Int'l. Conf. on Wind Engineering (Western Ontario, July 8-11, 1991). – № 12.

Поступила в редколлегию 11.05.2011.

Принята к печати 13.05.2011.

Н. Н. БЕЛЯЕВ (ДИИТ), П. С. КИРИЧЕНКО (Криворожский технический университет)

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЙВАНИЯ ШАХТНЫХ ВОД В АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Наведено результати фізичного експерименту з моделювання скиду шахтних вод Криворізького регіону в акваторію Чорного моря. Експеримент був проведений у гідравлічному лотку.

Ключові слова: скид шахтних вод, забруднення моря

Представлены результаты физического эксперимента по моделированию сброса шахтных вод Криворожского региона в акваторию Черного моря. Эксперимент проведен в гидравлическом лотке.

Ключевые слова: сброс шахтных вод, загрязнение моря

An experiment to model the mine waste waters discharge into the Black Sea was carried out. The experiment was held in the water channel. Some experimental results are presented.

Keywords: mine waste waters discharge, sea contamination

Введение

Сегодня в Криворожском бассейне работает 5 мощных горно-обогатительных комбинатов и 8 шахт, которые ведут добычу руды в 10 карьерах открытым способом на глубинах 300...500 метров и в подземных условиях от 500 до 1200 метров, в которых добывают до 130 млн т/год железорудного сырья. Для поддержки благоприятного гидрологического режима добычи железорудного сырья и недопущения затопления отработанного пространства в бассейне в течение последних лет откачивается около 40,0 млн м³/год подземных вод, среди которых карьерные воды составляют 21,0...22,0 млн м³/год и 17,0...18,0 млн м³/год – высокоминерализованные шахтные воды. На уровне 1970-х гг. прошлого столетия в бассейне откачивалось до 60 млн м³/год подземных вод. До 1970 года все шахтные и карьерные воды горнодобывающих предприятий Кривбасса сбрасывались в реки Ингулец и Саксагань. Средняя минерализация шахтных и карьерных вод в это время не превышала 5 г/л при 10...12 г/л по отдельным шахтам. В настоящее время наблюдается резкое ухудшение качества подземных и поверхностных вод вызвано активной деятельностью горнорудных предприятий. Из Карачуневского водохранилища тратится примерно 70,2 млн м³ пресной воды на промывку русла реки Ингулец, в которую происходит сброс шахтных вод. Но такие мероприятия малоэффективны, потому что промывная вода водохранилища за содержанием сульфатов относится к слабо солоноватым водам.

Особая экологическая проблема – это накопление шахтных вод в прудах - отстойниках, созданных на различных балках. В 2010 году средняя минерализация шахтных и стоковых вод в хвостохранилище шахты «Гвардейская»

составила – 3 г/дм³, в пруде-накопителе балки Свистунова – 38,4 г/дм³ (рис. 1). Минерализация воды в реке Ингулец ниже Кривого Рога составляет 2,0...3,5 г/дм³, достигая 9...10 г/дм³ во время сбросов шахтных вод из хвостохранилищ и прудов-накопителей. Вследствие этого под угрозой очутилось водоснабжение г. Николаева, продолжается засоление орошаемых земель Днепропетровской, Херсонской и Николаевской областей (сейчас стали почти непригодные к использованию порядка 59,5 тыс. гектаров орошаемых земель). Из прудов-накопителей и хвостохранилищ происходит фильтрация стоков в подземные водоносные горизонты, вызывая интенсивное их загрязнение. В настоящий момент общий объем дренажа вод из прудов-отстойников, шламохранилищ горнообогатительных комбинатов оценивается примерно в 14...20 млн м³/год. Ввиду отсутствия других емкостей, пригодных для аккумуляции шахтных вод, возникла необходимость срочного поиска альтернативных, экологически безопасных вариантов обращения с избытками этих вод. В соответствии с поручением Совета Министров Украинской ССР от 20.11.84 г. № 9006/82, в 1986 г. Кривбаспроект приступил к выполнению технико-экономического расчета (ТЭР) отвода шахтных вод Кривбасса. В этом ТЭР рассматривались, в частности, такие варианты отвода шахтных вод:

– вариант I – отвод шахтных вод в Черное море;

– вариант II – отвод шахтных вод в пруд-накопитель Запорожского железнорудного комбината, расположенного в Утлюкском лимане Азовского моря;

– вариант III – захоронение шахтных вод в геологические структуры;

– вариант IV – опреснение шахтных вод и их утилизация;

В настоящее время как наиболее перспективный и экономически выгодный рассматривается вариант сброса шахтных вод в акваторию Черного моря. Однако экологическое обоснование такого сброса - отсутствует. Такое обоснование основывается на прогнозе уровня загрязнения акватории моря при сбросе шахтных вод.

Целью данной работы является проведение физического эксперимента по оценке влияния перепада плотности между сбрасываемыми шахтными водами и морской средой на характер формирования ближней (т.е. прилегающей к сбросному отверстию трубы) зоны загрязнения в акватории моря. В качестве места сброса выбрана, предложенная в ТЭР, акватория Черного моря вблизи пос. Железный Порт (Херсонская обл., рис. 2).



Рис. 1. Концентрация сульфатов в различные годы в пруде-отстойнике на б. Свистунова (последний столбец – величина ПДК)



Рис. 2. Схема размещения водовода, по которому планируется отвод шахтных вод из Криворожского района для их сброса в Черное море возле пос. Железный Порт

Описание экспериментальной установки и методики моделирования

Сброс шахтных вод в акваторию моря будет реализован через сбросную трубу, размещен-

ную на расстоянии порядка 5 км от берега. Схематично это показано на рис. 3. В море, на определенной глубине, будет размещена сбросная труба. Расход шахтных вод через трубу, режим сброса, диаметр трубы – известны.

Физическое моделирование процесса сброса минерализованных шахтных вод в море проводилось в гидравлическом лотке (ширина лотка 13 см, длина – 1,7 м). Моделирование осуществлялось по числу Фруда и числу Архимеда [1, 2], т.е.

$$Fr = \frac{V^2}{gL} = idem ;$$

$$Ar = \frac{gL}{V^2} \cdot \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{\rho_1} = idem ,$$

где V – характерная скорость; ρ_1, ρ_2 – плотность несущей среды и сбрасываемых сточных вод; L – характерный линейный размер.

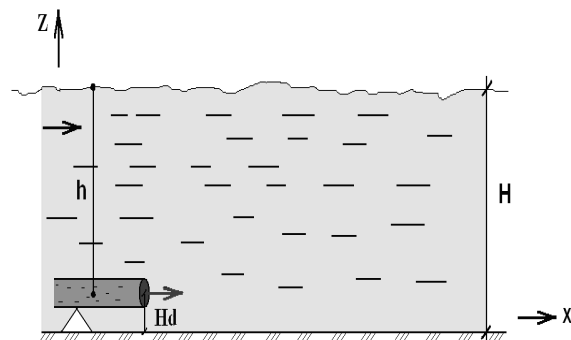


Рис. 3. Схема сброса шахтных вод в море

В качестве характерного линейного размера принят диаметр сбросной трубы $d_n = 1$ м, а за характерную скорость принята скорость в сбросной трубе на выходе $V_n = 1,2$ м/с.

Моделирование проводилось в масштабе 1:100, таким образом, диаметр сбросной трубы на модели составил $d = 1$ см. Скорость в сбросной трубе на выходе, на модели, должна удовлетворять условию (согласно критерию Фруда)

$$V_M = \frac{V_H}{\sqrt{\alpha}} ;$$

где $\alpha = \frac{L_H}{L_M}$ – линейный масштаб; индекс «Н»

относится к параметрам природы, а индекс «М» – к модели.

Морская вода и шахтные воды имеют различную плотность. Поэтому при проведении физического эксперимента необходимо учесть данную особенность. Этот учет осуществляется путем обеспечения равенства числа Архимеда для модели и природы. Для обеспечения выпол-

нения критерия Архимеда минерализация «сбрасываемых» вод при проведении эксперимента составляла величину 21 г/л, поскольку вода, подаваемая в лоток, и моделирующая несущую среду – «море» бралась и системы питьевого водоснабжения. Для обеспечения заданного уровня минерализации в сбрасываемую в лоток воду (т.е. воду, которая моделировала шахтную) добавлялось соответствующее количество поваренной соли (отметим, что минерализация воды в Черном море составляет величину порядка 17...18 г/л, а сбрасываемых шахтных вод – 31...38 г/л).

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 4. В лотке 3 размещен ложемент 6, на котором располагается сбросная труба для подачи в поток минерализованных «шахтных» вод. Подача этих вод в сбросную трубу 7 осуществляется из бачка 8, где поддерживается постоянный уровень, для обеспечения в сбросной трубе заданной скорости истечения V_m . Для обеспечения спокойного состояния водного потока на участке сброса минерализованных вод, устанавливались два водослива – 4 и 5 (рис. 4). Подача воды в гидравлический поток 3 осуществлялась из резервуара 1. Для регулирования подачи использовался затвор 2. Фото гидравлического лотка показано на рис. 5.

Расход воды через лоток определяется объемным способом. Скорость потока V_m в сбросной трубе определялась с помощью трубки Пито. Глубина воды в лотке составляла 9,3 см. Вдоль лотка размещалась линейка для измерения длины зоны, где произойдет оседание струи сбросных вод, имеющих большую плотность. Для визуализации процесса рассеивания в сбрасываемые воды добавлялся краситель. Сброс вод в лоток фиксировался видеосъемкой.

Результаты моделирования

Результаты экспериментальных исследований показаны на рис. 6 и рис. 7, где представлено фото зоны загрязнения водной среды в сходственные моменты времени ($t = 10$ с) при истечении нейтральных сточных вод (рис. 6) (перепад плотности несущей среды и сбрасываемых вод равен нулю) и при сбросе минерализованных «шахтных» вод (рис. 7).

Хорошо видно, что при сбросе «нейтральных» вод, струя, вышедшая из сбросной трубы, движется прямолинейно и не имеет тенденции к осаждению вниз. Отчетливо наблюдается тенденция расширения струи под действием

диффузии. Однако, при сбросе минерализованных вод (рис. 7) картина рассеивания – другая.

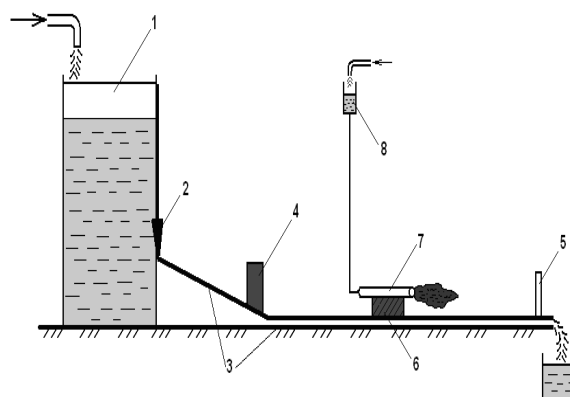


Рис. 4. Принципиальная схема расположения оборудования в гидравлическом лотке:
1 – резервуар; 2 – затвор; 3 – лоток; 4 – водослив практического профиля; 5 – водослив с тонкой стенкой; 6 – ложемент; 7 – сбросная труба; 8 – бачок для подачи минерализованной воды



Рис. 5. Вид гидравлического лотка

Четко видно (рис. 7), что на расстоянии порядка 3 см от сбросного отверстия (в натуре, этому расстоянию соответствует длина участка 3 м) движение струи прямолинейное за счёт ее кинетической энергии. Но дальше имеет место хорошо выраженное движение загрязненной струи сбросных вод ко дну лотка и, начиная от сечения $l \approx 4$ см, (в натуре, $l \approx 4$ м) струя минерализованных вод движется вдоль дна. Вдоль дна располагается «ядро» шлейфа – наиболее концентрированная подзона загрязнения. Также видно, что вследствие турбулентной диффузии происходит размыв струи и частичное движение загрязнителя вверх.

При теоретическом расчете процесса рассеивания шахтных вод в акватории моря можно использовать полученный результат – применить метод «фиктивного источника» в математической модели. Это значит, что в математи-

ческой модели необходимо разместить источник сброса шахтных вод, сдвинутым на расстояние l , от реального положения выходного отверстия трубы.

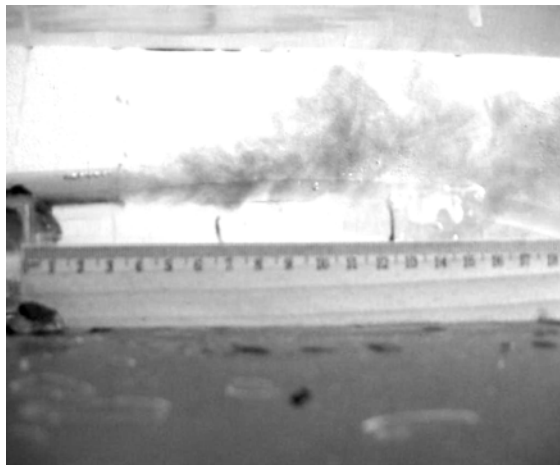


Рис. 6. Распространение загрязненной струи воды в лотке (нет перепада плотности между несущей средой и вторичным потоком)



Рис. 7. Распространение загрязненной струи «шахтных» вод в лотке (есть перепад плотности между несущей средой и вторичным потоком)

Выводы

В работе рассмотрена методика постановки и проведения физического эксперимента по моделированию рассеивания минерализованных шахтных вод в Черном море при их возможном сбросе туда в случае реализации проекта по утилизации высокоминерализованных вод Криворожского горнорудного бассейна. Моделирование проведено в гидравлическом лотке. В качестве критериев гидродинамического подобия использовались числа Фруда и Архимеда. Определена длина зоны, где произойдет оседание струи шахтных вод, вызванное перепадом плотности между несущей средой и вторичным потоком.

Дальнейшее совершенствование данного направления необходимо вести по созданию численной модели для расчета рассеивания шахтных вод в акватории моря.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник по гидравлике [Текст] / В. А. Большаков [и др.]. – К.: Вища шк., 1977. – 280 с.
2. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа [Текст] / Л. Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1978. – 735 с.

Поступила в редколлегию 16.05.2011.

Принята к печати 18.05.2011.

І. Я. ПЕРЕСТА, Л. О. ЯРИШКІНА, С. І. МУЗИКІНА, Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО,
І. Л. ЖУРАВЕЛЬ (ДПТ)

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ВИТОКІВ НАФТОПРОДУКТІВ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕНЬ

В статті обговорено шляхи вдосконалення технології ліквідації наслідків витоків нафтопродуктів під час перевезень.

Ключові слова: вдосконалення технології, ліквідація наслідків, виток нафтопродуктів, перевезення

В статье обсуждены пути усовершенствования технологии ликвидации последствий утечек нефтепродуктов во время перевозок.

Ключевые слова: усовершенствование технологии, ликвидация последствий, утечка нефтепродуктов, перевозка

In the article the ways of improving the technology of liquidation of consequences of petroleum products losses during transportation are discussed.

Keywords: improvement of technology, liquidation of consequences, losses of petroleum products, transportation

Транспортна система України забезпечує перевезення практично усіх хімічних, біологічних, радіоактивних та інших вантажів, які є необхідними для нормального функціонування галузей господарства країни. Більшість з цих вантажів віднесені до небезпечних та потребують дотримання відповідних заходів безпеки.

Небезпечні вантажі (НВ) згідно з [1] – це речовини, матеріали, вироби, відходи виробничої та іншої діяльності, які внаслідок притаманних їм властивостей за наявності певних факторів можуть під час перевезення спричинити вибух, пожежу, пошкодження технічних засобів, пристроїв, споруд та інших об'єктів, заподіяти матеріальні збитки і шкоду довкіллю, а також призвести до загибелі, травмування, отруєння людей, тварин і які за міжнародними договорами, згода на обов'язковість яких надана Верховною Радою України, чи за результатами випробувань в установленому порядку залежно від ступеня їх впливу на довкілля чи людину віднесено до одного з класів небезпеки.

Шляхи транспортування небезпечних вантажів, місця їх навантаження, вивантаження переробки та зберігання практично завжди прив'язані до населених пунктів, промислових і економічних центрів України, знаходяться в безпосередній близькості від стратегічно значущих об'єктів і все це на фоні стійкої тенденції до розширення міжнародних зв'язків країни в сфері розвитку транспортних коридорів, розробки нових небезпечних речовин і нових транспортних засобів для їх перевезення.

Під час перевезень небезпечних вантажів на всіх рівнях з метою зниження ризиків техно-

генних катастроф періодично проводяться дослідження з метою вдосконалення умов цих перевезень.

Важливу роль в попередженні виникнення аварійних ситуацій під час перевезення НВ відіграють профілактичні заходи [2, 3]. Виконання попереджувальних профілактичних заходів під час організації перевезень НВ, в тому числі і залізничним транспортом, вимагається від усіх суб'єктів перевізного процесу. Саме це може забезпечити збереження здоров'я персоналу та населення, виключити негативний вплив на навколишнє середовище, попередити виникнення аварійної ситуації.

Наливні вантажі в загальній структурі перевезень займають до 10 %. До наливних вантажів відносяться:

- нафта та нафтопродукти;
- продукти хімічної промисловості (кислоти, луги, барвники, скраплені гази тощо);
- продукти харчової промисловості (олія, спирти, жири, патока, саломас тощо).

Основну масу наливних вантажів (близько 90 %) складають нафта та нафтопродукти. Нафтопродукти (НП), обсяги перевезень яких зростають, поділяються на:

- світлі (бензин, гас, лігроїн, легкі сорти моторного палива, газовий конденсат);
- темні (сира нафта, мазут, важкі сорти палива, оливи та мастила);
- нафтобітуми (залишки перегонки нафти).

Основними властивостями, які визначають умови перевезень і зберігання нафтопродуктів, є їх легка займистість, підвищена в'язкість і застигання при мінусових температурах, висока

здатність до випаровування, корозійний вплив на метал, шкідливий вплив на організм людини.

Переважну кількість видів нафтопродуктів віднесено до небезпечних вантажів, що вимагає дотримання під час їх перевезень певних вимог [1], в т.ч. і з питань безпеки та охорони праці.

Незважаючи на достатньо високий рівень контролю за станом перевезень небезпечних вантажів на залізницях України, періодично виникають аварійні ситуації різних ступенів складності. За статистичними даними, транспортні аварії, що супроводжуються значними розливами нафтопродуктів, зустрічаються достатньо часто та являють собою серйозну загрозу для навколишнього середовища [4, 5]. З цієї причини оцінка впливу таких аварій на навколишнє середовище та розробка рекомендацій щодо усунення їх наслідків є одним з пріоритетних напрямів транспортної екології [6] і забезпечення екологічної безпеки регіонів.

Питанню зниження загрози виникнення аварійної ситуації з НВ, які перевозяться територією України наливом, відводиться важлива роль. Штрафи за екологічні збитки є достатньо високими (іноді досягають сотень тисяч доларів США). Крім цього, присутні значні витрати на проведення відбудовних робіт щодо вивезення та очищення забрудненого ґрунту. Наприклад, у разі сходу однієї цистерни з мазутом забруднюється повітря, поверхневі водойми та ґрунт на площі до 6...10 тис. м² і в глибину до 0,1...0,3 м. Об'єм забрудненого ґрунту складає 1...3 тис. м³ або 2...6 тис. тонн. А якщо аварія сталася поблизу водного об'єкту, то з врахуванням штрафу за екологічну шкоду, сума витрат може досягти близько 1 млн дол. США.

Загальні вимоги до засобів і процесів технології ліквідації екологічних наслідків аварійних ситуацій зводяться до наступного:

- кваліфікована підготовка спеціалістів з ліквідації аварійних ситуацій з небезпечними вантажами;
- використання для ліквідації аварії, в першу чергу, нетоксичних реагентів;
- повне виключення ручної праці в технологічних процесах подавання реагентів;
- використання пересувного обладнання, що призначене для доведення реагентів до необхідного за технологією стану;
- 1,5...2,0-кратний запас реагентів для виїзду на аварію порівняно з прогнозом в залежності від ситуації;
- забезпечення жорсткого контролю екологічного стану місцевості після ліквідації аварії.

Аналіз даних щодо величин емісій речовин, які забруднюють навколишнє середовище внаслідок транспортних аварій, та ймовірності їх розповсюдження в навколишньому середовищі наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Відносні частки емісій найбільш важливих груп токсикантів під час залізничних аварій

Склад вантажу	Кількість аварій	Масштаби аварій, т	Сумарна емісія, т	Частка емісії, %	Ймовірність розповсюдження в навколишньому середовищі		
					атмосфера	вода	ґрунт
Важкі НП	32	4...1000	4200	40	н	с	н
Азотомісткі сполуки	10	10...750	1300	10	в	в	в
Легкі НП і сира нафта	29	9...250	3000	23	в	с	с
Кислоти та луги	9	0,5...140	560	4,3	н	в	с
Сірка	6	30...660	900	7	в*	с	н

Примітка: позначення ступеню ймовірності розповсюдження типів вантажів у навколишньому середовищі: н – низька, с – середня, в – висока, * – під час загоряння.

Як бачимо, найбільша кількість аварій, а також максимальна емісія токсикантів спостерігається внаслідок аварійних розливів нафти та нафтопродуктів. За оцінками експертів з різних країн загальна кількість нафти та нафтопродуктів, які потрапляють до рік і океану, складає мільйони тонн. Приблизно така ж кількість втрачається під час аварій (і не тільки при транспортуванні).

Нафта та нафтопродукти є найпоширенішими забруднювачами навколишнього середовища, вплив яких пов'язаний, в першу чергу, з токсичністю вуглеводнів і домішок, як у рідкому, так і в пароподібному стані. Додатково, токсичність притаманна і деяким продуктам згоряння нафтових палив. До екологічних аспектів варто віднести й пожежну небезпеку, що виникає в процесі транспортування та застосування нафтопродуктів.

Під час дії нафтопродуктів на ґрунти відбуваються істотні порушення ґрунтових біоценозів, загибель мікроорганізмів, блокування водно-солевих обмінів з корінням рослин і тому подібне. Процес проникнення рідких вуглеводнів в ґрунт, їх переміщення по вертикалі та в плані, так само як і процеси, які проходять з ними під час міграції, є достатньо складними та все ще недостатньо вивченими.

Крім того, під час витоків нафтопродуктів відбувається втрата потенційних енергоносіїв, тому розробка сучасних методів ліквідації аварій з нафтопродуктами, складовими яких є процеси утилізації та використання відновлених нафтопродуктів є питанням актуальним і важливим для України.

Ті методи ліквідації екологічних наслідків аварій з нафтопродуктами, які використовуються на теперішній час, є не зовсім досконалими та технічно складними; вони практично не призводять до мінімізації впливу аварій на довкілля та вимагають великих затрат коштів і людино-годин на їх виконання. Актуальним є питання впровадження технології, яка дозволить зменшити час ліквідації наслідків аварій, використовувати дешеві та доступні сорбенти, зменшити екологічні наслідки таких аварій, а також збитки залізниць.

Для попередження забруднення навколишнього середовища та для безпеки людини встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин. Леткі фракції нафтопродуктів, що містяться в атмосфері, небезпечні, насамперед, як проміжні продукти процесів утворення окислювачів. Забруднення, потрапляючи до атмосфери, проходять ряд хімічних перетворень, що призводить до утворення продуктів, які викликають фотохімічний смог.

Нафтопродукти, які потрапляють до води, утворюють спочатку шар на поверхні, при цьому леткі вуглеводні починають випаровуватися. У водний розчин переходять жирні, карбонові та нафтові кислоти, а також феноли та крезолі.

Через декілька діб після надходження в результаті хімічного та біохімічного розкладання, утворюються інші розчинні сполуки – окиснені вуглеводні, токсичність яких є значно вищою. Донні відкладення поглинають частину нафтопродуктів, що потрапили до води, причому найбільшу поглинаючу спроможність мають глинисті мули.

Потрапляння нафтопродуктів до водного середовища супроводжується утворенням дуже тонких (товщиною від мікронів до часток мікронів) плівок, які тривалий час тримаються на

поверхні води, негативно впливаючи на кисневий режим водойми.

Нормування безпечного вмісту нафтопродуктів в ґрунтах в різних країнах виконується з урахуванням регіонального характеру забруднення і фізико-географічних умов, які сприяють процесам самоочищення об'єктів природного середовища чи ускладнюють їх протікання.

У районах аварійного витoku нафтопродуктів у результаті акумуляції токсичних речовин спостерігається геохімічна перебудова ґрунтів, що призводить до загибелі тварин, рослинного покриву, гнобленню мікробіоценозів. Тривалість відновлення земель після забруднення нафтопродуктами без проведення рекультиваційних робіт становить більше 15 років при слабкому забрудненні та більше 25 років – при сильному.

Нафтопродукти з щільністю меншою за 1 г/см^3 (нафта, дизпаливо та ін.), потрапляючи на поверхню землі чи в поглиблення, під дією сил гравітації мігрують крізь ненасичену ґрунтову зону завдяки дії фізико-хімічних процесів.

У ненасиченій зоні утворюється трифазна система «вода – нафтопродукт – повітря», де вода та нафтопродукт утримуються за рахунок капілярно-плівкових сил, залежних від дисперсності та вологості ґрунту. При значному надходженні нафтопродукти з часом досягають водоносного горизонту або ґрунтових вод, формуючи лінзу. Центральну частину складає насичене ядро лінзи з мобільними нафтопродуктами, які під дією гідравлічного градієнта пересуваються та потрапляють до свердловини.

Над ядром під дією натягнення межі розділу «повітря – нафтопродукти» формується ненасичена капілярна облямівка (леткі нафтопродукти), а під ядром під дією натягнення межі розділу «нафтопродукт – вода» – насичена капілярна зона. Над лінзою після гравітаційного стікання, залишається плівково-краплинна зона.

Під лінзою, при зменшенні її потужності унаслідок розтікання або підвищення рівня ґрунтових вод утворюється зона затисненого нафтопродукту у воді. У водоносному горизонті лінзу оточують розчинені нафтопродукти. Визначення розташування та об'єму нафтопродукту в кожній з виділених зон необхідне, оскільки поведінка та умови вилучення нафтопродукту в кожній з них різні.

У плівково-краплинній зоні нафтопродукти утримуються ґрунтом і можуть мігрувати лише у водорозчинному або емульгованому стані (окремі краплі нафтопродукту вимиваються за відповідної швидкості інфільтраційної води).

Мобільні нафтопродукти в насиченій зоні розподіляються поверхнею водоносного горизонту та виходять до навколишніх колодязів, водозабірних установок. Проникаючи до товщі ґрунтів, вони рухаються вниз під дією сили тяжіння. На шляху фільтрації їх рух протидіють: випаровування – перехід до газоподібної фази, що починає рух вгору у просторі пор і порожнин, зрештою, досягаючи поверхні та забруднюючи атмосферу; дифузія в пористому середовищі (а пізніше – в підземних водах), що формує одну із зон (ореолів) забруднення. Нафтопродукти, які випаровуються, досягаючи земної поверхні, переносяться повітряними потоками на значні відстані. На поверхні ґрунтового потоку рідкі вуглеводні, які з водою змішуються незначно, скупчуються у вигляді тіл, які дуже грубо можна порівняти з краплями жиру на поверхні води. При цьому в зв'язаних ґрунтах (супісках, суглинках, глинах) тільки невелика частина об'єму пор заповнюється власне рідкими нафтопродуктами. Самі ж частки ґрунту обволікаються плівкою води, пов'язаної міжмолекулярними силами тяжіння, утворюючи скупчення. Але, мігруючи з потоком підземних вод, такі скупчення здатні забруднювати вельми великі території. Швидкість переміщення фронту забруднення може коливатися від декількох метрів до декількох сотень метрів на рік.

Таким чином, ситуації, що виникають при великих витоках нафтопродуктів в зонах транспортних аварій, характеризуються значними концентраціями нафтопродуктів, за яких відбуваються, як правило, істотні, практично незворотні порушення ґрунтових біоценозів. В цих умовах відновлення життєдіяльності ґрунтів знаходиться на межі неможливого, що додатково висуває проблему ліквідації екологічних наслідків транспортних аварій до розряду гостро актуальних.

Вивчення проникаючої спроможності в зв'язаних ґрунтах на зразках з порушеною структурою здійснено ГНДЛ «Охорона навколишнього середовища на залізничному транспорті» нашого університету.

Домінуючими чинниками, які впливають на швидкість проникнення (міграцію) нафтопродуктів крізь ґрунти у разі їх масштабних витоків є тип, вологість і ступінь ущільнення ґрунту, фізико-хімічні властивості нафтопродукту та температура процесу. В реальній практиці можливі різні варіанти поєднання цих чинників. Крім того, на різній глибині окремі чинники можуть виявитися непостійними, що вимагає визначення впливу чинників з метою вста-

новлення закономірностей поведінки системи «ґрунт – нафтопродукт».

Графік залежності швидкості проникнення V_s дизельного палива від температури крізь різні ґрунти за постійної вологості (7,5 %) та максимальному ущільненні наведено на рис. 1.

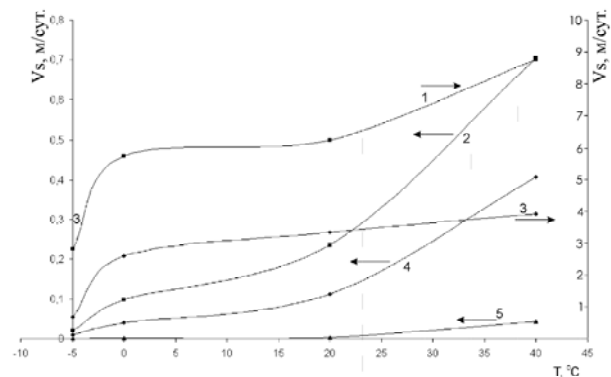


Рис. 1. Залежність швидкості проникнення V_s дизпалива від температури крізь різні ґрунти при постійній вологості (7,5 %) та максимальному ущільненні:

1 – ракушняк; 2 – супісок; 3 – пісок; 4 – льосоподібний суглинок; 5 – червоно-бурий суглинок

В області низьких температур за рахунок змерзання часток ґрунту, швидкість проникнення помітно падає. За температури більшої від 0 °C спостерігається систематичне збільшення швидкості міграції із зростанням температури, обумовлене, найімовірніше, зниженням в'язкості нафтопродуктів. Особливо істотний вплив цього чинника для ґрунтів, які характеризуються малими розмірами часток.

Графік залежності швидкості проникнення V_s важких нафтопродуктів від вологості ґрунту WL наведено на рис. 2.

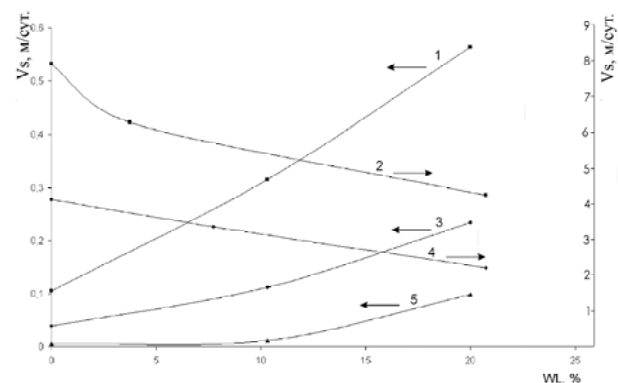


Рис. 2. Залежність швидкості проникнення дизельного палива від вологості ґрунту при температурі 20 °C:

1 – супісок; 2 – ракушняк; 3 – льосоподібний суглинок; 4 – пісок; 5 – червоно-бурий суглинок

Цікаво, що вплив вологості ґрунту є протилежним для тонко- та грубодисперсних ґрунтів. Можливо, це пов'язано з більшою гідрофільні-

стю тонкодисперсних ґрунтів і розподілом більшої частини води в капілярах часток ґрунту.

На практиці перевезень дизпалива наземним (як залізничним, так і автомобільним) транспортом зустрічаються випадки аварій і витоків вантажу на ґрунти різного ступеню ущільнення. Аналіз впливу ступеню ущільнення ґрунту різної природи на кінетику міграції нафтопродуктів довів, що цей чинник має певний вплив. Наприклад, швидкість цього процесу для суглинків знижується в 3...4 рази, для супіску – в 2 рази, а для піску – всього на 35...30 %.

Цікавим є той факт, що, незважаючи на високу кінематичну в'язкість дизельного палива ($5,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с за температури 20 °С), окремі види ґрунтів можуть пропускати цей нафтопродукт на значні глибини, якщо не вжити своєчасних заходів щодо ліквідації наслідків аварій. Хоча в Україні потужність піщаних пластів є переважно невеликою та на певних глибинах нафтопродукти зустрічають підвищений опір проходженню в ґрунтах іншої природи, але проникаюча спроможність дизпалива є досить значною та являє собою суттєву небезпеку для навколишнього середовища. Нафтопродукти вступають у взаємодію з компонентами ґрунтового поглинаючого комплексу, внаслідок чого відбувається порушення рівноваги геохімічних процесів з одночасною фітотоксичною дією на рослинність. Дизельне паливо на тривалий період зменшує вільний простір пор ґрунту, різко знижуючи його вологоємність і водопроникність. Проте основним негативним чинником дії нафтопродуктів на ґрунт є, ймовірно, гідрофобізація ґрунтових колоїдів, що приводить до їх незворотної коагуляції. Ґрунт втрачає здатність до забезпечення коріння рослин водою, мінералами та органічними компонентами та, зрештою, до відтворення біомаси. Тобто, основну небезпеку нафтопродукти становлять для верхнього шару ґрунту і рослинності, а також для поверхневих водоймищ.

Перспективною є технологія ліквідації витоків нафтопродуктів під час перевезень, яка включає в себе наступні етапи:

1 етап – локалізація місць розливу шляхом обвалування;

2 етап – відкачування рідкої фази НП до спеціальних ємкостей безпосередньо від місця розливу за допомогою забірника з фільтруючою насадкою та насосів по трубах з гнучкими вставками. Після відстоювання та фільтрації їх можна використати для теплоенергетичних цілей, в дорожньому будівництві тощо;

3 етап – засипання місць розливу із залишками НП поглиначами чи сорбентами;

4 етап – збір поглиначів, зрізання ґрунту на визначену товщину та вивезення разом із залишками сорбенту для утилізації;

5 етап – зрізання ґрунту, який забруднений нафтопродуктами;

6 етап – відправка на утилізацію відходів поглинання нафтопродуктів.

Спектр сорбентів і капілярних поглиначів, які використовуються на 3-му етапі, може бути достатньо широким. Орієнтація в виборі поглиначів повинна бути направленою на місцеві, дешеві та легкодоступні матеріали природного походження чи на ті, що є відходами виробництва. Наприклад, в регіонах з розвинутою чорною металургією та виробництвом будівельних матеріалів рекомендується використання відвальних шлаків і відходів пінобетону, а там, де широко є представленою теплоенергетика – зола ТЕС або котельних і т.д. Можливим також є використання в якості поглиначів піску, тирси, стружок, основною характеристикою яких є їх поглинаюча спроможність, що залежить від багатьох чинників: як від властивостей самих взаємодіючих компонентів, так і від зовнішніх умов, що склалися під час протікання процесу. Кінетика процесів поглинання дизпалива різними матеріалами наведена на рис. 3 (а, б).

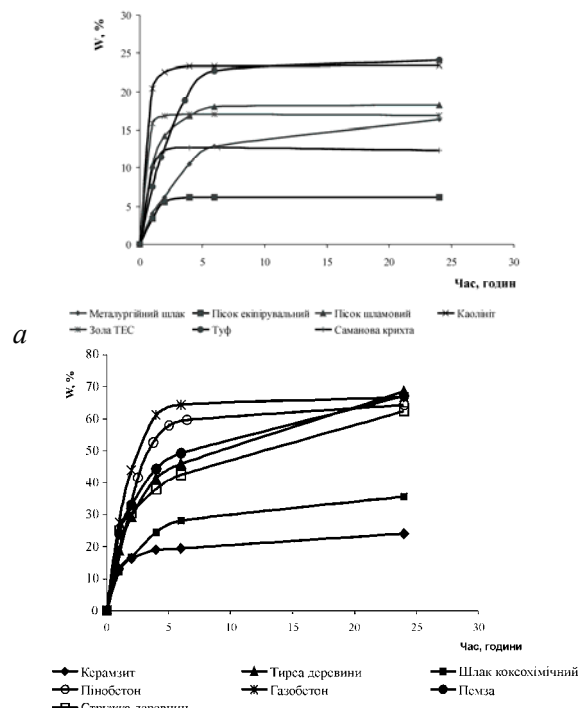


Рис. 3 (а, б). Кінетика процесів поглинання дизельного палива різними матеріалами

Насичення більшості сорбентів дизпаливом практично завершується за 5...7 годин. Найбільш важливими є чинники, які впливають на кінетику та рівновагу процесу: природа сорбенту, його гранулометричний склад і вологість, тип нафтопродукту та температура системи.

Дані щодо впливу розміру фракцій різних поглиначів на поглинаючу спроможність для дизпалива за природної вологості та кімнатній температурі наведено в табл. 2. Загальна тенденція зниження W при збільшенні розміру частинок є природним наслідком зниження поверхні контакту матеріалу з нафтопродуктом.

Таблиця 2

Вплив розмірів частинок на поглинаючу спроможність (W) матеріалів по відношенню до дизельного палива

Найменування сорбенту	Поглинаюча спроможність матеріалів, %				
	Розміри часток фракції, мм				
	0,25 ...0,5	0,5 ...2	2...5	5...7	7... 10
Металургійний шлак	20,9	20,4	8,3	2,96	2,4
Коксохімічний шлак	24,2	23,8	7,7	4,85	3,26
Пісок екіпірувальний	16,1	5,9	0,85	-	-
Пісок шламовий	13,2	3,4	0,2	-	-
Тирса деревини	76,2	74,8	-	-	-
Керамзит	-	-	-	31,8	30,6
Стружка деревини	-	-	-	63,5	60,3
Саманова крихта	-	-	17,34	13,51	8,48

Дані щодо величини поглинаючої спроможності для дизпалива у разі використання різних типів поглиначів наведено в табл. 3. Вплив температури на поглинаючу спроможність зразків по відношенню до дизпалива без розділення на фракції за постійної (природної) вологості наведено на рис. 4 та 5.

Склад і характеристики відходів виробництв, які рекомендовані для використання у якості поглиначів, є досить різними та залежать від багатьох чинників. Зважаючи на це, найбільш раціональне кількісне співвідношення масових частин розлитого НП і матеріалу, що вживається як сорбент, в умовах природної вологості та за температури 20 °C наведено в табл. 4.

Таблиця 3

Вплив типу нафтопродукту на поглинаючу спроможність різних матеріалів

№ з/п	Найменування сорбенту	Величина поглинаючої спроможності W , %
1	Шлак коксохімічний	$22,7 \pm 1,4$
2	Шлак металургійний	$31,0 \pm 2,2$
3	Пісок шламовий	$16,5 \pm 1,2$
4	Пісок екіпірувальний	$16,2 \pm 1,1$
5	Каолініт	$5,3 \pm 0,7$
6	Газобетон	$23,6 \pm 1,3$
7	Пінобетон	$63,1 \pm 2,5$
8	Пемза	$65,2 \pm 4,2$
9	Керамзит	$18,2 \pm 0,9$
10	Зола теплоелектростанцій	$17,0 \pm 0,9$
11	Стружка деревини	$58,4 \pm 2,0$
12	Тирса деревини	$69,6 \pm 3,2$
13	Саманова крихта	$13,2 \pm 1,0$

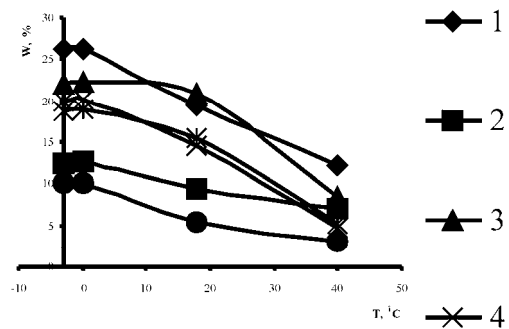


Рис. 4. Вплив температури на поглинаючу спроможність матеріалів по відношенню до дизпалива:

1 – каолініт; 2 – саманова крихта;
3 – коксохімічний шлак; 4 – металургійний шлак;
5 – пісок екіпірувальний; 6 – пісок шламовий

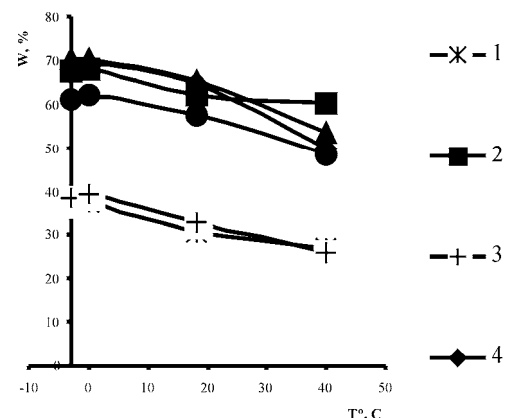


Рис. 5. Вплив температури на поглинаючу спроможність матеріалів по відношенню до дизпалива:

1 – керамзит; 2 – пінобетон; 3 – газобетон; 4 – пемза;
5 – тирса деревини; 6 – стружка деревини

Таблиця 4

Рекомендовані співвідношення масових частин НП і сорбенту для ліквідації аварійних розливів

Найменування сорбенту	Співвідношення масових частин НП до сорбенту
туф	1:4
шлак коксохімічний	1:3
шлак металургійний	1:6
пісок шламовий	1:6
пісок екіпірувальний	1:16
каоолініт	1:4
газобетон	1:1,5
пінобетон	1:1,5
пемза	1:1,5
керамзит	1:6
зола тепло- електростанцій	1:6
стружка деревини	1:2
тирса деревини	1:1,5
саманова крихта	1:7

Дані табл. 4 дають можливість проводити вибір сорбенту ліквідаторами аварії довільно, виходячи з наявності матеріалу, можливості його швидкої доставки, вартості тощо. Після вибору визначається необхідна витрата поглинача з достатнім ступенем точності. При цьому рекомендується під час остаточного вибору маси витрати сорбенту враховувати рівномірність його розподілу в зоні розливу нафтопродуктів.

Подавання сорбенту до зони розливу нафтопродукту можливе за допомогою:

- а) транспортерів – зручне використання, але в цьому випадку є обмеженою площа обробки;
- б) універсальних екскаваторів на гусенично-залізничному ході зі змінним обладнанням – доцільно використовувати при значній зоні аварії;
- в) гелікоптерів – доцільно використовувати у випадку значних зон забруднення із загорянням нафтопродуктів.

Є зрозумілим, що інтервал часу між моментом аварії та початком робіт з ліквідації її наслідків повинен бути якомога меншим. Це особливо актуально для легких фракцій нафтопродуктів, які мають велику швидкість міграції крізь ґрунти та розповсюдження їх по поверхні, а також негативний вплив на атмосферу в зоні виливу.

Складними є також випадки можливого спалаху вантажу, наявності значних опадів у вигляді дощу чи інтенсивне танення снігу. Для першого різко зростає небезпечне забруднення атмосфери сажею, окисом і двоокисом вуглецю, вуглеводнями та канцерогенами, а також інтенсивніше проходить порушення біоценозів ґрунтів і збільшується швидкість міграції нафтопродуктів в них. Для інших випадків підвищується ймовірність змиву НП до розташованих поблизу водоймищ і розповсюдження на значні території.

Врахування обговорених шляхів вдосконалення технології ліквідації наслідків витоків нафтопродуктів під час перевезень сприятиме зниженню негативного впливу на навколишнє середовище. В усіх випадках ліквідації наслідків аварійних ситуацій необхідно забезпечити повну відповідність дій персоналу вимогам [7].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Правила перевезень небезпечних вантажів [Текст]. – К.: Транспорт України, 2009. – 672 с.
2. Музикіна, Г. І. Профілактичні заходи при перевезенні екологічно-небезпечних вантажів [Текст] / Г. І. Музикіна, І. Л. Журавель, В. В. Журавель // Тези доп. 65 наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д., 2005. – 235 с.
3. Музикіна, Г. І. Роль профілактичних заходів в забезпеченні безпеки руху при перевезеннях небезпечних вантажів [Текст] / Г. І. Музикіна, І. Л. Журавель, В. В. Журавель // 36. доповідей 6 наук.-практ. конф. «Перспективи впровадження технічних засобів безпеки руху на залізницях України». – Судак, 2005. – С. 43-44.
4. Транспорт и окружающая среда [Текст] // Сб. науч. тр. межд. семинара EBRD-Haskoning. – К., 1994. – 300 с.
5. Chemical aspects of transport influence upon the environment [Text] / V. N. Plakhotnik [et al.] // 35th IUPAC Congress. – Istanbul, 1995. – 179 p.
6. Природоохранная деятельность на железнодорожном транспорте Украины: проблемы и решения [Текст] : монография / В. Н. Плахотник [и др.]. – К.: Транспорт України, 2001. – 244 с.
7. Зміни до Правил безпеки та порядку ліквідації наслідків аварійних ситуацій [Текст] : Затв.: Наказ МТУ від 16.10.2000 р. № 567 і зареєстр. в Мін'юсті України 23.11.2000 р. за № 857/5078 зі змінами, внесеними МТЗУ від 25.11.2008 р. № 1431, що зареєстр. в Мін'юсті України 26.02.2009 р. за № 182/16198. – Д., 2009. – 753 с.

Надійшла до редколегії 08.02.2011.

Прийнята до друку 11.02.2011.

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ ПУТЕВОЙ ПРИЕМНИК ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

Робота присвячена подальшому удосконаленню алгоритмів обробки сигналів контролю рейкової лінії. Виконано імітаційне моделювання кореляційного приймача тональних рейкових кіл, проведено порівняльний аналіз кореляційного приймача та приймача прямого підсилення.

Ключові слова: тональні рейкові кола, приймач прямого підсилення, кореляційний приймач, амплітудно-частотна характеристика, адитивні завади, імітаційне моделювання, порівняльний аналіз

Работа посвящена дальнейшему совершенствованию алгоритмов обработки сигналов контроля рельсовой линии. Выполнено имитационное моделирование корреляционного путевого приемника тональных рельсовых цепей, проведен сравнительный анализ корреляционного приемника и приемника прямого усиления.

Ключевые слова: тональные рельсовые цепи, приемник прямого усиления, корреляционный приемник, амплитудно-частотная характеристика, аддитивные помехи, имитационное моделирование, сравнительный анализ

The work is devoted to further improvement of processing algorithm of checking signals of rail line. The simulation modeling of correlation track receiver of tone rail circuits has been executed; the benchmark analysis of correlation receiver and direct amplifier receiver has been executed.

Keywords: tonal track circuits, direct amplifier receiver, correlation receiver, frequency response, additive hindrances, simulation, benchmark analysis

Введение

В настоящее время на сети железных дорог Украины и стран СНГ базовым элементом автоматизированных систем управления движением поездов (АСУДП) являются рельсовые цепи, выполняющие ответственные функции путевых датчиков и телемеханических каналов. От надежной работы рельсовых цепей во многом зависит надежность АСУДП, а, следовательно, и безопасность движения поездов, а также эффективность перевозочного процесса. Значительная часть отказов рельсовых цепей вызвана их неустойчивой работой в условиях воздействия неблагоприятных факторов, таких как флуктуации сопротивления изоляции балласта, а также воздействие помех от тягового тока.

В процессе своего развития рельсовые цепи прошли значительный эволюционный путь от цепей постоянного тока с непрерывным питанием до современных тональных рельсовых цепей (ТРЦ) [1 – 3]. Использование сигнального тока тонального диапазона позволяет существенно повысить помехозащищенность и ослабить взаимные влияния между рельсовыми цепями, в несколько раз снизить потребляемую мощность [2, 3]. Наиболее ответственным элементом ТРЦ является электронный путевой приемник, который выполняет обработку сиг-

налов контроля рельсовой линии (КРЛ) и управляет путевым реле.

Одно из направлений дальнейшего совершенствования рельсовых цепей связано с переводом технических средств на современную микроэлектронную элементную базу. Существующий уровень развития цифровых сигнальных процессоров позволяет строить на их основе надежные устройства, выполняющие довольно сложные алгоритмы цифровой обработки сигналов [4]. Применение новых, более совершенных алгоритмов обработки сигналов КРЛ, реализация которых на старой элементной базе была принципиально невозможной, позволит повысить устойчивость работы рельсовых цепей в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, а также позволит расширить функциональные возможности путевого приемника. Целесообразность применения цифровой обработки сигналов для построения путевых приемников показана также в работах [5 – 7].

Для повышения помехоустойчивости приемника сигналов, уменьшения вероятности ошибки при обнаружении сигнала можно использовать статистические методы, которые базируются на определении взаимной корреляционной функции принятого и эталонного сигналов [8 – 10].

Целью данной работы является дальнейшее совершенствование алгоритмов обработки сигналов контроля рельсовой линии, исследование корреляционного путевого приемника тональных рельсовых цепей.

Структура цифрового путевого приемника тональных рельсовых цепей

Путевой приемник тональных рельсовых цепей выполняет фильтрацию и демодуляцию амплитудно-манипулированных сигналов контроля рельсовой линии и управляет путевым реле в соответствии с уровнем этих сигналов [2, 3].

Можно выделить два направления применения цифровой обработки сигналов в путевых приемниках ТРЦ: 1) выполнение в цифровой форме традиционных алгоритмов обработки сигналов контроля рельсовой линии; 2) поиск новых, более совершенных алгоритмов цифровой обработки сигналов, выполнение которых на старой элементной базе было затруднительно или практически невозможно. Первое направление рассмотрено в работе [7]. Предложенный в [7] цифровой путевой приемник построен по традиционной схеме приемника прямого усиления [11] и содержит следующие функциональные узлы: аналого-цифровой преобразователь (АЦП), входной фильтр (ВФ), демодулятор (ДМ), первый фильтр модулирующей частоты (ФМ), пороговый элемент (ПЭ), выходной усилитель (ВУ), второй фильтр модулирующей частоты, образованный конденсатором C_Φ и трансформатором, выпрямитель (рис. 1). Для выполнения операций фильтрации, демодуляции и сравнения с пороговым уровнем используется цифровой сигнальный процессор (ЦСП). Безопасность такого прием-

ника обеспечивается за счет динамического режима работы всех его элементов. Повысить надежность и функциональную безопасность цифрового приемника можно также с помощью структурного резервирования и специальных тестовых программ, позволяющих обнаруживать программные сбои сигнального процессора.

Исследование корреляционного приемника

На вход путевого приемника поступает реализация случайного сигнала $\xi(t)$, представляющая собой аддитивную смесь сигнала контроля рельсовой линии и помехи

$$\xi(t) = \theta \cdot s_1(t) + (1 - \theta) \cdot s_2(t) + n(t), \quad (1)$$

где $s_1(t)$ – сигнал КРЛ в нормальном режиме; $s_2(t)$ – ослабленный сигнал КРЛ в шунтовом или контрольном режимах, $n(t)$ – помехи, θ – параметр обнаружения (равняется нулю или единице). Сигналы $s_1(t)$ и $s_2(t)$ являются квазидетерминированными амплитудно-манипулированными с известными несущей и модулирующей частотами, случайными амплитудой и фазой. Помехами являются гармоники тягового тока, сигналы смежных рельсовых цепей, сигналы АЛС и др. Если после обработки уровень сигнала КРЛ превышает пороговый уровень h , то параметр обнаружения θ принимается равным единице, в противном случае – равным нулю. Таким образом, путевой приемник выполняет задачу обнаружения сигналов. Так как сигналы $s_1(t)$ и $s_2(t)$ – квазидетерминированные, а $n(t)$ – случайный сигнал, то для решения такой задачи целесообразно использовать статистические методы.

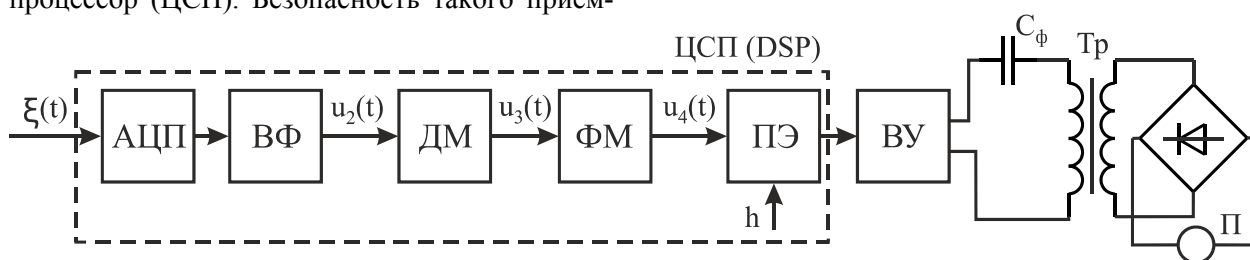


Рис. 1. Структурная схема цифрового путевого приемника тональных рельсовых цепей

В статистической радиотехнике при обнаружении сигналов определяется и сравнивается с пороговым уровнем отношение правдоподобия [8 – 10]

$$\Lambda = \frac{p(\xi|s_1)}{p(\xi|s_2)}, \quad (2)$$

где $p(\xi|s_1)$, $p(\xi|s_2)$ – плотности условных вероятностей появления реализации $\xi(t)$ при условии, что были переданы сигналы $s_1(t)$, $s_2(t)$, соответственно. При обнаружении сигналов на фоне белого гауссовского шума вычисление отношения правдоподобия сводится к определению взаимной корреляционной функции

принятого сигнала и эталонного сигнала, форма которого соответствует сигналу КРЛ

$$q(\tau) = \int_0^T \xi(t) \cdot s_1(t - \tau) dt, \quad (3)$$

где T – интервал наблюдения. Т.к. сигнал КРЛ является периодическим, то в качестве интервала наблюдения следует принять период модулирующего сигнала.

В устройствах цифровой обработки сигналов вычисление корреляционного интеграла (3) выполняется путем суммирования произведений выборок двух сигналов [12]

$$q(j) = \frac{1}{M} \sum_{N=0}^{M-1} \xi(N) \cdot s_1(N - j), \quad (4)$$

где M – количество выборок на интервале, равном одному периоду модулирующего сигнала.

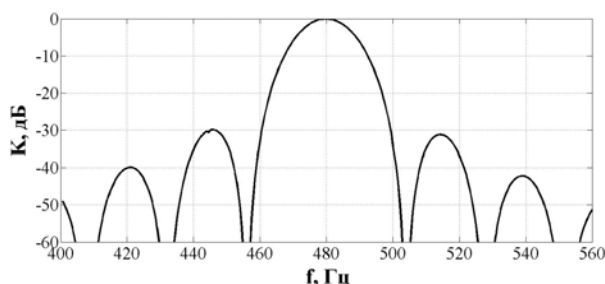


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика коррелятора

Для исследования коррелятора, выполняющего вычисления в соответствии с выражением (4), было проведено имитационное моделирование в среде MATLAB. В качестве эталонного использовался один период амплитудно-манипулированного сигнала с частотой несущей 480 Гц и частотой модуляции 12 Гц. Моделирование проводилось при частоте дискретизации 2 кГц, число выборок эталонного сигнала – 167, число выборок входного сигнала – 1670. Были проведены исследования фильтрующих свойств коррелятора. Для этого на его вход подавались синусоидальные сигналы в диапазоне частот (400...600) Гц с шагом 0,5 Гц. Для каждой частоты определялась амплитуда выходного сигнала и рассчитывался нормированный коэффициент передачи. Полученная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) коррелятора представлена на рис. 2.

Известно [7], что спектр амплитудно-манипулированного сигнала КРЛ состоит из несущей и двух боковых полос, содержащих нечетные гармоники. Для сигнала 480 Гц/12 Гц частоты нечетных гармоник равняются 468 Гц и

492 Гц, 444 Гц и 516 Гц, 420 Гц и 540 Гц и т.д. Как видно из рис. 2, максимумы АЧХ коррелятора соответствуют несущей частоте, а также частотам третьих, пятых и т.д. гармоник сигнала КРЛ. Таким образом, коррелятор представляет собой полосовой фильтр, АЧХ которого является согласованной со спектром сигнального тока. В связи с этим коррелятор можно использовать в качестве входного фильтра путевого приемника ТРЦ (см. рис. 1).

Было проведено в среде MATLAB имитационное моделирование путевого приемника, в котором коррелятор выполняет роль входного фильтра. Для выполнения демодуляции применялась нелинейная операция нахождения абсолютного значения величины. В качестве фильтра модулирующей частоты использовался КИХ-фильтр, настроенный на частоту 12 Гц с полосой пропускания 2 Гц. На вход такого приемника подавался амплитудно-манипулированный сигнал 480 Гц/12 Гц с амплитудой 1 В. Результаты моделирования представлены на рис. 3. На графиках в качестве аргумента используется номер выборок N , а в качестве функции – значения выборок, полученные после выполнения различных операций над входным сигналом. Как видно из рис. 3 предложенный корреляционный приемник позволяет выделить из входного сигнала модулирующее колебание (рис. 3, г). Постепенное увеличение уровня сигнала на выходе фильтра модулирующей частоты связано с переходным процессом в данном КИХ-фильтре.

Для исследования помехоустойчивости корреляционного приемника на его вход подавалась аддитивная сумма амплитудно-манипулированного сигнала амплитудой 1 В и белого гауссовского шума со среднеквадратичным отклонением 1 В. Результаты моделирования представлены на рис. 4. Несмотря на сильную зашумленность входного сигнала, коррелятор довольно эффективно подавляет шумовую составляющую, что позволяет выделить сигнал модулирующей частоты (см. рис. 4).

Сравнительный анализ путевых приемников

Для сравнения корреляционного и традиционного приемников с помощью имитационного моделирования в среде MATLAB исследовалась их помехоустойчивость. На первом этапе на вход приемников подавалась помеха в виде белого гауссовского шума с дисперсией равной единице. В результате дисперсия на выходе фильтра модулирующей частоты при использо-

вании в качестве входного фильтра коррелятора составила 0,008, а при использовании обычного полосового фильтра дисперсия равнялась 0,0135.

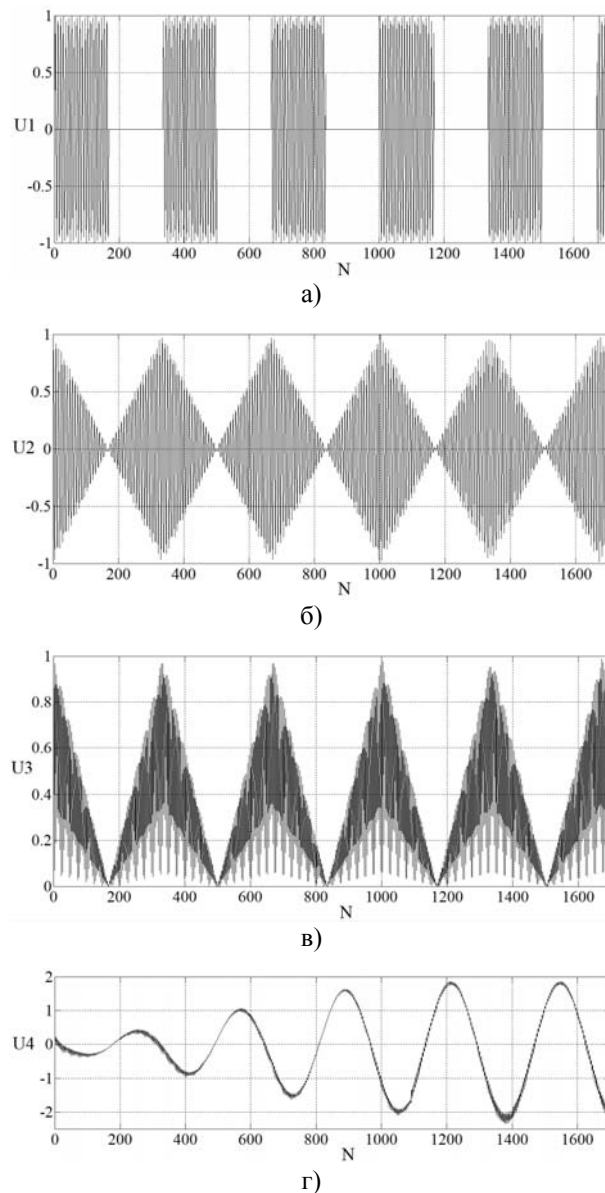


Рис. 3. Временные диаграммы напряжений при воздействии полезного сигнала:
а) на входе путевого приемника;
б) на выходе коррелятора;
в) на выходе нелинейного элемента;
г) на выходе фильтра модулирующей частоты

На втором этапе на вход приемников подавалась аддитивная смесь амплитудно-манипулированного сигнала КРЛ и белого гауссовского шума. Дисперсию шума изменяли в пределах от одного до десяти. Исследования проводили с помощью метода статистических испытаний [13]. Для каждого значения дисперсии помехи проводилось 500 испытаний, в которых амплитуда и фаза полезного сигнала изменялись случайным образом.

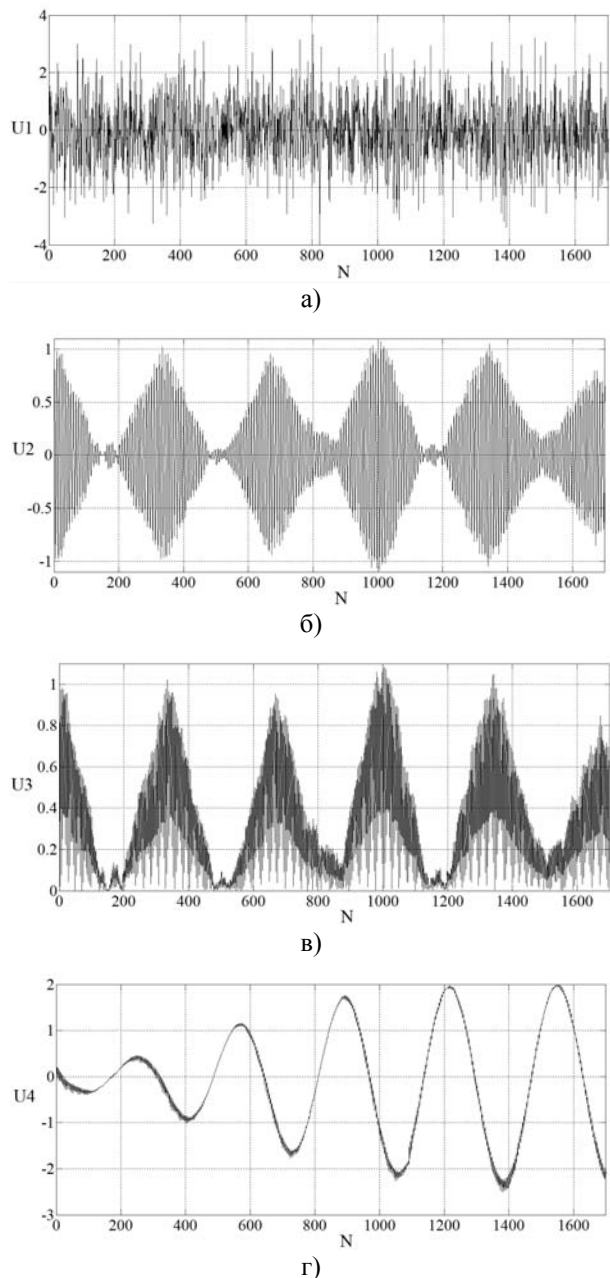


Рис. 4. Временные диаграммы напряжений при воздействии полезного сигнала и помехи:
а) на входе путевого приемника;
б) на выходе коррелятора;
в) на выходе нелинейного элемента;
г) на выходе фильтра модулирующей частоты

Для фазы сигнала использовался равномерный закон распределения с граничными значениями $(-\pi; +\pi)$. В соответствии с существующими нормативными документами [14] действующее напряжение на входе путевого приемника ТРЦ может изменяться от 0,4 до 1,2 В. Учитывая, что для амплитудно-манипулированного сигнала со скважностью два амплитудное значение в два раза выше действующего, при проведении моделирования для амплитуды сигнала КРЛ использовался равномерный закон распределе-

ния с граничными значениями (0,8; 2,4) В. При определенных фазовых соотношениях между сигналом КРЛ и помехой уровень сигнала на выходе фильтра ФМ становился ниже порогового значения, что приводило к ошибке обнаружения сигнала. Пороговое значение выбиралось равным уровню сигнала на выходе фильтра ФМ при воздействии сигнала КРЛ амплитудой 0,8 В без помехи. В процессе моделирования для каждого значения дисперсии шума определялся коэффициент ошибки при обнаружении сигнала КРЛ (рис. 5)

$$K_n = \frac{K}{N}, \quad (5)$$

где N – общее число испытаний; K – число испытаний, в которых сигнал КРЛ был не обнаружен. Как видно из полученных результатов (см. рис. 5), корреляционный приемник обеспечивает лучшую помехозащищенность при воздействии белого гауссовского шума, что позволяет уменьшить вероятность ошибки при обнаружении сигнала.

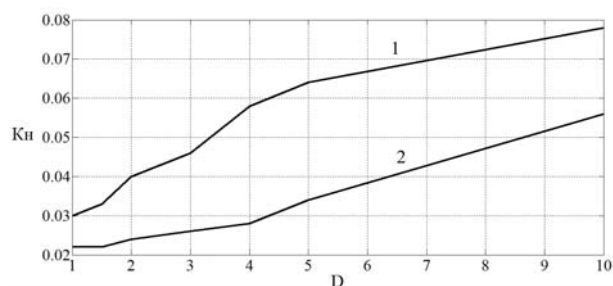


Рис. 5. Зависимость коэффициента ошибки при обнаружении сигнала КРЛ от дисперсии шума:

1 – традиционный приемник;
2 – корреляционный приемник

На следующем этапе исследований на вход путевых приемников подавались сигналы «своей» рельсовой цепи (480 Гц / 12 Гц) и смежных рельсовых цепей. Для каждого случая измерялась амплитуда сигнала на выходе первого фильтра моделирующей частоты (табл. 1). Результаты моделирования показали высокую помехозащищенность обоих типов путевых приемников к сигналам смежных рельсовых цепей.

Выводы

1. Одним из направлений дальнейшего развития рельсовых цепей является использование цифровой техники, что позволит использовать новые, более совершенные алгоритмы цифровой обработки сигналов контроля рельсовой линии, выполнение которых на старой эле-

ментной базе было затруднительно или практически невозможно.

Таблица 1

Амплитуда сигнала на выходе фильтра ФМ при воздействии сигнала «своей» и смежных рельсовых цепей

Несущая / моделирующая частота, Гц	Традиционный приемник	Корреляционный приемник
480 / 12	2,52	2,09
420 / 8	0,028	0,046
420 / 12	0,033	0,021
480 / 8	0,33	0,31
580 / 8	0,035	0,023
580 / 12	0,037	0,032
720 / 8	0,009	0,009
720 / 12	0,011	0,007
780 / 8	0,007	0,008
780 / 12	0,009	0,008

2. В результате исследований было установлено, что в качестве входного фильтра в путевом приемнике можно использовать коррелятор, амплитудно-частотная характеристика которого согласована со спектром сигнала контроля рельсовой линии.

3. При воздействии белого гауссовского шума корреляционный приемник обеспечивает лучшую помехозащищенность, чем приемник с традиционным входным полосовым фильтром. При воздействии сигналов смежных рельсовых цепей помехозащищенность путевых приемников практически одинакова.

4. Дальнейшие исследования в данном направлении связаны с разработкой вероятностных моделей помех, которые влияют на работу рельсовых цепей, и усовершенствованием алгоритма обработки сигнала контроля рельсовой линии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Путевая блокировка и авторегулировка [Текст] / Н. Ф. Котляренко [и др.]. – М.: Транспорт, 1983. – 408 с.
2. Федоров, Н. Е. Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями [Текст] : учеб. пособие / Н. Е. Федоров. – Самара: СамГАПС, 2004. – 132 с.
3. Кулик, П. Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей,

- повышение эксплуатационной надежности [Текст] / П. Д. Кулик, Н. С. Ивакин, А. А. Удовиков. – К.: Изд. дом «Мануфактура», 2004. – 288 с.
4. Сперанский, В. С. Сигнальные микропроцессоры и их применение в системах телекоммуникаций и электроники [Текст] / В. С. Сперанский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. – 168 с.
 5. Чепцов, М. М. Методы синтезу сигнально-процесорної централізації стрілок і сигналів [Текст] : монографія / М. М. Чепцов, А. Б. Бойнік, Д. М. Кузьменко. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – 181 с.
 6. О повышении надежности рельсовых цепей с использованием цифровой обработки сигналов [Текст] / А. П. Разгонов [и др.] // Тезисы IV Межд. науч.-практ. конф. «Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте», пгт. Чинадиево. – Д.: ДИИТ, 2011. – С. 65-66.
 7. Гончаров, К. В. Исследование цифрового путевого приемника тональных рельсовых цепей [Текст] / К. В. Гончаров // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 37. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 176-181.
 8. Тихонов, В. И. Оптимальный прием сигналов [Текст] / В. И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
 9. Тихонов, В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем [Текст] / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. – М.: Радио связь, 1991. – 608 с.
 10. Липкин, И. А. Статистическая радиотехника. Теория информации и кодирования [Текст] / И. А. Липкин. – М.: Вузовская книга, 2002. – 216 с.
 11. Изюмов, Н. М. Основы радиотехники [Текст] / Н. М. Изюмов, Д. П. Линде. – М.: Радио и связь, 1983. – 376 с.
 12. Smith, S. W. Digital signal processing [Text] / S. W. Smith. – California Technical Publishing, 1999. – 650 p.
 13. Ермаков, С. М. Курс статистического моделирования [Текст] / С. М. Ермаков, Г. А. Михайлов. – М.: Наука. – 320 с.
 14. Методичні вказівки з експлуатації тональних рейкових кіл [Текст] : керівний нормативний документ «Укрзалізниці», ЦШ/0034 : Затв.: Наказ Укрзалізниці від 23.02.2004 № 030-Ц. – К.: Мінтранс України, 2004. – 48 с.

Надійшла до редколегії 19.05.2011.

Прийнята до друку 25.05.2011.

ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ НА МНОЖИНІ ПАРЕТО ЗА ДВОМА ПОКАЗНИКАМИ

Задача тягових розрахунків розглядається як задача про розподіл ресурсу у векторній постановці. Рішення ґрунтується на динамічному програмуванні з використанням безлічі точок оптимальних за Парето значень цільової функції (енергія, час).

Ключові слова: оптимальні тягові розрахунки, динамічне програмування, векторна оптимізація в тягових розрахунках, ефективні траєкторії руху поїзда

Задача тяговых расчетов рассматривается как задача о распределении ресурса в векторной постановке. Решение основывается на динамическом программировании с использованием множества точек оптимальных по Парето значений целевой функции (энергия, время).

Ключевые слова: оптимальные тяговые расчеты, динамическое программирование, векторная оптимизация в тяговых расчетах, эффективные траектории движения поезда

The problem of train traction calculations is considered as the one of resource allocation in a vector formulation. The solution is based on dynamic programming using a set of points of the optimal Pareto objective function values (energy, time).

Keywords: optimum traction calculations, dynamic programming, vector optimization in traction calculations, effective paths of train motion

Тягові розрахунки дозволяють вирішувати численні практичні задачі, що виникають при проектуванні та експлуатації залізниць.

На залізничному транспорті методи розробки тягових розрахунків і необхідні для їх виконання нормативи регламентуються Правилами тягових розрахунків (ПТР) для поїзної роботи [1 – 6].

Для математичного формулювання задачі необхідно враховувати фізичну суть явищ, що супроводжують процес руху поїзда, основні прийоми та способи тягових розрахунків. У більшості випадків тягові розрахунки вимагають оперативності їх проведення.

Сьогодні найактуальнішою проблемою є проблема економії енергоресурсів. У той же час необхідно вантаж доставляти під час, а в багатьох випадках – в найкоротші терміни.

Запропонований підхід стосовно рішення задачі оптимальних тягових розрахунків розглядається як багатостадійний процес прийняття рішень. На кожній стадії необхідно прийняти рішення так, щоб його результат був оптимальним з точки зору всього процесу. В задачі стадіями є інтервали путі. Задача управління швидкістю і часом руху сформульована в термінах динамічного програмування.

Метою роботи є розробка прогнозу результатів і формування рекомендацій по можливим впливам на процес руху поїзда з метою ведення його в оптимальних умовах стосовно енергії і часу. Розробка чисельного методу оптимальних тягових розрахунків з використанням векторної оптимізації для двох показників.

Актуальність

Одним з радикальних способів, що забезпечує стійкість на ринку надання транспортних послуг, є економія енергоресурсів. Залізнична мережа України зливається з залізницями Росії, Білорусії, Польщі, Чехословаччини, Румунії та ін. Географічне розташування України має великий потенціал до транзитних перевезень. Незважаючи на істотне зниження обсягів перевезень, умови роботи залізничних підприємств України залишаються важкими і це в першу чергу пов'язано із щорічним зростанням цін на енергоносії. Значна частка використання енергії припадає на забезпечення тяги поїздів. Проблемі економії енергоресурсів приділяється постійна і пильна увага у всіх галузях промисловості і не тільки на транспорті.

Сьогодні важливою проблемою є створення компромісно-оптимальних режимів тяги поїздів

для показників споживання та часу доставки вантажу. Вартісні показники ефективності руху поїздів вимагають нових підходів до розробки методів оптимального розрахунку режимних карт ведення поїздів. Для аналізу доцільності переходу на режими руху, оптимальні за вартістю електроенергії, необхідно виконати дослідження ефективних для вектора показників:

- витрати електроенергії;
- вартості електроенергії при заданому обсязі перевезень;
- графік руху.

Ефективні (компромісно-оптимальні) режими представляють набір умовно-оптимальних режимів руху (або ж дільничних швидкостей), які застосовуються залежно від заданої переваги характеристик векторної цільової функції [7].

Аналіз літературних джерел

Дослідження в області оптимізації управління тягою транспортних засобів початі ще Охоцимським («К теории движения ракет», 1946 г.). Практичні застосування теорії оптимального керування почалися після виходу робіт Л. С. Понтрягіна [8], Болтянського [9], Беллмана [10].

В розвиток теорії тяги поїздів внесли А. М. Бабичков, В. Ф. Єгорченко, Д. А. Штанге, Д. К. Мінов, І. П. Ісаєв та інші. Динаміка тяги розвивалась в роботах С. А. Чаплигіна, В. А. Лазаряна, Н. А. Панькіна, В. В. Деєва, Є. П. Блохіна, А. А. Босова, Г. К. Гетьмана.

Характерною особливістю робіт за оптимальними тяговими розрахунками є пристосування схем і методів до обчислювальної техніки. В основу багатьох алгоритмів покладено принцип Беллмана. Експериментальні розрахунки сьогодні дозволили накопичити певний досвід з оптимізації.

Одним з напрямів впровадження методів управління на транспорті, є розробка таких обчислювальних систем, які дозволяли б оптимально управляти поїздом, як в замкнутому циклі (автоматичне керування), так і в режимі рекомендацій (підказок). Практика показала, що для більшої ефективності необхідно розробити досить дієві математичні методи розв'язання задач оптимальних тягових розрахунків, на підставі яких можна було б розробити ті чи інші

алгоритми для конкретних інженерних задач, з наступним уточненням і доробкою на реальних процесах керування поїздами або в системах управління. Дана проблема висвітлена в роботах [11 – 14].

У роботах Костроміна А. М. [15 – 17] використовується як класичне варіаційне числення, так і методи математичної теорії оптимального управління, що з'явилися у фундаментальних працях Понтрягіна і Беллмана. Проблема оптимальних режимів управління локомотивом розглядається як інженерне завдання. В основу методів рішення покладений в більшості випадків принцип максимуму.

Роботи [18 – 20] присвячені, в основному, розробці методів оптимізації режимів водіння поїздів, заснованих на використанні сучасної математичної теорії управління і обчислювальних засобів. Критерієм оптимальності в більшості виконаних робіт служить мінімум витрат енергії на тягу поїздів, хоча зустрічається також застосування інших показників ефективності організації перевізного процесу, наприклад час руху поїзда по ділянці, що використовується в задачах на швидкодію або точність виконання заданого часу ходу і т.п. Проте незалежно від прийнятого критерію і параметра оптимізації задача вибору оптимальних режимів водіння поїзда розглядалися в однокритеріальній постановці.

Застосування методів векторної оптимізації до вирішення двокритеріальної задачі оптимізації тягових розрахунків викладені в роботах [21 – 23]. У роботах досліджується рішення двокритеріальних задач методом векторної оптимізації. Для аналізу можливих шляхів вирішення використовується метод параметризації, проводиться аналіз завдання тягових розрахунків як завдання векторної оптимізації. Запропонований метод оптимізації ґрунтується на якісному дослідженні режимів руху на елементарному відрізку колії. До недоліків можна віднести відсутність чисельних методів векторної оптимізації орієнтованих до використання обчислювальної техніки що реалізують даний метод.

1. Постановка задачі

Розглядається задача, яка змістовно відома як задача оптимальних тягових розрахунків. Величини $f(s)$, $t(s)$ – показники, що відобра-

жають перевізний процес і являють собою витрати енергоресурсів (електроенергія, паливо) і часу на доставку вантажу;

s – координата колії. Поїзд розглядається як тверде тіло з масою зосередженої в його центрі. Рівняння руху потягу враховуються як в [24].

Вважаються заданими:

- поздовжній профіль колії;
- обмеження швидкості по колії проходження;
- маса поїзда;
- тип вагонів, навантаження на вісь;
- маса електровоза;
- тягові характеристики електровоза;
- обмеження часу проходження;
- початкова і кінцева швидкість;
- довжина ділянки колії.

З точки зору витрат енергоресурсів на рух виникає задача про побудову закону керування потягом, де критерієм оптимальності є витрата енергоресурсів. Критичним залишається вимога витрат часу на проходження поїзда для даної ділянки.

Нехай s – координата колії, $0 \leq s \leq l$;

l – довжина ділянки колії (значення кінцевої координати ділянки);

$v(s)$ – швидкість руху поїзда;

$f(v(s))$ – витрати енергоресурсів;

$t(v(s))$ – функція витрат часу в залежності від обраної швидкості руху;

$\bar{T}$ – час руху по ділянці.

Задача на оптимальне управління рухом поїзда з мінімальною витратою енергії коротко можна сформулювати так: знайти таке допустиме управління $v(s)$, при якому відповідний витрат енергоресурсів був би мінімальним і виконувався графік руху на даній ділянці.

Зазвичай задача оптимального управління руху поїзда з мінімальним витратами енергоресурсів має вигляд

$$\min_{v(s)} f(s) \quad (2)$$

за умови

$$t(v(s)) = \bar{T}, \quad 0 \leq s \leq l. \quad (3)$$

Управлінням є швидкість руху.

Модель (2)–(3) враховує не всі обмеження. Необхідно при розрахунках ще врахувати й інші

чинники: початкову та кінцеву швидкість, характеристики локомотива (обмеження на питому дотичну силу, обмеження на питому гальмівну силу, ККД й ін.), обмеження швидкісного режиму, перегрів тягового двигуна.

Пом'якшимо жорстку умову щодо часу проходження (3) і замість рівності (2) будемо розглядати обмеження

$$t(v(s)) \leq \bar{T}, \quad 0 \leq s \leq l. \quad (3')$$

Модель (2)–(3') є неперервною. Для побудови схеми розв'язку задачі перейдемо до відповідної дискретної моделі.

Розіб'ємо ділянку колії $0 \leq s \leq l$ на N елементарних ділянок $\{[s_{j-1}, s_j]\}$, $j = 1, \dots, N$. У точках розбиття s_j швидкість $v = v(s_j)$ може приймати кінцеву безліч значень V_j , $j = 1, \dots, N$:

$$V_j = \{v_i(s_j)\}, \quad i = 1 \dots m_j,$$

де m_j – кількість елементів у множині V_j .

Величина m_j визначається обмеженнями на швидкість руху в точці s_j та у спосіб дискретизації $v(s_j)$ (регулярний крок розбиття, нерегулярний крок розбиття, величина кроку розбиття). Залежно від вибраної швидкості руху $v \in V_j$ в точці розбиття колії s_j елементарна ділянка $[s_{j-1}, s_j]$ може бути прослідкована за час $t_j = t(V_j)$ – невід'ємна величина, при цьому витрати енергоресурсів складуть $f_j = f(V_j)$ – також невід'ємна величина. Витрати енергоресурсів на ділянці $0 \leq s \leq l = s_N$ являють собою суму всіх витрат на елементарних ділянках. Витрати часу для $0 \leq s \leq l = s_N$ представляють суму часу відповідних встановленому енергоресурсу на елементарних ділянках. Інакше, функція витрат енергоресурсів і функція витрат часу є адитивні функції, визначені на кінцевих множинах V_j .

Потрібно вибрати такий режим руху потягу v_k , $k = 0 \dots N$ (v_0 и v_N надані), при якому сумарні витрати енергоресурсів були б мінімальними, і при цьому загальні витрати часу не виходили з встановленого графіка руху (сумарні

витрати часу не перевершували заданої величини $\bar{T}$).

Розглянута задача про оптимальний рух поїзда з мінімальними витратами енергоресурсів (2)–(3') є канонічною задачею про розподіл ресурсу [25, 26]. Для її рішення пропонується схема методу динамічного програмування. Замість рекурентних рівнянь використовується покрокове обчислення безлічі точок, оптимальних за Парето, на площині значень цільової функції й ресурсу.

У прийнятих позначеннях формальна постановка задачі запишеться так. Знайти мінімум суми:

$$\sum_{j=1}^N f_j(v_j), \quad v_j \in V_j, \quad j=1 \dots N \quad (4)$$

при обмеженнях

$$\sum_{j=1}^N t_j(v_j) \leq \bar{T}, \quad v_j \in V_j, \quad j=1 \dots N. \quad (5)$$

Передбачається, що безліч (5) допустимих рішень не порожня.

2. Схема динамічного програмування

Задача (4)–(5) представляє собою відому задачу оптимального розподілу ресурсу, для вирішення якої використовується метод динамічного програмування [11, 12]. Наведемо основні співвідношення цього методу. Позначимо через $B_j(u)$ оптимум наступної задачі: знайти мінімум суми

$$\sum_{k=1}^j f_k(v_k)$$

при обмеженнях $\sum_{i=1}^j t_i(v_i) \leq u \quad v_i \in V_i, \quad j=1 \dots N$,

де j приймає значення $1, \dots, N$, $0 < u \leq \bar{T}$. Очевидно, величина $B_N(\bar{T})$ дорівнює оптимуму вихідної задачі (4), (5). Її розрахунок проводиться за рекурентним рівнянням

$$\begin{cases} B_j(u) = \min_{v_j \in V_j \setminus t_j(v_j) \leq u} \{B_{j-1}[u - t_j(v_j)] + f_j(v_j)\} \\ 0 < u \leq \bar{T} \quad j=1, \dots, N. \end{cases} \quad (6)$$

При такій організації обчислень необхідно

покласти $B_0(u) = +\infty$, $0 < u \leq \bar{T}$, і $B_j(u) = 0$, якщо мінімум в (6) береться по порожній безлічі.

При великих значеннях $\bar{T}$ і N розрахунок з використанням рівнянь (6) вимагає значного обсягу пам'яті і часу рахунку. Нижче пропонується підхід, який дозволяє істотно заощаджувати обчислювальні ресурси.

На площині двох змінних введемо відношення часткового порядку

$$(x, y) \prec (z, w) \Leftrightarrow x \leq y, \quad z \leq w.$$

Нехай A – деяка безліч точок на площині. Точки з A , мінімальні щодо часткового порядку, називають оптимальними за Парето або просто паретовськими. Розглянемо безліч точок вигляду

$$F = \sum_{i=1}^j f_i(v_i), \quad T = \sum_{i=1}^j t_i(v_i),$$

де вектор $(v_1, v_2, \dots, v_j)$ пробігає всі значення, що задовольняють умовам

$$\sum_{i=1}^j t_i(v_i) \leq \bar{T}, \quad v_i \in V_i, \quad i=1 \dots j.$$

Сукупність паретовських точок цієї множини позначимо через S_j . З кількох рівних паретовських точок у безлічі S_j включається тільки одна. Позначимо через (F_{jk}, T_{jk}) , $k=1, \dots, K_j$ точки безлічі S_j , нумеруючи їх за зростанням координат, тобто

$$F_{j1} < F_{j2} < \dots < F_{jK_j}, \quad T_{j1} < T_{j2} < \dots < T_{jK_j}.$$

Неважко бачити, що $B_j(T_{jk}) = F_{jk}$, $k=1, \dots, K_j$. Функція $B_j(u)$ є неспадною по аргументу u при даному j . Її графік складається з ділянок постійності і точок зростання, які і складають безліч S_j . Таким чином, безліч S_j містить всю необхідну інформацію про функції в мінімальному обсязі.

Безлічі S_j , $j=1, \dots, N$ перераховуються по кроках, аналогічно рівнянням (6). На початковому кроці вважаємо $S_0 = \{(0,0)\}$. Опишемо спільний крок. Нехай вже побудовано безліч

$$S_{j-1} = \{F_{j-1,k}, T_{j-1,k}, \quad k=1, \dots, K_{j-1}\}.$$

Розглянемо безліч точок (F, T) вигляду

$$F = F_{j-1,k} + f_j(v_j), \quad T = T_{j-1,k} + t_j(v_j),$$

де $k=1, \dots, K_{j-1}$, а змінна v_j пробігає всі значення, що задовольняють умовам:

$$T_{j-1,k} + t_j(v_j) \leq \bar{T}, \quad v_j \in V_j.$$

Виділяючи з цієї множини паретовські точки і залишаючи з рівних точок тільки одну, отримуємо безліч

$$S_j = \{(F_{j,k}, T_{j,k}), \quad k=1, \dots, K_j\}.$$

Цей процес завершується побудовою безлічі

$$S_N = \{(F_{N,k}, T_{N,k}), \quad k=1, \dots, K_N\}.$$

Величина F_{NK_N} дорівнює оптимуму початкової задачі. Відповідне вказаному оптимуму значення T_{NK_N} є витратами часу. Тут використано таку властивість рішення: перспективні пари (F, T) утворюють безліч Парето, а всі інші можна видалити (але можна і залишити). У реальній реалізації представленого алгоритму попередньо виділяються для кожного значення індексу $j=1, \dots, N$ паретовські точки безлічі

$$\{f_j(v_j), t_j(v_j), v_j \in V_j\}$$

і використовуються в розрахунках тільки вони.

Якщо перспективні пари (F, T) не вилучати, то серед безлічі пар (F, T) можна знайти такі, які оптимізують час. У самому сприятливому випадку серед безлічі паретовських пар можна вибрати найбільш підходящі до умов графіку руху за витратами часу та енергоресурсів.

Ефективним рішенням багатокритеріальної задачі називають оптимальне по Парето рішення [27]. Пошук ефективного рішення називають ще програмуванням на множині Парето. Чисельна реалізація методу динамічного програмування на множинах Парето дозволяє застосовувати обмеження на використання ресурсу.

Наведемо приклад пошуку ефективних траєкторій по Парето. Процедура побудови ефективного рішення надамо для багатостадійного процесу, що моделюється графом (рис. 1), аналогічному топології сітки, яка використовується при оптимальних тягових розрахунках з допомогою динамічного програмування. Граф

(сітка) відображає процес руху від стадії D_k до D_{k+1} , $k=1, \dots, 11$ (відрізок путі $[D_k, D_{k+1}]$) і змін стану (від швидкості v_i до швидкості v_j) в напрямках, що задані стрілками (дуги). Процеси переходу від однієї стадії руху до іншої характеризується парами (e, t) , де e – витрати енергії при переході від швидкості v_i до швидкості v_j , t – відповідні витрати часу для подолання відрізку путі $[D_k, D_{k+1}]$. Формально можна сказати, що кожній дузі графа поставлено відповідно пару чисел (вектор). Для наданого графа необхідно визначити оптимальні траєкторії по Парето (ефективні траєкторії), що ведуть з початкової вершини v_1 до кінцевої v_{12} на множині паретовських точок $(\bar{e}_p, \bar{t}_p)$, що характеризують процес руху.

На графі в кожній вершині проставлено незрівнянні по Парето варіанти, які вказують напрямки руху (зміни станів для кожної стадії) з даної вершини в початок путі (показник на попередню вершину $\rightarrow v_m$) і які витрати енергії $\bar{e}$ і ресурсу часу $\bar{t}$ при цьому будуть.

Оптимальні по Парето траєкторії на графі виділено товстими лініями. Процедура оптимізації проводилася ручними розрахунками і з допомогою розробленого програмного забезпечення. Для наданого прикладу ефективними траєкторіями є:

- перша траєкторія проходить через послідовність вершин

$$v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_4 \rightarrow v_9 \rightarrow v_{11} \rightarrow v_{12},$$

відповідні витрати енергії $\bar{e}_{12} = 7$, часу $\bar{t}_{12} = 7$;

- друга траєкторія проходить через послідовність вершин

$$v_1 \rightarrow v_3 \rightarrow v_5 \rightarrow v_9 \rightarrow v_{11} \rightarrow v_{12},$$

відповідні витрати енергії $\bar{e}_{12} = 6$, часу $\bar{t}_{12} = 10$.

Даний приклад несе тільки демонстративний характер. Показники процесу (e, t) і кількість вершин в графі вибрано випадково. Задачі тягових розрахунків відповідає лише топологія графу.

Слід зазначити, що в випадку не виконання обмеження на ресурс часу $\bar{t} < T$ (взагалі якого-небудь ресурсу), така траєкторія не розглядається. Стосовно прикладу, якщо маєтся обмеження $t < 9$, друга траєкторія до розгляду як ефективна не береться.

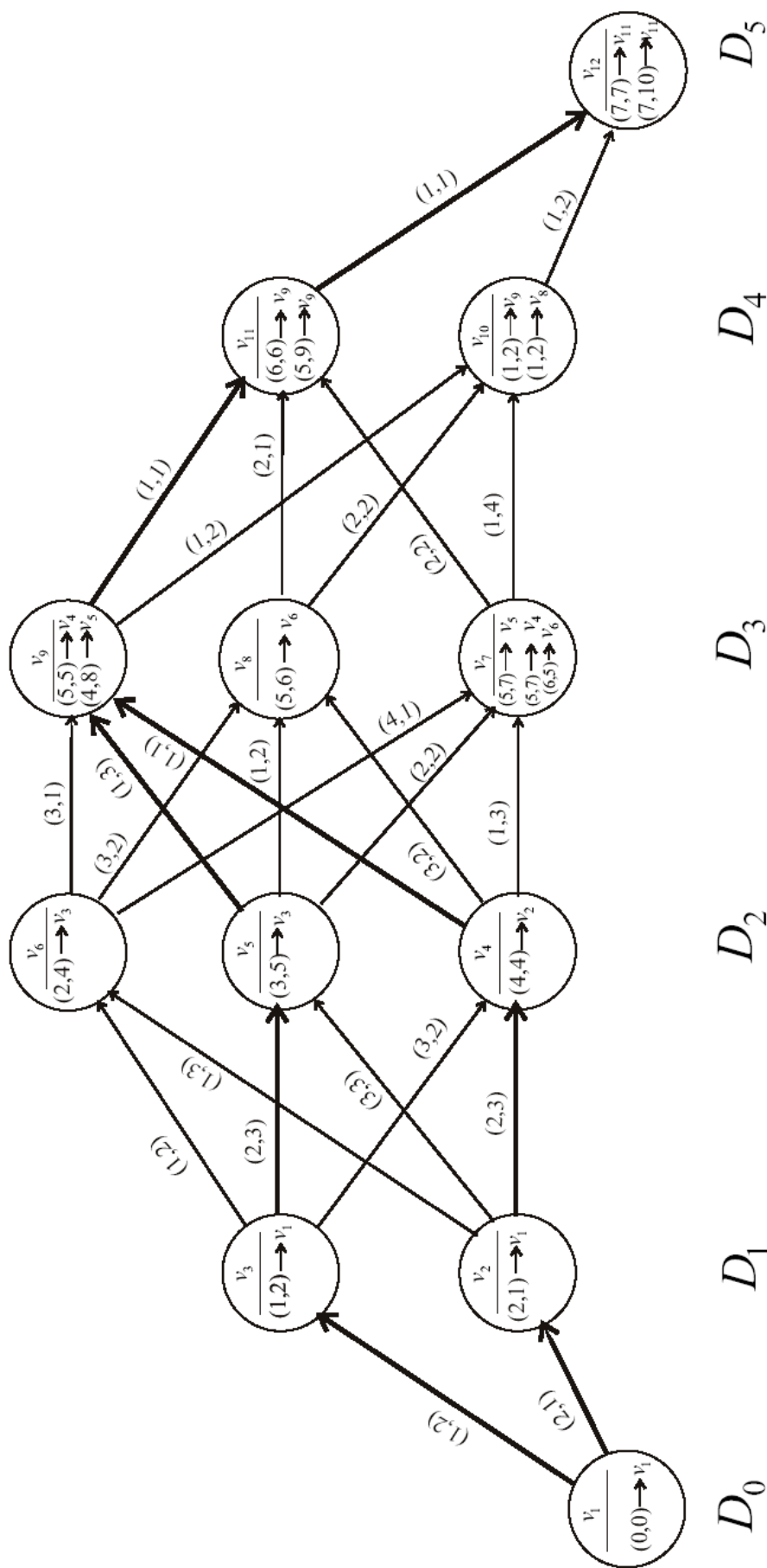


Рис. 1. Граф багатостадійного процесу задачі тягових розрахунків. Ефективні траєкторії процесу.
 $\longrightarrow$ – Парето-оптимальні (ефективні) траєкторії руху; v_i – швидкість руху; (e, t) – показники руху при переході зі стану v_i в стан v_j ; D_k – стадії руху; $(\bar{e}, \bar{t}) \rightarrow v_m$ – показник (зворотний) руху по «паретовській» траєкторії та відповідні значення витрат енергії $\bar{e}$ і часу $\bar{t}$ в напрямку початкової вершини v_i

Висновки

Задача на оптимальне управління рухом поїзда з мінімальною витратою енергії та обмеженням часу можна звести до задачі оптимального розподілу ресурсу, для вирішення якої використано метод динамічного програмування на сукупності паретовських точок безлічі пар $(F, T) = (\text{енергія}, \text{час})$. Рішення, засноване на паретовських точках, не єдине. На безлічі рішень по Парето вибирається одне, що найбільш підходить за компромісом щодо організації перевізного процесу для даної ділянки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Подвижной состав и тяга поездов [Текст] / под ред. Н. А. Фуфрянского и В. В. Деева. – М.: Транспорт, 1979.
2. Правила тяговых расчётов для поездной работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1985.
3. Справочник по тяговым расчётам [Текст] / П. Т. Гребенюк [и др.]. – М.: Транспорт, 1987.
4. Подвижной состав и тяговое хозяйство железных дорог [Текст] / под ред. А. П. Третьякова. – М., 1971.
5. Кокурин, И. М. Эксплуатационные основы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст] / И. М. Кокурин, Л. Ф. Кондратенко. – М.: Транспорт, 1989.
6. Тяговые расчёты [Текст]: методические указания к курсовому проектированию / под ред. Ю. Н. Ликратова. – Новосибирск, 1989.
7. Рекомендации по обеспечению энергооптимального процесса перевозок на основе информационных технологий управления системами электрической тяги: решение комиссии ОСЖД от 30 октября 2003 г. [Текст].
8. Математическая теория оптимальных процессов [Текст] / Л. С. Понтрягин [и др.]. – М.: Наука, 1983. – 392 с.
9. Болтянский, В. Г. Математические методы оптимального управления [Текст] / В. Г. Болтянский. – М.: Наука, 1966. – 307 с.
10. Беллман, Р. Динамическое программирование [Текст] / Р. Беллман. – М.: ИЛ, 1960. – 400 с.
11. Ковальський, А. Н. Система автоматического управления поездом метрополитена (САУ-М) и ее модернизация [Текст] / А. Н. Ковальський // Тр. МИИТ. – 1968. – Вып. 276. – С. 3-13.
12. Система автоведения пассажирского поезда [Текст] / Е. В. Ерофеев [и др.] // Тр. МИИТ. – Вып. 492. – С. 3-10.
13. Гаккель Е. Я. Автоматизация для грузового тепловоза [Текст] / Е. Я. Гаккель // Тр. ЛИИЖТ. – 1964. – Вып. 232. – С. 3-8.
14. Зимарьков, Б. Д. Локомотивом управляет автомат [Текст] / Б. Д. Зимарьков // Электрическая и тепловозная тяга. – 1973. – № 7. – С. 21-22.
15. Костромин, А. М. Методы определения оптимальных режимов вождения поездов [Текст] / А. М. Костромин. – Гомель: БелИИЖТ, 1974. – 43 с.
16. Костромин, А. М. Об интегрировании уравнений движения поезда и расчете оптимальной траектории [Текст] / А. М. Костромин // Тр. БелИИЖТ. – 1974. – Вып. 132. – С. 3-11.
17. Костромин, А. М. Об оптимальном управлении локомотивом при электрической тяге [Текст] / А. М. Костромин // Тр. БелИИЖТ. – Вып. 156. – 1977. – С. 3-23.
18. Погосов, В. Ю. Прогнозирование расхода электроэнергии на тягу поездов с учетом выброса параметров грузовых поездов и условий эксплуатации [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.93 / В. Ю. Погосов. – М.: МИИТ, 1990. – 23 с.
19. Гетьман, Г. К. Определение оптимальной по минимуму расхода энергии на движение поезда мощности локомотива [Текст] / Г. К. Гетьман // Вісник ХарДАЗТ. – Х., 2000. – Вып. 39. – С. 41-48.
20. Беляев, А. В. Алгоритм оптимального по расходу электроэнергии управления движения поезда [Текст] / А. В. Беляев, А. Г. Вольвич, Н. Ю. Федорова // Сб. науч. тр. Всерос. научн.-иссл. и проектно-конструкт. ин-та электровозостр. – М., 1998. – № 39. – С. 160-169.
21. Босов, А. А. Векторная оптимизация в задачах тяговых расчетов [Текст] / А. А. Босов, Г. К. Гетьман // Вісник Харківського держ. політехн. ун-ту. – Вып. 73. – Х.: ХДПУ, 1999. – С. 23-27.
22. Гетьман, Г. К. Применение векторной оптимизации для решения задачи тяговых расчетов / Г. К. Гетьман // Вісник Харківського держ. політехн. ун-ту. – Вып. 62. – Х.: ХДПУ, 1999. – С. 12-19.
23. Босов, А. А. Параметризация в задачах векторной оптимизации [Текст] / А. А. Босов, Г. К. Гетьман // Транспорт: зб. наук. пр. – Вып. 5. – Д.: Наука і освіта, 2000. – С. 62-65.
24. Тяга поездов [Текст] / В. В. Деев [и др.]. – М.: Транспорт, 1987.
25. Беллман, Р. Прикладные задачи динамического программирования [Текст] / Р. Беллман, Дрейфус. – М.: Наука, 1965. – 458 с.
26. Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Дрофа, 2004. – 208 с.
27. Подиновский, В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач [Текст] / А. В. Подиновский, В. Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 256 с.

Надійшла до редколегії 11.05.2011.
Прийнята до друку 19.05.2011.

С. Е. БЕЛЬСКИЙ (Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь), И. П. ВОЛЧОК, А. А. МИТЯЕВ (ЗНТУ, Запорожье)

МЕТОДИКА УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ВЫНОСЛИВОСТЬ

Було розглянуто методи тестування витривалості алюмінієвих сплавів на високих частотах від 0,3 до 44,0 кГц.

Ключові слова: прискорені випробування на витривалість, алюмінієві сплави

Были рассмотрены методы тестирования выносливости алюминиевых сплавов на высоких частотах от 0,3 до 44,0 кГц.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, ускоренные испытания на выносливость

The methods of endurance testing of aluminum alloys at high frequencies from 0.3 to 44.0 kHz are considered.

Keywords: rapid endurance tests, aluminum alloys

Введение

Многочисленные детали транспортных машин, энергетических установок, летательных аппаратов и других конструкций в процессе эксплуатации подвергаются как статическому воздействию, так и циклическим напряжениям широкого амплитудно-частотного диапазона.

Установлено, что 70...90 % аварий связано с усталостными разрушениями деталей, обусловленными процессом накопления в материале повреждений под действием переменных напряжений (деформаций). Поэтому создание высоконадежных конструкций, работающих при различных эксплуатационных температурах в условиях вибрационных нагрузок, требует как разработки и внедрения новых материалов, так и использования в прочностных расчетах уточненных характеристик усталости.

Суть проблемы

Традиционные методы испытаний на выносливость обычно проводятся при частотах нагружения 50...100 Гц на машинах типа МУИ-6000, МВП-10000 и др. Однако известные низкочастотные методы усталостных испытаний требуют значительных материальных и временных затрат. Особенно это проявляется при необходимости учета дополнительных факторов, таких как температура, свойства материалов, вид напряженного состояния моделей и т.д., которые существенно усложняют физическую картину протекания процессов усталостного разрушения.

С целью снижения трудоемкости и значительного сокращения времени проведения усталостных испытаний, особенно при больших базах, весьма перспективным является использование высоких частот механических колебаний, позволяющих за приемлемый промежуток

времени обеспечить наработку значительного числа циклов. Однако широкое внедрение в практику такого метода испытаний, в связи с отличием характеристик усталости, получаемых при высоких и низких частотах, требует установления научно-обоснованных корреляционных зависимостей между параметрами выносливости и целым рядом структурно-чувствительных характеристик большой номенклатуры металлов и сплавов при различных амплитудно-частотных, временных и температурных режимах испытаний.

Результаты исследований и их обсуждение

При проведении испытаний на многоцикловую усталость для металлов и сплавов, ординаты кривых усталости которых по всей длине непрерывно уменьшаются с ростом числа циклов (т.е. для материалов с базой испытаний определения пределов выносливости по ГОСТ 25.502 в $100 \cdot 10^6$ циклов), оценка снижения трудозатрат с использованием высокочастотного нагружения может быть проведена следующим образом. Приняв за максимально возможную частоту нагружения из диапазона от 10 до 300 Гц, где она не регламентируется (для обычных атмосферных условий и в отсутствии изменения механических свойств и разогрева рабочей части образцов выше 50 °С по ГОСТ 25.502) 300 Гц, при условии непрерывности нагружения до достижения заданной базы испытаний одним образцом, получим время безостановочной работы испытательной машины 92,6 часов ($100 \cdot 10^6 / 300 \cdot 60 \cdot 60$) или 3,85 суток. В то же время использование высокочастотного нагружения с частотой, например 18 кГц, при которой большинство легких сплавов имеет еще несущественный разогрев, особенно при использовании знакопеременного изгиба, позволяет достичь той же базы всего за 92 мину-

ты, или 1,5 часа ($100 \cdot 10^6 / 18000 \cdot 60 \cdot 60$) работы испытательного стенда. Особенно эффективно использование данного вида нагружения при проведении сравнительных испытаний (база для определения предела выносливости принимается $10 \cdot 10^6$ циклов).

В связи с этим разработка методов испытаний на усталость в широком диапазоне частот позволяет моделировать обширный спектр реальных условий эксплуатации деталей, прогнозировать сопротивление усталостному разрушению разных конструкционных материалов, а также значительно сократить время проведения исследований.

Использование высоких частот для проведения усталостных испытаний ограничивается отсутствием установок, позволяющих проводить нагружение моделей различными типами колебаний в широком диапазоне частот. В связи с этим в Белорусском государственном технологическом университете были разработаны и изготовлены испытательные стенды, позволяющие проводить испытания материалов на частотах 0,3; 2,8; 8,8; 18,0 и 44,0 кГц (рис. 1).

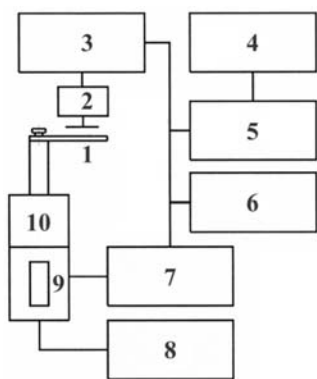


Рис. 1. Принципиальная схема высокочастотного испытательного стенда:

1 – образец; 2 – вибромметр МРТИ; 3 – прибор стабилизации амплитуды ПСА; 4 – цифропечать Ф-30; 5 – частотомер ЧЗ-35; 6 – осциллограф С1-64; 7 – усилитель УПВ-5; 8 – блок подмагничивания; 9 – преобразователь; 10 – концентратор

Для проведения испытаний на высоких частотах использовались магнитострикционные стенды, работающие в автоколебательном режиме. Активными элементами этих установок, преобразующими электрические колебания в механические, служили магнитострикционные преобразователи. Механические колебания пакета возникают под воздействием переменного магнитного поля, возбуждаемого высокочастотными генераторами. Эффективная работа преобразователей обеспечивается оптимальным уровнем подмагничивания постоянным магнитным полем.

На сегодняшний день алюминиевые сплавы являются основным конструкционным материалом после сплавов на основе железа. Широкое использование обусловило накопление значительного количества отходов, переработкой которых активно занимаются во всех промышленно развитых странах.

Так как сфера потребления алюминиевых сплавов весьма широка, и они используются для изготовления деталей ответственного назначения, работающих в широком диапазоне частот и нагрузок, очень важно, чтобы вторичные сплавы, изготовленные путем рециклинга, имели свойства соответствующие уровню первичных.

В данной работе приведены результаты исследований вторичного сплава АК8МЗ (8,20 % Si; 2,65 % Cu; 0,98 % Fe; 0,87 % Zn) после термической обработки по режиму Т5 (закалка + искусственное старение) и полученного с использованием разных технологических схем.

Согласно заводской технологии плавление металла осуществляли под покровным флюсом 33 % KCl, 67 % NaCl с последующей обработкой рафинирующим флюсом: 15 % KCl, 45 % NaCl, 40 % AlF_3 . По экспериментальной технологии сплав дополнительно был обработан таблетированным модификатором [1], в количестве 0,05 % от массы расплава.

ГОСТ 25.502-79 для легких сплавов и других металлов, ординаты кривых усталости которых по всей длине непрерывно уменьшаются с ростом числа циклов, устанавливает базу испытаний для определения пределов выносливости – $100 \cdot 10^6$ циклов. В тоже время для сравнительных испытаний база для определения пределов выносливости составляет $10 \cdot 10^6$ циклов [2]. Результаты экспериментов изображали в виде кривых усталости в полулогарифмических координатах $\sigma_a - \lg N$ (рис. 2).

Как показали результаты исследований, практически 80 % периода времени нагружения образцов характеризовались стабильной частотой колебаний. Стабильность резонансных характеристик системы в этот период свидетельствует о том, что в течение данного срока в материале происходит постепенное накопление искажений структуры и зарождение микротрещин, однако суммарное их влияние на усталостные характеристики еще невелико. В течение следующего, значительно более короткого промежутка времени, происходит активное развитие и слияние микротрещин в одну или несколько магистральных. По мере развития микро- и макроскопических трещин усталости

происходит изменение геометрических параметров, характеризующих поперечное сечение, что приводит к уменьшению площади неповрежденной части и момента сопротивления, а также снижению жесткости испытываемого образца. В результате этих явлений наблюдается резкое падение частоты колебаний, что свидетельствует о начале усталостного разрушения образца.

При сравнении усталостных характеристик вторичного сплава АК8МЗ, который был получен с использованием экспериментальной и заводской технологий, установили, что показатели циклической прочности экспериментального сплава были значительно более высокими во всем диапазоне исследованных частот (см. рис. 2). Так в диапазоне частот 0,3; 8,8; 18 и 44 кГц повышение предела выносливости составило 32...36, 28...40, 26...48 и 28...40 % соответственно. Одновременно с этим, долговечность (число циклов при заданном напряжении σ) экспериментального сплава возросла в 3,75...5 раз при частоте 0,3 кГц, в 4...7 раз при

частоте 8,8 кГц, а также в 5...15 и 8,6...15 раз на частотах 18 и 44 кГц соответственно. Объяснить это можно состоянием микроструктуры сплавов. Фазы, присутствующие в исследуемых сплавах, имели практически одинаковые значения параметров формы ($\lambda = 1...3$), однако в экспериментальном сплаве их дисперсность и равномерность распределения в матрице были значительно более высокими.

Как видно из экспериментальных данных для сплава АК8МЗ, полученного по заводской технологии, увеличение частоты не изменяет форму кривых усталости (см. рис. 2). Кривые усталости для разных частот располагаются эквидистантно с близкими углами наклона и отчетливо наблюдается увеличение усталостной долговечности с ростом частоты нагружения (рис. 3). При этом в диапазоне частот 0,3...18 кГц рост долговечности был особенно активным. Это повышение носило выраженный монотонный характер для широкого диапазона баз испытаний от $6 \cdot 10^5$ до $2 \cdot 10^8$ циклов (см. рис. 2 и рис. 3).

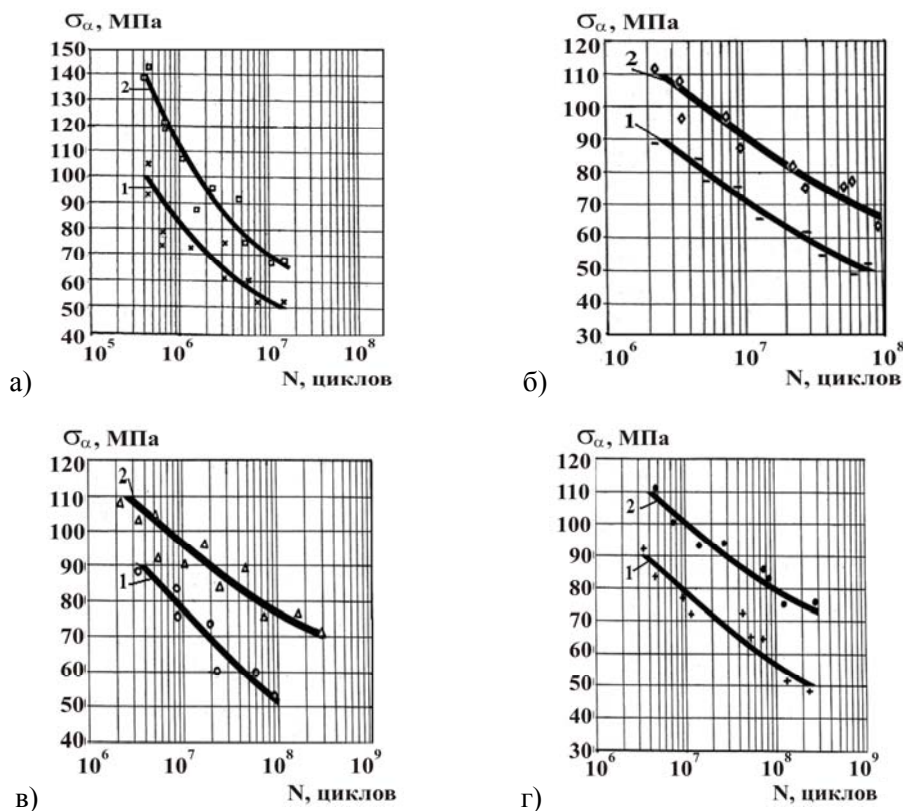


Рис. 2. Сравнительные усталостные характеристики вторичного сплава АК8МЗ при испытаниях на частотах 0,3 кГц (а), 8,8 кГц (б), 18 кГц (в) и 44 кГц (г): 1 – заводская технология производства; 2 – экспериментальная

Для экспериментального сплава кривые усталости наглядно демонстрируют повышение долговечности с увеличением частоты нагружения (см. рис. 3). С возрастанием частоты сокращается время нахождения образца под мак-

симальной нагрузкой. При этом степень упрочнения сплава АК8МЗ снижается, так как пластическая деформация всегда запаздывает относительно прикладываемых нагрузок и, поэтому, максимальное упрочнение, связанное с

процессами разрушения, наблюдали после значительно большего числа циклов. Уже после зарождения трещин в образцах, сопротивляемость материала определяется скоростью продвижения вершины трещины в теле образца. При повышении частоты и, следовательно, скорости нагружения, продолжительность локального деформационного воздействия в вершине трещины сокращается, что, в свою очередь, уменьшает деформированный объем, обеспечивающий продвижение трещины. Таким образом, повышается сопротивляемость разрушению и долговечность. Полученные результаты хорошо согласуются с данными исследований [3].

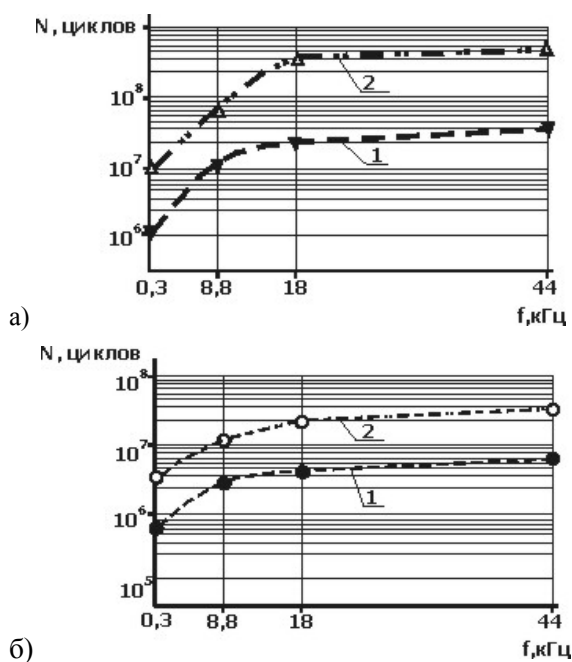


Рис. 3. Зависимость усталостной долговечности сплава АК8МЗ от частоты нагружения для уровня циклических напряжений 70 МПа (а) и 90 МПа (б): 1 – заводская технология; 2 – экспериментальная

Исследование поверхностей, по которым происходило распространение усталостных трещин (рис. 4), производили с использованием сканирующего микроскопа «JSM-5610LV» фирмы JEOL (Япония) на образцах обеих технологий выплавки, разрушенных при частотах нагружения 0,3 кГц и 18 кГц. При частоте 0,3 кГц ресурс долговечности сплава, полученного по заводской технологии, в среднем был в 4,5 раза ниже, чем у экспериментального. Микрофрактографическая картина свидетельствует о неравномерном продвижении трещины (см. рис. 4, а). Наличие большого количества гладких и ровных участков указывает на активное продвижение трещины по границам разде-

ла «матрица – интерметаллидное включение» или же по расщепленным интерметаллидным включениям. Это обусловлено тем, что интерметаллидные включения типа β (Al_3SiFe), W ($\text{Al}_3\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Cu}_2$), N ($\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$), S (Al_2CuMg), π ($\text{Al}_8\text{Si}_6\text{Mg}_3\text{Fe}$) и другие имеют неблагоприятное кристаллографическое соответствие с матрицей и обладают высокой хрупкостью, а также, имея достаточно большие размеры, способствуют продвижению трещины на значительные расстояния при малом количестве циклов. Наличие большого количества вторичных микротрещин (см. рис. 4, а, в) подтверждает факт высокой хрупкости включений и низкого запаса пластичности матрицы на границе контакта вследствие высокого уровня внутренних напряжений в этих зонах.

Фрактограмма поверхности распространения усталостной трещины в экспериментальном сплаве при частоте 0,3 кГц свидетельствовала о равномерном протекании процесса, который определялся более упорядоченной и тонкодифференцированной структурой, компактной формой интерметаллидных фаз с малым параметром формы и, как следствие, большим запасом пластичности матрицы, о чем можно судить по отсутствию вторичных микротрещин (см. рис. 4, б). При этом шаг продвижения трещины за каждый цикл нагружения был значительно более коротким (см. рис. 4, б). Микрофрактографические картины поверхностей образцов, разрушенных при частоте нагружения 18 кГц, показали, что в сплаве заводской выплавки расстояние между гребнями было значительно большим, что свидетельствовало о более высокой скорости продвижения усталостной трещины и определяло более низкую долговечность данного сплава (см. рис. 4, в). В то же время в экспериментальном металле скорость и расстояние продвижения трещины за цикл были существенно меньшими, а многочисленные равномерно распределенные включения компактной формы служили препятствиями на пути фронта трещины (см. рис. 4, г). Как следствие, долговечность экспериментального сплава при частоте нагружения 18 кГц в среднем была в 10 раз более высокой (см. рис. 2).

Сравнение фрактограмм разрушения сплава при разных частотах нагружения показало, что с увеличением частоты шаг усталостных бороздок, характеризующих расстояние, на которое продвигается усталостная трещина за цикл, сокращается (см. рис 4, б, г).

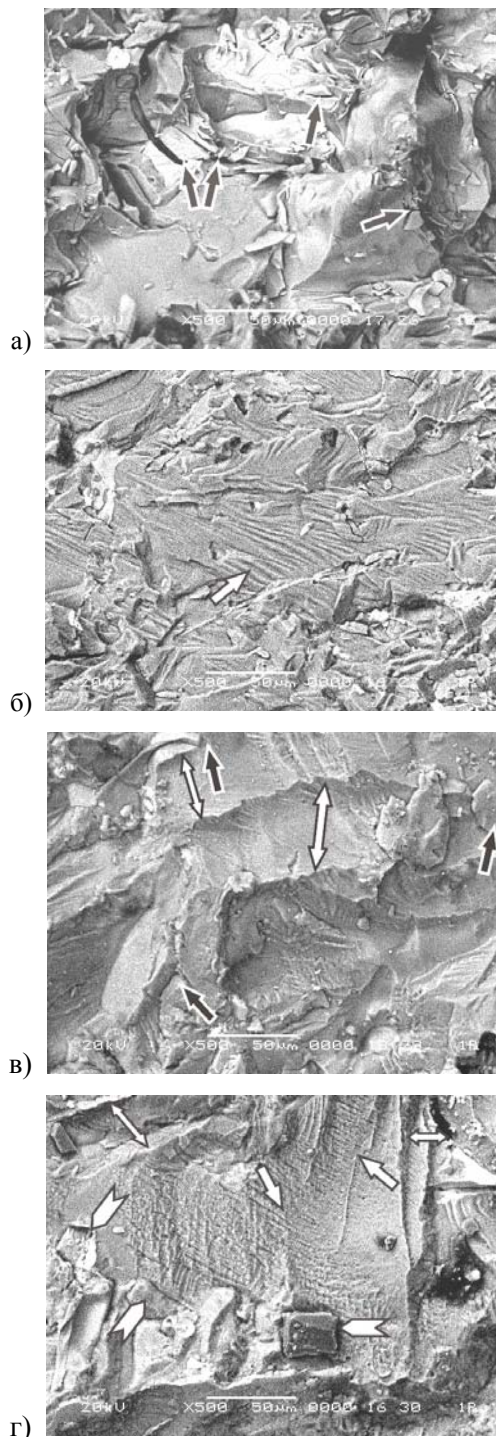


Рис. 4. Фрактограммы усталостного разрушения вторичного сплава АК8МЗ при частоте 0,3 кГц (а; б) и 18 кГц (в; г):

а, в – заводская технология; б, г – экспериментальная;
 ← – вторичные микротрещины; ⇐ – бороздки;
 ⇐ – включения; ⇐ – расстояние между гребнями

Более высокие показатели циклической прочности экспериментального сплава АК8МЗ определялись структурой и уровнем механических свойств. Заводская технология обеспечила предел прочности на уровне 117 МПа, относительное удлинение – 1,0 %, ударную вязкость – 50 кДж/м², в то время как у экспериментально-

го сплава: предел прочности – 170 МПа, относительное удлинение – 1,4 %, ударная вязкость – 62 кДж/м². Структура экспериментального сплава содержала более тонкодифференцированные и равномерно распределенные включения сильноразветвленных комплексных фаз в сравнении со структурой сплава, который был получен по заводской технологии. Также пористость экспериментального сплава соответствовала 1 баллу по ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93), в то время как заводской сплав соответствовал 2 баллу.

Результаты исследований циклической прочности вторичного сплава АК8МЗ в зависимости от частоты нагружения сравнили с результатами испытаний на усталость сплава Д16 в отожженном состоянии (370 °С, 6 ч) (рис. 5), который нашел широкое применение в авиации и транспортном машиностроении при изготовлении ответственных элементов несущих конструкций и деталей обшивки. База сравнительных испытаний по определению пределов выносливости составила $10 \cdot 10^6$ циклов [2]. Сплав Д16 (3,85 % Cu; 1,6 % Mg; 0,72 % Mn; 0,5 % Fe; 0,33 % Si) обладал следующим уровнем механических свойств: $\sigma_b = 255$ МПа, $\sigma_T = 138$ МПа, $\delta = 6$ %, $\psi = 34$ %.

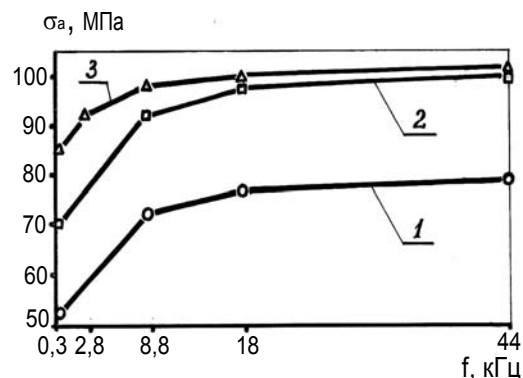


Рис. 5. Влияние частоты нагружения на предел выносливости сплавов:

1 – сплав АК8МЗ (заводская технология получения);
 2 – сплав АК8МЗ (экспериментальная технология);
 3 – сплав Д16

Выводы

Исследования показали, что увеличение частоты нагружения не изменяет форму кривых (см. рис. 5). Для сплава АК8МЗ разных технологий производства они расположены практически эквидистантно с близкими углами наклона кривых в исследуемом диапазоне. Для всех сплавов наблюдали монотонное увеличение усталостной долговечности при повышении частоты колебаний. Сравнение характеристик

циклической прочности экспериментального вторичного сплава АК8МЗ и Д16 показало, что наибольшая разница в показателях сохраняется в диапазоне частот 0,3...8,8 кГц (см. рис. 5). При этом следует отметить, что она возрастает с уменьшением частоты нагружения и практически отсутствует в диапазоне 8,8...44 кГц.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что вторичные алюминиевые сплавы, полученные из 100 % лома и отходов производства, обладают высокими потенциальными возможностями в увеличении показателей усталостной долговечности и повышении циклической прочности. В настоящее время данный вопрос изучен недостаточно, его развитие является актуальным и требует дополнительных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 57584А Україна, МКВ С22С 1/06. Модифікатор для алюмінієвих сплавів [Текст] / Волчок І. П., Мітяєв О. А.; заявник і патентоутримувач Запорізький національний техн. ун-т. – № 2002108343; заявл. 22.10.2002; опубл. 16.06.2003, Бюл. № 6.
2. ГОСТ 25.502-79. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 32 с.
3. Школьник, Л. М. Методика усталостных испытаний [Текст] : справочник / Л. М. Школьник. – М.: Металлургия, 1978. – 304 с.

Поступила в редколлегию 20.04.2011.

Принята к печати 27.04.2011.

Л. Н. БУНИНА (Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь), И. П. ВОЛЧОК (ЗНТУ, Запорожье)

ПОВЫШЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ МАРГАНЦЕВЫХ СТАЛЕЙ

Марганцеві сталі знаходять широке використання у машинобудуванні. В роботі досліджували вплив хімічного складу і форми неметалевих включень на конструкційну міцність марганцевих сталей. Наведено залежності між природою неметалевих включень і властивостями сталей.

Ключові слова: марганцеві сталі, модифікування, конструкційна міцність

Марганцевые стали широко применяются в машиностроении. В работе исследовали влияние химического состава и формы неметаллических включений на конструкционную прочность марганцевых сталей. Приводятся зависимости между природой неметаллических включений и свойствами стали.

Ключевые слова: марганцевые стали, модифицирование, конструкционная прочность

The manganese steels are widely used in machinery construction. The influence of chemical composition and form of non-metallic inclusions on constructive strength of manganese steels is studied. The dependences between the nature of non-metallic inclusions and properties of steels are given.

Keywords: manganese steels, modification, structural strength

Марганцевые стали (0,08...0,75 % С, 0,7...1,8 % Mn), благодаря невысокой стоимости и удовлетворительным механическим свойствам, находят широкое применение в машиностроении. Из низкоуглеродистых сталей этого класса типа 09Г2, 15Г и 20Г изготавливают детали автосцепных устройств и тележки грузовых вагонов, из среднеуглеродистых типа 25Г...40Г – корпуса поглощающих аппаратов грузовых вагонов, детали тормозных систем, коробок передач и редукторов в автотракторной промышленности, из высокоуглеродистых сталей 50Г...65Г – колеса и бандажи для железнодорожного транспорта, тормозные диски, пружины и рессоры для других видов транспорта.

В условиях столь широкого применения марганцевых сталей актуальной является задача повышения их конструкционной прочности – комплексной характеристики, включающей в себя показатели механической прочности (временное сопротивление, предел текучести и др.), эксплуатационной надежности (пластичность, хладостойкость, коэффициент интенсивности напряжений и др.) и долговечности (предел выносливости, коррозионная стойкость, коррозионно-усталостная прочность, износостойкость и др.).

Основными методами повышения конструкционной прочности являются: снижение в стали содержания неметаллических включений и газов, легирование, конечное раскисление (модифицирование), термическая, химико-термическая и термомеханическая обработки.

Из перечисленных методов наиболее дешевыми и легко вписывающимися в технологический процесс производства являются методы десульфурации и конечного раскисления (модифицирования), позволяющие снизить содержание неметаллических включений или уменьшить их отрицательное влияние путем изменения состава, формы и распределения в матрице стали.

Целесообразность и перспективность данного подхода подтверждаются работами ряда авторов, в том числе, И. А. Вакуленко и С. И. Губенко [1 – 3] с соавторами. Так, например, в работе [1] показано, что неметаллические включения, имеющие отличающуюся от металла кристаллическую структуру и, как правило, более низкий коэффициент термического расширения, являются концентраторами напряжений, способствуют зарождению и развитию усталостных трещин и ускоряют образование ряда дефектов (выщербин, поверхностных отколов, макротрещин и др.) в железнодорожных колесах. В работах [2, 3] исследованы микромеханизмы повреждаемости колесной стали, связанные с неметаллическими включениями, и показано, что они имеют различную природу: деформационные, термические и «водородные». При этом в условиях многократного термомеханического воздействия на поверхности качения колеса образуются продукты коррозии, которые вместе с неметаллическими включениями приводят к росту напряжений, зарождению и развитию дефектов.

Цель настоящей работы заключалась в повышении механических и служебных свойств марганцевых сталей. Экспериментальные плавки были проведены в индукционной печи емкостью 250 кг. В процессе плавки и фракционной разливки осуществляли раскисление стали 09Г, 40Г и 50Г по двум вариантам: 1) алюминием 0,1 % от массы жидкого металла и 2) алюминием 0,1 % и ферроцерием 0,15 % от массы жидкого металла (присадка в ковш). На плавке стали 60Г изучали влияние серы (присадка в печь) на механические свойства стали. Сталь разливали в сухие песчаные формы, получая слитки массой 25 кг и 50 кг. Из слитков и полученных из них методомковки при 1200...950 °С (степень укова 8,5...9,5) пластин изготавливали образцы для механических испытаний. Заготовки для образцов подвергались термической обработке: нормализации с 930 °С (сталь 09Г) и закалке с 890 °С (стали 40Г и 50Г) с последующим отпуском при 500 °С.

Независимо от конечного раскисления и горячей пластической деформации структура низкоуглеродистой стали после термической обработки представляла собой феррит с незначительным количеством карбидной фазы, сталей 40Г и 50Г – сорбит с игольчатыми включениями феррита (рис. 1). Неметаллические включения в литой стали при раскислении алюминием были представлены глиноземом и железо-марганцевыми сульфидами III-го типа. Последние при ковке деформировались, приобретая веретенообразную форму, при этом параметр их формы (отношение длины к ширине) составлял 7...10; РЗМ-содержащие включения практически не изменяли своей формы (рис. 2).

Анализ микромеханизма разрушения на приставке к микроскопу [4] показал, что деформированные включения сульфидов в большей мере способствовали зарождению и развитию микротрещин, чем недеформирующиеся глобулярные включения в стали с РЗМ (см. рис. 2). Этот вывод подтверждается результатами механических испытаний. Как видно из представленных в табл. 1 данных, наиболее высокие показатели прочности, пластичности и ударной вязкости были получены на продольных образцах, наиболее низкие на поперечных и литых. При этом комплексное раскисление стали обеспечило в результате глобуляризации неметаллических включений повышение коэффициента анизотропии механических свойств в среднем с 0,85 до 0,92.

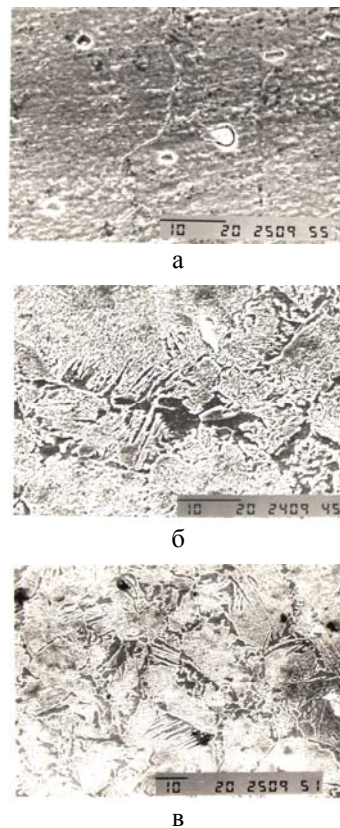


Рис. 1. Микроструктуры сталей 09Г (а), 40Г (б) и 50Г (в) после термообработки

Одним из важных показателей конструктивной прочности стали является ее сопротивление разрушению под действием циклических нагрузок. В настоящее время для описания поведения сплавов, работающих в таких условиях, широко применяются методы линейной механики разрушения, рассматривающие коэффициент интенсивности напряжений КИН как основной фактор, контролирующий скорость роста усталостных трещин. Получаемые при этом кинетические диаграммы усталостного разрушения в координатах скорость роста трещины v , м/цикл – размах КИН ΔK , МПа·м^{1/2}, дают информацию о сопротивлении материала распространению усталостных трещин в зависимости от условий нагружения [5]. При этом в качестве основных критериев, характеризующих сопротивление усталостному разрушению принимают значения (размахи) коэффициентов интенсивности напряжений в устье трещины: пороговое значение размаха КИН ΔK_{th} , ниже которого трещина не растет (порог усталости); критическое значение размаха КИН ΔK_{fc} , выше которого трещина теряет стабильность и начинает спонтанно развиваться, а также промежуточное значение КИН ΔK^* . В нашем случае значения ΔK_{th} , ΔK^* и ΔK_{fc} определены соответственно при значениях v , равных 10^{-5} , 10^{-7} и 10^{-9} м/цикл.

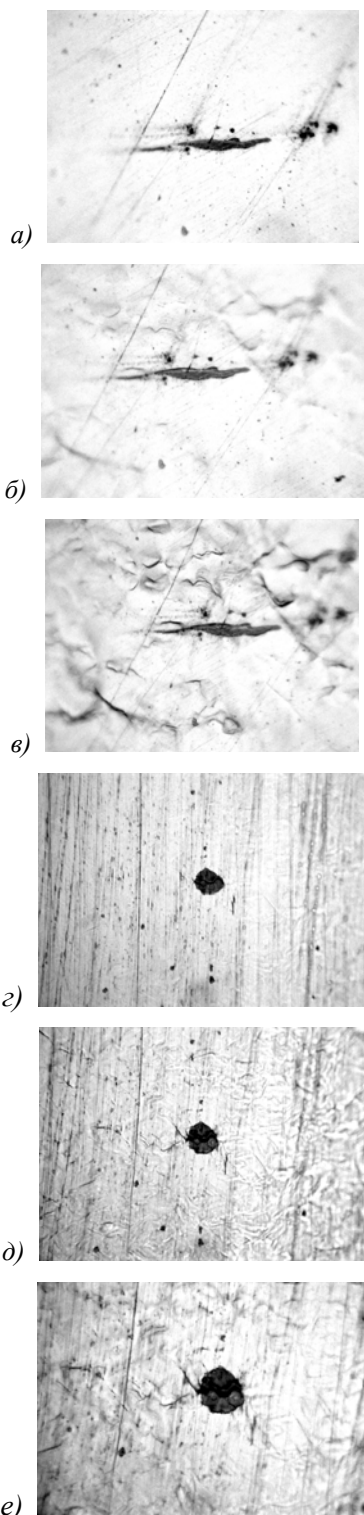


Рис. 2. Зарождение микротрещин, $\times 900$:
 а, б, в – возле железо-марганцевых сульфидов;
 г, д, е – возле окисульфидов РЗМ

Представленные в табл. 2 результаты испытаний свидетельствуют о более высоких в среднем значениях ΔK_{th} стали 09Г по сравнению со сталью 50Г, что можно объяснить более высокой пластичностью и ударной вязкостью низкоуглеродистой стали (см. табл. 1). Влияние конечного раскисления на показатели ΔK_{th} и

ΔK^* не установлено. Циклическая вязкость разрушения ΔK_{fc} оказалась достаточно зависимой от структуры испытываемых сталей и от природы неметаллических включений: при всех технологических вариантах производства сталь 50Г на 15...40 % превосходила сталь 09Г по величине ΔK_{fc} . Показательно, что комплексное раскисление обеих марок стали дало возможность устранить анизотропию по всем показателям циклической вязкости разрушения.

Малоцикловая выносливость N (число циклов до разрушения) характеризует сопротивление материала разрушению в условиях упруго-пластических деформаций. Этот вид испытаний проводили на сталях 09Г и 40Г методом плоского изгиба с постоянной величиной деформации $\varepsilon = 0,35\%$ на установке ИП-2 конструкции ФМИ им. Г. В. Карпенко НАН Украины. Сопоставление представленных в табл. 2 результатов испытаний с данными табл. 1 позволяет сделать вывод о наличии достаточно четкой зависимости между долговечностью N , с одной стороны, и пластичностью и ударной вязкостью, с другой. Наличие такой зависимости объясняется «жесткой» схемой нагружения, при которой задается величина деформации, а не величина напряжений. Комплексное модифицирование алюминием и РЗМ привело не только к повышению долговечности сталей, но и к заметному уменьшению анизотропии по этому показателю.

Коэффициент интенсивности напряжений K_{IC} , характеризующий поле напряжений перед распространяющейся трещиной, определяли на плоских образцах 4-го типа длиной 110 мм, сечением 10 $\times$ 20 мм, с боковым надрезом и трещиной методом сосредоточенного изгиба в соответствии с ГОСТ 25.506-85. В отличие от N , с ростом в исследуемых сталях содержания углерода наблюдалось повышение K_{IC} (см. табл. 2). Повышению этого показателя также способствовала глобуляризация неметаллических включений в результате комплексного модифицирования стали.

Существующими стандартами содержание серы в рядовых конструкционных сталях допускается до 0,03...0,05 %. Поэтому в спокойных раскисленных алюминием сталях, содержащих 0,003...0,005 % кислорода, соотношение между оксидами и сульфидами равно приблизительно 1:10, т.е. основным видом включений являются железо-марганцевые сульфиды. Как известно, эти включения деформируются при пластической деформации, вызывая снижение и анизотропию свойств стали. Поэтому пер-

спективным методом повышения свойств стали следует рассматривать сочетание десульфурации и комплексного раскисления с целью гло-

буляризации оксисульфидных включений и повышения механических и служебных свойств стальных изделий.

Таблица 1

Механические свойства и коэффициент анизотропии опытных сталей

Марка стали, раскисление	Вариант	Тип образца, коэф. анизотропии	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{в\%}$, МПа	δ , %	KCU, МДж/м ²
09Г, Al	11Л	литой	256	328	18,7	0,41
	11Пр	продольный	260	335	24,1	0,46
	11П	поперечный	214	264	19,6	0,33
	-	А	0,82	0,79	0,81	0,72
09Г, Al+PЗМ	12Л	литой	296	347	20,2	0,50
	12Пр	продольный	308	360	22,3	0,59
	12П	поперечный	272	316	21,8	0,54
	-	А	0,88	0,88	0,98	0,91
40Г, Al	31Л	литой	559	624	12,1	0,19
	31Пр	продольный	560	645	13,9	0,23
	31П	поперечный	526	620	12,0	0,16
	-	А	0,94	0,96	0,86	0,70
40Г, Al+PЗМ	32Л	литой	532	632	13,3	0,21
	32Пр	продольный	568	640	14,6	0,28
	32П	поперечный	539	698	13,7	0,23
	-	А	0,95	0,98	0,94	0,82
50Г, Al	41Л	литой	674	755	7,9	0,16
	41Пр	продольный	685	770	9,7	0,18
	41П	поперечный	645	715	8,4	0,15
	-	А	0,94	0,93	0,86	0,83
50Г, Al+PЗМ	42Л	литой	672	780	8,9	0,20
	42Пр	продольный	665	805	9,5	0,22
	42П	поперечный	660	775	9,3	0,18
	-	А	0,99	0,96	0,98	0,82

Изучали влияние содержания серы и раскисления алюминием и ферроцерием на механические свойства стали 60Г (0,62 % С, 0,94 % Mn, 0,37 % Si, 0,027 % Р). Сталь выплавляли в 250-кг индукционной печи на чистой по сере шихте (армко-железо и сталь 08кп). Серу присаживали в печь, раскислители – в разливочный ковш. Присадка алюминия составляла 0,1 % от массы жидкого металла, присадка ферроцерия рассчитывалась, исходя из ожидаемого (по расчету шихты) содержания серы в стали по формуле: % FeCe = 4 % S [4]. Образцы для механических испытаний изготавливали из литого и кованого металла (слитки массой 25 кг, степень укова 8,5...9,5). Закалку в масло с 810 °С проводили после нагрева заготовок в печах сопротивления, отпуск – при 500 °С с охлаждением на воздухе.

Представленные на рис. 3 результаты механических испытаний согласуются с данными других авторов [6 – 8] и подтверждают эффективность комплексного подхода – десульфурации и раскисления алюминием совместно с ферроцерием на механические свойства литой и деформированной стали. Из представленных на рисунке результатов следует, что содержание серы и технология конечного раскисления не оказали заметного влияния на предел текучести, временное сопротивление и твердость стали. В то же время, исследуемые технологические факторы изменяли показатели пластичности и ударной вязкости в широких пределах, при этом снижение содержания серы в целом оказалось более эффективным, чем дополнительное раскисление стали ферроцерием.

**Коэффициенты интенсивности напряжений КДУР, малоцикловая долговечность
и K_{1C} сталей 09Г и 50Г**

Марка стали	Вариант по табл. 1	ΔK_{th}	ΔK^*	ΔK_{fc}	N	K_{1C}
		МПа·м ^{1/2}			тыс. цикл.	МПа·м ^{1/2}
09Г	11Пр	13	21	70	10,6	45,1
	11П	13	20	60	6,0	39,0
	12Пр	14	22	80	10,9	66,5
	12П	14	22	80	8,6	60,1
50Г	41Пр	12	23	89	8,8*	65,0
	41П	12	22	70	5,8*	54,8
	42Пр	8,3	20	91	9,0*	86,6
	42П	8,3	20	91	8,2*	76,8

* – Испытания проведены на стали 40Г

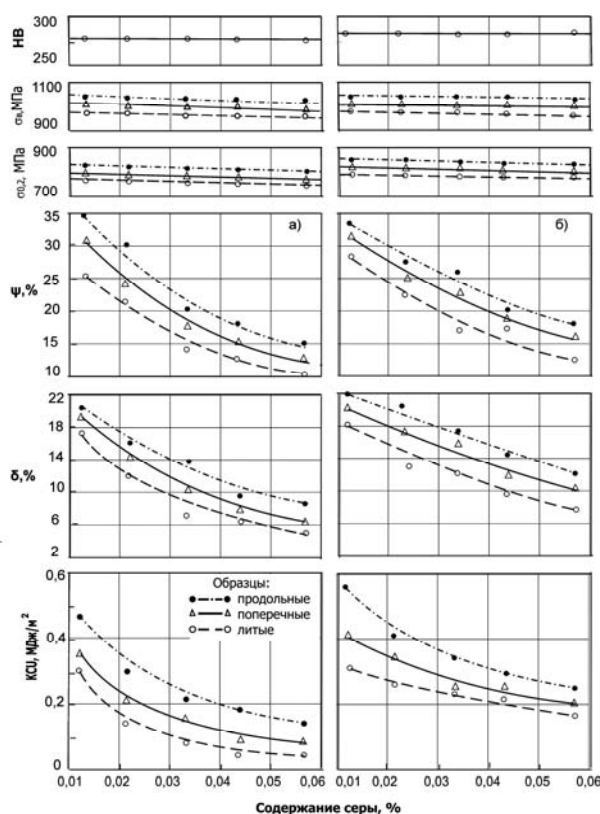


Рис. 3. Влияние серы и раскисления на механические свойства стали 60Г:
а – алюминием; б – ферроцерием

В заключение необходимо отметить, что применение двухкомпонентного конечного раскисления взамен однокомпонентного алюми-

ем на одном из металлургических предприятий позволило уменьшить количество выделений нитридов алюминия на границах аустенитных зерен, избежать образования легкоплавких железо-сульфидных эвтектик и в результате существенно снизить брак слитков и поковок по «горячим» трещинам [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дефекти залізничних коліс [Текст] : монографія / І. О. Вакуленко [та ін.]. – Д.: Вид-во Маковецький Ю. В., 2009. – 112 с.
2. Gubenko, S. Influence of nonmetallic inclusions on microbreaks formation in wheel steel and railway wheels [Text] / S. Gubenko [et al.] // Transport problems. – 2008. – tom 3, zeszyt 3. – P. 77-81.
3. Gubenko, S. I. System study of wear mechanism of railway wheel tread surface [Text] / S. I. Gubenko, S. I. Pinchuk, E. V. Belaya // Metallurgical and Mining Industry. – 2010. – vol. 2, No. 1. – P. 51-56.
4. Волчок, И. П. Сопротивление разрушению стали и чугуна [Текст] / И. П. Волчок. – М.: Металлургия, 1993. – 192 с.
5. Вплив неметалевих включень на опір втомного руйнуванню марганцевистих сталей [Текст] / І. Андрійко [та ін.] // Машинознавство. – 2007. – № 4. – С. 13-16.
6. Шульте, Ю. А. Хладостойкие стали [Текст] / Ю. А. Шульте. – М.: Металлургия, 1970. – 224 с.

7. Лунев, В. В. Сера и фосфор в стали / В. В. Лунев, А. В. Аверин. – М.: Металлургия, 1988. – 256 с.
8. Голубцов, В. А. Модифицирование стали для отливок и слитков [Текст] / В. А. Голубцов, В. В. Лунев. – Челябинск-Запорожье: ЗНТУ, 2009. – 356 с.
9. Бунина, Л. Н. Влияние неметаллических включений на трещиностойкость слитков и поковок

[Текст] / Л. Н. Бунина, И. П. Волчок // Неметалеві вкраплення і газу у ливарних сплавах: міжн. наук.-техн. конф. (19-22 вересня 2006 р.) : зб. матеріалів. – Запоріжжя, 2006. – С. 61-63.

Поступила в редколлегию 20.04.2011.

Принята к печати 26.04.2011.

М. О. КУЗІН (ДТГО «Львівська залізниця»),
Т. М. МЕЩЕРЯКОВА (Львівська філія ДПТУ)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРІДНИХ МЕТАЛІЧНИХ СИСТЕМ

З використанням підходів термодинаміки запропоновано варіант математичної моделі механіки опису параметрів втомної міцності в процесі експлуатації. Показано зв'язок отриманих співвідношень із сучасними критеріями довговічності тіл.

Ключові слова: структурно-неоднорідна металічна система, параметри втомної міцності, термодинаміка, математичне моделювання, сучасні критерії довговічності тіл

С использованием подходов термодинамики предложен вариант математической модели механики описания параметров усталостной долговечности в процессе эксплуатации. Показана связь полученных соотношений с современными критериями долговечности тел.

Ключевые слова: структурно-неоднородная металлическая система, параметры усталостной прочности, термодинамика, математическое моделирование, современные критерии долговечности тел

With use of thermodynamic approaches the variant of mathematical model of mechanics of the description of parameters of fatigue strength while in service is offered. The connection of the obtained relationships with the modern criteria of durability of bodies is shown.

Keywords: structural non-uniform metallic system, parameters of fatigue strength, thermodynamics, mathematical simulation, modern criteria of durability of bodies

1. Вступ

Важливими проблемами сучасної інженерії є обґрунтування параметрів роботи обладнання ще на стадії його проектування, оцінка і прогноз залишкового ресурсу конструкцій з метою подовження терміну експлуатації діючих вузлів і деталей.

Особливу актуальність ці проблеми мають для об'єктів рухомого складу залізничного транспорту, які експлуатуються протягом тривалого часу [1]. Умови їх роботи характеризуються складними нестационарними навантаженнями різної природи, що призводить до суттєвої деградації початкових параметрів міцнісних властивостей матеріалів.

Необхідність економії ресурсів вимагає пошуку шляхів управління параметрами довговічності матеріалів вузлів залізничного транспорту з метою відновлення або максимального подовження їх експлуатаційних характеристик.

Одним із можливих шляхів прогнозування та управління ресурсом роботи деталей є метод математичного моделювання процесів знеміцнення металічних середовищ з врахуванням зовнішніх навантажень.

Зростання кількості наукових робіт присвячених цим питанням дозволяє говорити про формування нового наукового напрямку в механіці деформівного твердого тіла – механіки

пошкоджуваних середовищ (МПС) [2], яка з використанням підходів фізики міцності матеріалів, металознавства проводить оцінку параметрів надійності експлуатації конструктивних елементів в умовах багатопараметричних нестационарних зовнішніх навантажень.

Суттєвою відмінністю методів МПС від класичних підходів є те, що процеси деформування і накопичення пошкоджуваності необхідно розглядати з врахуванням їх взаємного впливу [2].

Різноманітність сучасних підходів, критеріїв та способів оцінки довговічності металічних систем пов'язана зі складністю процесів, що відбуваються в матеріалах при зовнішніх змінних навантаженнях, та чутливістю цих процесів до різних технологічних, конструктивних та експлуатаційних факторів.

Як відмічається в роботі [3], в ніякому іншому випадку не спостерігається такої суттєвої зміни характеристик опору руйнуванню одного і того ж матеріалу в залежності від умов випробовувань як це відбувається у випадку з втомним руйнуванням.

Враховуючи складність явищ, що супроводжують зміну довговічності металічних систем, їх міцнісних параметрів в процесі експлуатації, в даній роботі пропонується підхід до моделювання зміни довговічності з позицій термодинаміки та запропонована математична модель механіки оцінки зміни цього параметру в процесі експлуатації.

2. Аналіз сучасних підходів моделювання втомної міцності металічних систем з позицій континуальної механіки

2.1. Теоретичні аспекти побудови математичних моделей. Розгляд металічної системи як багаторівневого континууму.

Одним з природних шляхів для побудови математичних моделей механіки металічних систем є використання підходів термодинаміки нерівноважних процесів та концепції твердих розчинів [4].

Приймають, що внутрішня енергія системи є функція параметрів стану і задається наступною формулою [4 – 7]:

$$dU = \delta Q + \delta A + \delta Z, \quad (1)$$

де δQ – сума кількості теплоти, що передана системі; δA – сума кількості роботи, що здійснена над системою; δZ – енергія, що передається системі при обміні масою. У виразі (1) внутрішня енергія є повним диференціалом, а диференціальні форми δQ , δA , δZ – неповні диференціали (тобто не є функціями параметру стану).

Необхідно відмітити, що в деяких роботах, зокрема [8], не вважають внутрішню енергію за функцію параметрів стану.

Оскільки термін «параметри стану» можна відносити тільки до рівноважних процесів [6], для опису нерівноважних процесів будемо використовувати поняття локальної термодинамічної рівноваги, яка запропонована Лоренцом [9]: «Локальним називається об'єм, який є великим порівняно з віддаллю між молекулами і дуже малим порівняно з макроскопічними неоднорідностями середовища».

Перейдемо для екстенсивних величин до їх питомих значень, які розраховані на одиницю об'єму [5, 6]:

$$du = \delta q + \delta a + \delta z. \quad (2)$$

Доповненням до рівняння (2) рівнянь балансу імпульсу, моменту імпульсу, маси, а також визначальних співвідношень (рівнянь стану), одержують повну систему рівнянь для опису конкретної термодинамічної системи.

Щоб враховувати зміну міцнісних параметрів матеріалу в часі, використаємо додаткову змінну адитивної природи «пошкоджуваність».

Вперше як об'єкт скалярної природи пошкоджуваність була введена в роботах Качанова Л. М. і Работнова Ю. М. [10], як об'єкт тензорної природи її запропонував розглядати Ільющин О. А. [2]. На даний момент існують роботи, в яких пошкоджуваність розглядається як

скалярна, векторна або тензорна величина, що може мати яку завгодно високу валентність.

Для врахування пошкоджуваності в рівняннях стану існують декілька шляхів.

Зокрема в роботі [7] вважають, що довговічність матеріалів краще зв'язувати не з характеристиками процесів, що проходять при навантаженні, а з характеристиками, що описують стан матеріалу незалежно від того, яким до нього йшли шляхом.

В роботі [2] до цього підходять по іншому і вважають, що при описі стану пошкоджуваності матеріалу через механічні параметри в основному виникають дві проблеми:

1. Як ці параметри ввести у відповідні рівняння процесів деформування і накопичення пошкоджень?

2. Як встановлювати числові значення параметрів?

При цьому розглядаються два типи мір пошкоджуваності:

- мікроскопічна, що безпосередньо пов'язана з розподілом мікроефектів (кількості, довжини, площі, об'ємі; зменшення істинної площі, що визначається геометрією, розміщенням і орієнтацією дефектів тощо);

- макроскопічна, що визначаються станом пошкоджуваності за зміною відповідних фізичних величин (пружні константи, межа текучості, межа міцності при розтягу, видовження, густина, електроопір, швидкість ультразвукових хвиль, акустична емісія тощо).

В роботі [10] вводиться тензор другого рангу $\hat{\pi}$, який є мірою пошкоджуваності матеріалу; також вважається, що поточне значення тензора $\hat{\pi}(t)$ в загальному випадку не визначається поточними значеннями деформації, температур, навіть всією передісторією їх зміни. При цьому фізичного трактування введеного параметру не подається.

Результати роботи [10] вказують на необхідність врахування пошкоджуваності, яка була в тілі в початковий момент часу $\hat{\pi}(t = t_0)$.

В роботі [11] запропоновано розширити параметри стану й ввести додаткову множину величин, що враховують внутрішню будову матеріалу, і назвати їх «внутрішні параметри стану». Характер цих параметрів і їх зміна, внаслідок прикладених до тіла зовнішніх термомеханічних впливів, визначається макроскопічним аналізом їх мікромеханізму [11]. Таким чином, в сучасних моделях матеріалів вводять нові внутрішні ступені свободи та відповідні їм характеристичні параметри, для яких необхідно

встановлювати рівняння стану, кінетичні та інші співвідношення. В роботі [11] дещо формально введені «внутрішні змінні стану» $\chi^{(1)}$, $\chi_k^{(\beta)}$, $\chi_{ki}^{(\beta)}$ ($\alpha = 1, \dots$; $\beta = 1, \dots, \beta_M$; $\gamma = 1, \dots, \gamma_N$), які характеризують, відповідно, процеси знеміцнення структури і накопичення пошкоджень.

Необхідність врахування мікроструктурних змін при навантаженні також наведено в роботах [11, 12]: оскільки при будь-якому зовнішньому навантаженні змінюється внутрішня енергія тіла; для реальних матеріалів цей процес зумовлює зміну структури, – відбувається перехід від одного термодинамічного стану до іншого. Якщо характерний час зміни зовнішнього навантаження близький до часу переходу термодинамічної системи в новий стан, то необхідне врахування зміни структури на макрорівні [12].

Цікаві підходи до необхідності врахування будови металічних систем наведені у ґрунтовній роботі [13]. В ній, зокрема, написано, що розрахувати криву «напруження-деформації» на основі тільки мікроскопічних уявлень теорії дислокацій не вдалось ще до цього часу. Всі спроби прямого переходу від мікропідходів фізики до макрорівнів механіки виявились безуспішними.

Треба шукати нетрадиційні підходи. Вони формувалися тривалий час на основі виявлення нових механізмів деформації, які розвиваються

в деформівному твердому тілі на проміжному між мікро- і макромасштабному рівнях, так званому мезомасштабному рівні. Було усвідомлено деформівне тверде тіло як багаторівневу систему, в якій механізми на мікро-, мезо- і макромасштабних рівнях взаємопов'язані.

У відповідності з роботами [2, 10 – 13] постулюємо розгляд деформівного твердого тіла як багаторівневої ієрархічної системи вкладених континуумів, на кожному з яких буде використовуватись пошкоджувальність як міра – «внутрішня змінна», що описує деградацію властивостей матеріалу (табл. 1). При цьому кожен рівень більш високого рівня ієрархії будемо розглядати як локальний об'єм в сенсі Паніна-Лоренца, тобто об'єм, який є великим порівняно з віддаллю між елементарними складовими на даному рівні ієрархії і дуже малим порівняно зі складовими вищого рівня ієрархії [13], пошкоджувальність в якій утворюється в результаті зміни структурних елементарних складових, появою деяких новоутворень, що призводить до порушення суцільності макрочастинки [2].

Перехід від нижнього рівня до верхнього відбувається за допомогою осереднення інформації про поведінку матеріалу на попередньому рівні за заданим критерієм.

Таблиця 1

Масштабні рівні пошкоджуваності в деформівному твердому тілі, що придатні для континуального опису

№	Масштабний рівень	Опис	Фізичне трактування пошкоджуваності (Постулювання пошкоджуваності)	Розмір рівня, м
1	Мікрорівень	Локальна неоднорідність кристалічної ґратки	Група дислокацій (Пошкоджуваність – скаляр, тензор другої валентності) [2]	$< 10^{-7}$
2	Мезорівень 1	Формування дисипативної субструктури (полоси ковзання)	Полоси ковзання (Пошкоджуваність – Тензор другої (або будь-якої) валентності) [14]	$10^{-7} \dots 10^{-5}$
3	Мезорівень 2	Стохастичне (або направлений) розподіл мікротріщин	Мікротріщини (Пошкоджуваність – Тензор другої валентності) [10]	$10^{-4} \dots 10^{-3}$
4	Макрорівень	Втрата стійкості об'єкту (поширення тріщини)	Пошкоджуваність – Тензор другої валентності (або скаляр) [3, 10]	$10^{-2} \dots 10^0$

2.2. Постулювання пошкодженості матеріалу як «внутрішньої змінної».

Достатньо ґрунтовно пошкоджуваність, як «внутрішня змінна» матеріалу, була введена в роботі [15]. Тому використаємо цей підхід з додатковими умовами для постулювання по-

шкоджуваності як тензорної величини другої валентності для рівнів ієрархії Мезорівень 1, Мезорівень 2 (табл. 1).

Постулюємо існування внутрішньої змінної – тензорної величини другої валентності $\hat{P}$, яка є макромірою внутрішніх структурних

перетворень в матеріалі, називається пошкоджуваністю, й володіє наступними властивостями [15, 16]:

1. Об'єкт $\hat{\Pi}$ буде приймати початкові значення на інтервалі $0 \leq \tau \leq t$, якщо на цьому інтервалі рівні нулеві параметри навантаження;

2. Об'єкт $\hat{\Pi}$ буде функцією стану мікрочастинки, тобто однозначно визначається процесом навантаження $\hat{\sigma}(t)$, $T(t)$, $\hat{\varepsilon}(t)$. Функціонал $\hat{\Pi}(\hat{\sigma}(t), \hat{\varepsilon}(t), T(t), \dots)$ приймаємо неперервним за змінними навантаження безпосередньо до стану, що передує руйнуванню.

3. Існують деякі невід'ємні міри, що називаються мірами пошкоджуваності $M_m(\hat{\Pi})$, і відповідні додатні константи C_m такі, що

- коли $M_m(\hat{\Pi}) < C_m$, то стан частинки міцний,

- коли $M_m(\hat{\Pi}) \geq C_m$ для будь-якого $m = k$, то відбувається руйнування типу k (для інших m може бути $M_m(\hat{\Pi}) < C_m$).

Додамо також додаткові умови:

1. Невід'ємні міри $M_m(\hat{\Pi})$ внутрішньої змінної дорівнюють нулю тільки тоді, коли теоретичні міцнісні властивості матеріалу рівні реальним (відхилення в сторону зменшення реальних міцнісних властивості матеріалу від теоретичних вважаємо результатом наявності мікродфектів у матеріалі).

2. Внутрішня змінна $\hat{\Pi}(t)$ в момент часу t визначається не тільки параметрами навантаження, але й швидкістю їх зміни.

Перша умова дозволяє враховувати збільшення міцнісних властивостей матеріалу спеціальними технологічними впливами (що особливо часто відбувається для поверхневих шарів); друга умова дозволяє враховувати ефекти в'язкості при навантаженні тіл, а також середовища з пам'яттю.

Аналогічно постулюємо пошкоджуваність як скалярну величину для рівнів ієрархії: Мікрорівень і Макрорівень (табл. 1).

Запишемо балансові рівняння пошкоджуваності як для тензорної, так і для скалярної величини:

– для тензорної величини:

$$1. \frac{\partial \hat{\Pi}}{\partial t} + \vec{\nabla}_0 \cdot \hat{J}_{\Pi} = \hat{\sigma}_{\Pi} - \text{рівняння балансу пошкоджуваності при можливості потоку пошкоджуваності (як тензорної величини третьої валентності). Пошкоджуваність в локальному}$$

об'ємі може змінюватись за рахунок утворення (стоку – зникнення, ефект має назву заліковування пошкоджуваності) в локальному об'ємі, так і притоку ззовні.

2. $\frac{\partial \hat{\Pi}}{\partial t} = \hat{\sigma}_{\Pi}$ – рівняння балансу пошкоджуваності при неможливості потоку пошкоджуваності. Пошкоджуваність в локальному об'ємі може змінюватись за рахунок утворення (стоку – зникнення) в локальному об'ємі, так і притоку ззовні.

– для скалярної величини:

$$3. \frac{\partial \Pi}{\partial t} + \vec{\nabla}_0 \cdot \vec{J}_{\Pi} = \sigma_{\Pi} - \text{рівняння балансу пошкоджуваності при можливості потоку пошкоджуваності (як векторної величини). Пошкоджуваність в локальному об'ємі може змінюватись за рахунок утворення (стоку – зникнення) в локальному об'ємі, так і притоку ззовні.}$$

4. $\frac{\partial \Pi}{\partial t} = \sigma_{\Pi}$ – рівняння балансу пошкоджуваності при неможливості потоку пошкоджуваності. Пошкоджуваність в локальному об'ємі може змінюватись за рахунок утворення (стоку – зникнення) в локальному об'ємі, так і притоку ззовні.

Величини $\vec{J}_{\Pi}$, $\hat{J}_{\Pi}$ – потік точкової (орієнтаційної) пошкоджуваності (останній випадок можна вважати «винятковим» випадком, коли переміщуються орієнтовані дефекти). Тому рівняння (1) варто розглядати скоріше як деяку математичну абстракцію «виняткового» випадку.

2.3. Запис балансових енергетичних співвідношень для деформівних систем з урахування змін їх міцнісних параметрів.

Запишемо рівняння балансу енергії при наявності розсіяного руйнування у модифікованій формі порівняно з (1)–(2) [5, 10]:

$$\frac{d}{dt}(e + u + u_*) = \nabla \cdot (\hat{\sigma} \cdot \vec{v} - \vec{I}_q - \mu \vec{I}_p) + \left(\vec{F} \cdot \vec{v} - \frac{\vec{v} \cdot \vec{v}}{2} (\nabla \cdot \vec{I}_p) + N_r \right), \quad (3)$$

де e – густина кінетичної енергії; u – густина внутрішньої енергії; u_* – густина енергії міцності матеріалу або «ефективної поверхневої енергії пошкодженого матеріалу» [10]; $\hat{\sigma}$ – тензор напружень; $\vec{I}_q$ – локальний потік тепла; $\vec{I}_p$ – локальний потік маси; μ – хімічний потенціал, $\vec{F}$ – густина масових сил; $\vec{v}$ – вектор швидкості де-

формації; N_r – потужність густини розподілених джерел енергії, які безпосередньо пов’язані з руйнуванням матеріалу.

Необхідно відзначити, що рівняння (3) має безпосередній зв’язок з енергетичним співвідношенням Гріффітса, яке є базовим для механіки ізольованої тріщини, якщо прийняти $\frac{du_*}{dt}$ і

N_{Π} за дельта-функції, що співпадають з вершиною тріщини [10].

Якщо прийняти, що пошкоджуваність може змінюватись в локальному об’ємі також за рахунок потоків [16], то рівняння (3) набуває наступного вигляду:

$$\frac{d}{dt}(e + u + u_*) = \nabla \cdot (\hat{\sigma} \cdot \vec{v} - \vec{I}_q - \mu \vec{I}_\rho - \vec{I}_{EP}) + \left(\vec{F} \cdot \vec{v} - \frac{\vec{v} \cdot \vec{v}}{2} (\nabla \cdot \vec{I}_\rho) + N_r \right), \quad (4)$$

де $\vec{I}_{EP}$ – потік енергії пов’язаний з пошкоджуваністю.

3. Побудова математичної моделі механіки поведінки металічних систем в умовах зовнішніх навантажень з врахуванням зміни їх міцнісних властивостей в часі

3.1. Запис балансових рівнянь та визначальних співвідношень.

Запишемо балансові рівняння для явищ теплової, механічної, хімічної природи [4, 6, 7].

Рівняння балансу маси:

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV = - \int_{\Sigma} \vec{n} \cdot \vec{I}_\rho d\Sigma, \quad (5)$$

де $\vec{I}_\rho$ – потік маси; $\vec{n}$ – нормаль до поверхні.

Рівняння балансу ентропії:

$$\frac{d}{dt} \int_V s dV = - \int_{\Sigma} \vec{n} \cdot \vec{I}_s d\Sigma + \int_V \sigma_s dV, \quad (6)$$

де $\vec{I}_s$ – потік ентропії; σ_s – потужність джерела ентропії.

В припущенні безмоментної теорії пружності запишемо рівняння балансу кількості руху:

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \vec{v} dV = \int_{\Sigma} (\vec{n} \cdot \hat{\sigma}) d\Sigma + \int_V (\vec{F} - \vec{v} \cdot (\nabla \cdot \vec{I}_\rho)) dV. \quad (7)$$

Рівняння балансу енергії з врахуванням енергії зміни пошкоджуваності в матеріалі буде мати вигляд (4).

Із врахуванням співвідношень (5)–(7) рівняння (4) можна записати у вигляді:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \hat{\sigma} \cdot (\vec{\nabla}_0 \otimes \vec{v}) + T \frac{\partial s_0}{\partial t} + \mu \frac{\partial \rho_0}{\partial t} - \sigma_s T - \left((\vec{\nabla}_0 T) \cdot \vec{I}_s - (\vec{\nabla}_0 \mu) \cdot \vec{I}_\rho + \left(N_r - \frac{\partial u_*}{\partial t} - \vec{\nabla}_0 \cdot \vec{I}_{EP} \right) \right). \quad (8)$$

Проаналізуємо рівняння (8) у випадку скалярної пошкоджуваності.

Для цього у відповідність величині Π поставимо спряжену величину Ψ , яка характеризує реакцію матеріалу на змінну Π . В результаті отримаємо наступні співвідношення:

$$\vec{I}_{EP} = \Psi \vec{I}_{\Pi}; \quad (9)$$

$$N_r = \Psi \sigma_{\Pi}. \quad (10)$$

В результаті рівняння (8) буде мати наступну форму:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \hat{\sigma} \cdot (\vec{\nabla}_0 \otimes \vec{v}) + T \frac{\partial s_0}{\partial t} + \mu \frac{\partial \rho_0}{\partial t} + \left(\Psi \frac{\partial \Pi}{\partial t} - \frac{\partial u_*}{\partial t} \right) - \sigma_s T - \left((\vec{\nabla}_0 T) \cdot \vec{I}_s - (\vec{\nabla}_0 \mu) \cdot \vec{I}_\rho - (\vec{\nabla}_0 \Psi) \cdot \vec{I}_{\Pi} \right). \quad (11)$$

Від рівняння (11), з врахуванням принципу локальної термодинамічної рівноваги, перейдемо до:

$$du = \hat{\sigma} \cdot d\hat{V} + T ds + \mu d\rho + (\Psi d\Pi - du_*); \quad (12)$$

$$\sigma_s = -\frac{1}{T} \left((\vec{\nabla}_0 T) \cdot \vec{I}_s + (\vec{\nabla}_0 \mu) \cdot \vec{I}_\rho + (\vec{\nabla}_0 \Psi) \cdot \vec{I}_{\Pi} \right). \quad (13)$$

Якщо прийняти, що пошкоджуваність є тензорна величина другої валентності, отримаємо [16]:

$$du = \hat{\sigma} \cdot d\hat{V} + T ds + \mu d\rho + (\hat{\Psi} \cdot d\hat{\Pi} - du_*); \quad (14)$$

$$\sigma_s = -\frac{1}{T} \left((\vec{\nabla}_0 T) \cdot \vec{I}_s + (\vec{\nabla}_0 \mu) \cdot \vec{I}_\rho + (\vec{\nabla}_0 \otimes \hat{\Psi}) \cdots \vec{I}_{\Pi} \right). \quad (15)$$

Як видно, внутрішня енергія (12) або (14) є функцією наступних параметрів s , $\hat{V}$, ρ , $\hat{\Pi}$, u_* :

$$u = u(s, \hat{V}, \rho, \hat{\Pi}, u_*). \quad (16)$$

За допомогою співвідношення

$$f = -u + Ts + \mu \rho + \Psi \Pi + u_* \quad (17)$$

отримаємо:

$$df = \hat{V} \cdot d\hat{\sigma} + s dT + \rho d\mu + \Pi d\Psi + du_*. \quad (18)$$

Якщо функції u або f є заданими, то можна записати визначальні рівняння стану локальної термодинамічної рівноваги як зв'язки між відповідними екстенсивними та інтенсивними параметрами:

$$\begin{cases} \hat{\sigma} = \frac{\partial u}{\partial \hat{V}} = \hat{\sigma}(s, \hat{V}, \rho, \hat{P}, u_*); \\ T = \frac{\partial u}{\partial s} = T(s, \hat{V}, \rho, \hat{P}, u_*); \\ \mu = \frac{\partial u}{\partial \rho} = \mu(s, \hat{V}, \rho, \hat{P}, u_*); \\ \hat{\Psi} = \frac{\partial u}{\partial \hat{P}} = \hat{\sigma}(s, \hat{V}, \rho, \hat{P}, u_*) \end{cases} \quad (19)$$

або

$$\begin{cases} \hat{V} = \frac{\partial f}{\partial \hat{\sigma}} = \hat{V}(T, \hat{\sigma}, \mu, \hat{\Psi}, u_*); \\ s = \frac{\partial f}{\partial T} = s(T, \hat{\sigma}, \mu, \hat{\Psi}, u_*); \\ \rho = \frac{\partial f}{\partial \mu} = \rho(T, \hat{\sigma}, \mu, \hat{\Psi}, u_*); \\ \hat{P} = \frac{\partial f}{\partial \hat{\Psi}} = \hat{P}(T, \hat{\sigma}, \mu, \hat{\Psi}, u_*). \end{cases} \quad (20)$$

4. Аналіз отриманих термодинамічних співвідношень

4.1. Зв'язок побудованих рівнянь з критеріями довговічності металічних тіл.

В сучасній механіці деформівного твердого тіла для розрахунку довговічності матеріалу найчастіше використовуються деформаційні і енергетичні критерії [3], при цьому роботу конкретних деталей найчастіше оцінюють з врахуванням силового навантаження.

Тому розглянемо співвідношення (4) – (19) в спрощеній постановці з врахуванням тільки силової складової, нехтуючи явищами теплової та дифузійної природи.

Тоді системи (18) і (19) трансформуються у наступні рівняння:

$$\begin{cases} \hat{\sigma} = \frac{\partial u}{\partial \hat{V}} = \hat{\sigma}(\hat{V}, \hat{P}, u_*); \\ \hat{\Psi} = \frac{\partial u}{\partial \hat{P}} = \hat{\sigma}(\hat{V}, \hat{P}, u_*), \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{cases} \hat{V} = \frac{\partial f}{\partial \hat{\sigma}} = \hat{V}(\hat{\sigma}, \hat{\Psi}, u_*); \\ \hat{P} = \frac{\partial f}{\partial \hat{\Psi}} = \hat{P}(\hat{\sigma}, \hat{\Psi}, u_*). \end{cases} \quad (22)$$

Як видно з системи (20), напружений стан в тілі залежить як від деформацій, так і від пошкоджуваності. Утворення пошкоджуваності в тілі визначається насамперед його напружено-деформованим станом (21), а також міцнісними параметрами матеріалу тіла.

Зокрема, якщо прийняти, що друге рівняння системи (21) має вид:

$$\hat{P}(t) = g(\hat{\sigma})t, \quad (22)$$

що відповідає лінійному закону сумування пошкоджуваності.

Велику кількість експериментальних залежностей довговічності матеріалу від умов навантажень, при використанні енергетичних критеріїв утворення пошкоджуваності оцінюють як втрату енергії на непружне деформування під час зовнішніх навантажень.

Це, зокрема, добре ілюструється за допомогою співвідношення (8) без врахування процесів несилового походження:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \left(N_r - \frac{\partial u_*}{\partial t} \right) = \hat{\sigma} \cdot (\vec{\nabla}_0 \otimes \vec{v}), \quad (23)$$

коли енергія зовнішнього навантаження витрачається не тільки на зміну внутрішньої енергії системи, але й на зміну міцнісних параметрів тіла.

5. Висновки

В роботі проаналізовано сучасний стан математичного моделювання опису зміни міцності металічних систем під час зовнішніх навантажень.

З використанням уявлень про ієрархічну континуальну багатовимірність процесів, що проходять при деградації властивостей матеріалів, запропоновано підхід до побудови математичних моделей на основі уявлень нерівноважної термодинаміки.

Проаналізовано одержані співвідношення та встановлено їх зв'язок із сучасними критеріями оцінки довговічності металічних тіл.

Запропоновані в роботі підходи можуть бути використані для розрахунку і управління довговічністю деталей залізничного транспорту.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Дефекти залізничних коліс [Текст] : монографія / І. О. Вакулєнко [та ін.]. – Д.: Вид-во Маковецький, 2009. – 112 с.
2. Волков, И. А. Уравнения состояния вязкоупругопластических сред с повреждениями [Текст] /

- А. И. Волков, Ю. В. Коротких. – М.: Физматлит, 2008. – 424 с.
3. Прочность материалов и конструкций [Текст] : серия монографий / под общ. ред. В. Т. Трощенко. – К.: Ин-т проблем прочности им. Г.С.Писаренко НАН Украины. – Т. 2. Усталость металлов. Влияние состояния поверхности и контактного взаимодействия / В. Т. Трощенко [и др.]. – 2009. – 664 с.
 4. Фізико-математичне моделювання складних систем [Текст] / під ред. Я. Й. Бурака. – Львів: Сполом, 2004. – 264 с.
 5. Седов, Л. И. Механика сплошной среды [Текст] / Л. И. Седов. – т. 2. – М.: Наука, 1970. – 568 с.
 6. Подстригач, Я. С. Введение в механику поверхностных явлений в деформируемых твердых телах [Текст] / Я. С. Подстригач, Ю. З. Повстенко. – К.: Наук. думка, 1985. – 200 с.
 7. Третьяченко, Г. Н. Прочность и долговечность материалов при циклических тепловых воздействиях [Текст] / Г. Н. Третьяченко, Б. С. Карпинос. – К.: Наук. думка, 1990. – 256 с.
 8. Терегулов, И. Г. Термодинамика необратимых процессов и теоретические основы построения определяющих соотношений для сплошных сред [Текст] / И. Г. Терегулов // Изв. высш. учеб. заведений. Математика. – 1995. – № 4 (395). – С. 82-95.
 9. Агеев, Е. П. Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах [Текст] / Е. П. Агеев. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 136 с.
 10. Кондауров, В. И. Основы термомеханики конденсированной среды [Текст] / В. И. Кондауров, В. Е. Фортов. – М.: МФТИ, 2002. – 336 с.
 11. Кувыркин Г. Н. Термомеханика деформируемого твердого тела при высокоинтенсивном нагружении [Текст] / Г. Н. Кувыркин. – М.: МГУ, 1993. – 142 с.
 12. Зарубин, В. С. Математические модели термомеханики [Текст] / В. С. Зарубин, Г. Н. Кувыркин. – М.: Физматлит, 2002. – 168 с.
 13. Панин, В. Е. Физическая мезомеханика: достижения за два десятилетия развития, проблемы и перспективы [Текст] / В. Е. Панин, Ю. В. Гриняев, С. Г. Псахье // Физическая мезомеханика. – 7-й спец. вып., ч. 1 (2004). – 2004. – С. 25-40.
 14. Мурамаки, С. Математическая модель трехмерного изотропного состояния поврежденности [Текст] / С. Мурамаки, Ю. Н. Радаев// Механика твердого тела. – 1996. – № 4. – С. 93-110.
 15. Ильюшин, А. А. Об одной длительной прочности [Текст] / А. А. Ильюшин // Инж. журн. «Механика твердого тела». – 1967. – № 3. – С. 21-35.
 16. Кузін, М. О. Використання підходів термодинаміки для континуального опису зміни довговічності металічних систем в умовах зовнішніх навантажень [Текст] / М. О. Кузін // Українська акад. друкарства. Наук. записки. Наук.-техн. збірник. – 2010. – № 2 (52). – С. 123-130.

Надійшла до редколегії 18.01.2011.

Прийнята до друку 25.01.2011.

І. М. ПОГРЕЛЮК, О. В. ТКАЧУК (Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України), З. О. СІРИК (Львівська філія ДПТУ)

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ І ДЕКОРАТИВНОГО ЗАБАРВЛЕННЯ ДЕТАЛЯМ З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ПРИ ХІМІКО-ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ У КОНТРОЛЬОВАНОМУ АЗОТОКИСНЕВМІСНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Встановлено закономірності формування оксинітридних шарів на поверхні титанових сплавів за контрольованого модифікування киснем попередньо сформованих нітридних покриттів. Показано залежність поверхневого забарвлення титанових сплавів від складу сформованих оксинітридів. Встановлено, що оксинітрування забезпечує титановим сплавам високу корозійну тривкість. Доведено доцільність диференційованого підходу до вибору структурно-фазового стану поверхневих шарів оксинітрованого титану залежно від агресивного середовища.

Ключові слова: оксинітридний шар, титановий сплав, нітридне покриття

Установлены закономерности формирования оксинитридных слоев на поверхности титановых сплавов при контролируемом модифицировании кислородом предварительно сформированных нитридных покрытий. Показана зависимость окраски поверхности титановых сплавов от состава сформированных оксинитридов. Установлено, что оксинитрирование обеспечивает титановым сплавам высокую коррозионную стойкость. Доказана целесообразность дифференцированного подхода к выбору структурно-фазового состояния поверхностных слоев оксинитрованного титана в зависимости от агрессивной среды.

Ключевые слова: оксинитридный слой, титановый сплав, нитридное покрытие

The regularities of the forming of oxynitride layers on the surface of titanium alloys at the controlled modification of preliminarily formed nitride coatings by oxygen are determined. The dependence of the surface colouring of titanium alloys depending on the composition of formed oxynitrides is showed. It is determined that oxynitriding provides the high corrosion resistance of the titanium alloys. The expediency of the differential approach to the choice of the phase-structural state of the surface layers of oxynitrated titanium depending on the aggressive environment is showed.

Keywords: oxynitride layer, titanium alloy, nitride coating

Вступ

Сучасна техніка характеризується постійно зростаючими робочими температурами, високими швидкостями, складними навантаженнями та необхідністю експлуатації окремих вузлів тертя механізмів та машин в умовах впливу агресивних середовищ. Це висуває додаткові вимоги до титану як конструкційного матеріалу, до властивостей його поверхні. Традиційні оксидні та нітридні покриття [1 – 4] не завжди здатні задовольнити поставлені вимоги.

В зв'язку з цим, значний інтерес викликають багатокомпонентні нестехіометричні фази втілення на основі титану, в тому числі і оксинітриди титану. Більшість характеристик оксинітридів успадковується від оксидів та нітридів, проте ряд фізико-хімічних характеристик, зокрема, твердість, зносостійкість та корозійна тривкість, жорсткість і інші, перевищують їх [5 – 8].

Виходячи із властивостей оксинітридних сполук, формування їх в якості функціональних покриттів, в тому числі і на титанових сплавах, є перспективним напрямом інженерії поверхні.

Одним із варіантів оксинітрування є модифікування нестехіометричного нітриду титану

киснем. Така схема оксинітрування дозволяє формувати покриття на деталях різної конфігурації та характеризується високою відтворюваністю результатів. За такої схеми оксинітрування фазовий склад поверхневих шарів і їх характеристики залежить як від параметрів процесу азотування, так і від параметрів процесу модифікування киснем, зокрема, від парціального тиску кисню модифікуючого кисневмісного середовища.

Мета роботи – встановити закономірності формування оксинітридних покриттів на титанових сплавах залежно від парціального тиску кисню модифікуючого кисневмісного середовища, дослідити корозійну тривкість отриманих покриттів.

Методика досліджень

Досліджували зразки розміром 10x15x1 мм із α -титанового сплаву ВТ1-0 (технічно чистий титан), псевдо- α -сплавів ПТ7М, ВТ20 та (α + β)-сплав ВТ6с. Зразки попередньо полірували ($R_a = 0,4$ мкм), промивали у спирті та висушували. Насичували за температури 850 °С в молекулярному азоті атмосферного тиску. Виконували

© Погреблюк І. М., Ткачук О. В., Сірик З. О., 2011

ристовували технічно чистий азот, який очищали, щоб кисню і води було не більше 0,05 %, пропускаючи через капсулу з силікагелем і нагріту титанову стружку. Ізотермічна витримка тривала 5 год. Нагрівали до температури азотування у вакуумі 10^{-3} Па. Охолоджували від температури азотування до 500 °С в розрідженому кисневмісному середовищі (0,001...10 Па) (парціальний тиск кисню близько 0,0001...1 Па), далі камеру вакуумували.

Фазовий склад поверхневих шарів визначали рентгенівським фазовим аналізом на дифрактографі ДРОН-3.0 у монохроматичному $\text{CuK}\alpha$ -випромінюванні з фокусуванням за схемою Бреґґа-Бретано. Напруга на аноді рентгенівської трубки становила 30 кВ, а струм через неї 20 мА. Використовували пакети програмно-го забезпечення DHN-PDS та CSD.

Мікроструктуру зразків вивчали на косих шліфах з допомогою мікроскопу Eriquant, оснащеного камерою та комп'ютерною приставкою для фіксації зображення у цифровому вигляді. Рівень та розподіл мікротвердості по перерізу приповерхневих шарів оцінювали, вимірюючи мікротвердість на приладі PMT-3М за навантаження на індентор 0,49 Н.

Процес модифікування нестехіометричного нітриду титану киснем реалізовували, подаючи у систему контрольоване кисневмісне середовище на завершальній стадії азотування (при охолодженні) (рис. 1). Відтак, від температури азотування до 500 °С відбувається контрольоване окиснення сформованого нітриду титану (оксинітрування). Нижче 500 °С камеру вакуумують.

Результати та їх обговорення.

Після реалізації оксинітрування шляхом модифікування нітриду титану киснем за температури 950 °С і парціального тиску кисню 0,0001 та 0,001 Па поверхня титану та його сплавів, в основному, набуває бузково-сірого забарвлення (табл. 1). За температури 850 °С та парціального тиску кисню 0,0001 Па забарвлення поверхні змінюється від аквамаринового до рожевого і бузкового залежно від сплаву. Після оброблення за парціального тиску кисню 0,001 Па поверхня, в основному, бузкова. Саме бузкове забарвлення було одержане в результаті формування оксинітридних фаз в процесі високотемпературного окиснення компактних безпористих зразків нітриду титану [9].

Відмінність у забарвленні поверхні сплавів, очевидно, пов'язана із формуванням оксинітридів різного складу за азотом та киснем.

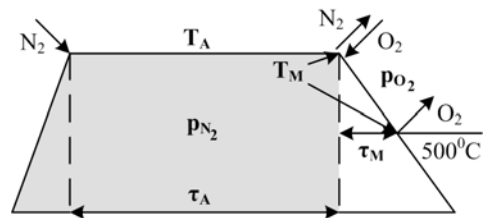


Рис. 1. Схема оксинітрування титанових сплавів: T_A – температура азотування, τ_A – тривалість азотування, P_{N_2} – парціальний тиск азоту, T_M – температура початку модифікування, τ_M – тривалість модифікування, P_{O_2} – парціальний тиск кисню

Таблиця 1

Забарвлення поверхні титанових сплавів залежно від парціального тиску кисню при оксинітруванні ($T_A = 850/950$ °С)

P_{O_2} , Па	Сплав			
	BT1-0	PT7M	BT20	BT6c
0,0001	А/БС	Б/ТЗ	Б/А	А/БС
0,001	БС/БС	Б/БС	Б/ТЗ	Б/БС
0,01	БС/БС	ЯЗ/БС	БЗ/БС	ЖГК/БС
0,1	Сг/Сг	Сг/Сг	Сг/Сг	СК/Сг
1	СГ/СГ	СГ/ЖК	СГ/СГ	К/СГ

Примітка: А – аквамаринове; БС – бузково-сіре; Б – бузкове; ТЗ – темно-золотисте; ЯЗ – яскраво-зелене; БЗ – блідо-зелене; ЖГК – жовтогарячо-коричнєве; Сг – світлий сіро-голубе; СК – світло-коричнєве; СГ – сіро-голубе; ЖК – жовто-коричнєве; К – коричнєве.

Візуальні спостереження корелюють з результатами рентгенівського фазового аналізу. Після оксинітрування за парціального тиску кисню 0,0001...0,001 Па процес утворення оксинітридів титану є превалюючим перед оксидоутворенням. Особливо яскраво це виражено у сплавах, оброблених за температури 950 °С. У цьому випадку на дифрактограмах рефлекси оксидної фази відсутні, а оксинітридна фаза представлена повним спектром дифракційних максимумів [(111), (200), (220), (311) і (222)] на фоні ліній α -титану зі збільшеними міжплщинними відстанями (рис. 2, з, д), що свідчить про формування перехідного шару твердого розчину елементів втілення в α -Ті, який відокремлює покриття від матриці. Крім цього, дифрактограми містять широкий спектр рефлексів нижчого нітриду титану Ti_2N . Це пов'язано з тим, що попередньо сформована нітридна зона, яку в подальшому модифікують киснем, складається з поверхневого шару δ -нітриду TiN_x , під яким розміщений ϵ -нітрид Ti_2N . Оскільки оксинітриди формуються на базі кубічної ґратки TiN_x , то зважаючи на схему оксинітрування і параметри цього процесу не відбувається ради-

кальних змін у шарах, розміщених ближче до матриці сплаву.

При збільшенні парціального тиску кисню до 0,01 Па оксинітридоутворення сповільнюється, про що свідчить зменшення інтенсивності дифракційних максимумів оксинітриду TiN_xO_{1-x} і їх кількості. В той же час інтенсивність оксидування зростає. Так, на поверхні титану, після оксинітрування ($T_A = 950^\circ C$) зароджується оксидна фаза, про що свідчить поява рефлексів оксиду титану TiO_2 (див. рис. 2, в). Поверхня сплавів ПТ7М та ВТ20 набуває більш вираженого бузково-сірого забарвлення на відміну від поверхні інших сплавів. Для титанових сплавів, оксинітрованих в умовах, коли $T_A=850^\circ C$, характерним є ширший спектр поверхневого забарвлення (див. табл. 1).

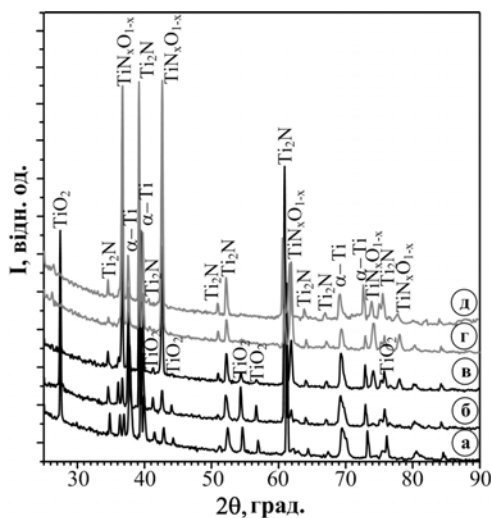


Рис. 2. Дифрактограми, зняті з поверхні технічно чистого титану ВТ1-0 після оксинітрування залежно від парціального тиску кисню (p_{O_2}): 1 Па (а), 0,1 (б), 0,01 (в), 0,001 (г), 0,0001 (д) ($T_A=950^\circ C$, $\tau_A = 5$ год, $p_{N_2} = 10^5$ Па)

Після оксинітрування за парціального тиску кисню 0,1...1 Па кисень приймає активну участь в окисненні нітриду титану. На поверхні титанових сплавів, оксинітрованих за парціального тиску кисню 0,1 Па, присутня оксидна плівка, в основному, сіро-голубого забарвлення. Зі збільшенням парціального тиску кисню до 1 Па забарвлення поверхні темнішає, що опосередковано вказує на формування товстішого оксидного шару. Окрім значної кількості рефлексів високої інтенсивності оксидної фази TiO_2 , на дифрактограмах, знятих з поверхні технічно чистого титану ВТ1-0 після оксинітрування, присутні слабкі рефлекси оксинітридної фази TiN_xO_{1-x} та широкий спектр ліній нижчого нітриду титану Ti_2N невисокої інтенсивності на фоні титанової матриці (див. рис. 2, а, б). Виключенням є титан, оксинітрований за парціального

тиску кисню 1 Па ($T_A=850^\circ C$). У цьому випадку на дифрактограмах присутні лише сліди оксинітридної фази на фоні широкого спектру рефлексів оксиду титану.

Після реалізації оксинітрування за парціального тиску кисню 1 Па на поверхні зразків титанових сплавів утворюється матово-вапняна оксидна плівка. Некогерентність структур, сформованих на поверхні оксиду та нітриду титану, відмінність їх фізичних властивостей, зокрема коефіцієнтів термічного розширення [10], і значна товщина оксидної плівки зумовлюють критичні залишкові напруження в поверхневих шарах. Наслідком цього є розтріскування і сколювання оксидної плівки. Зважаючи на це, прийшли до висновку, що парціальний тиск кисню ≥ 1 Па неприйнятний для оксинітрування.

Зі збільшенням парціального тиску кисню при оксинітруванні фазоутворення на поверхні титанових сплавів зміщується від оксинітридоутворення до оксидування (рис. 3). Так, після оксинітрування за парціального тиску кисню 0,0001...0,001 Па ($T_A = 950^\circ C$), коли оксинітридоутворення є домінуючим, формується двошарова плівка: поверхневий оксинітрид TiN_xO_{1-x} , під яким розміщений нижчий нітрид титану Ti_2N . За інших параметрів оксинітрування, коли оксидування активізується, поверхнева плівка містить три шари: внутрішній нітридний (Ti_2N), середній оксинітридний (TiN_xO_{1-x}) і зовнішній оксидний (TiO_2).

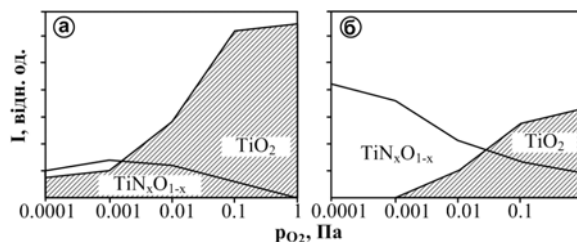


Рис. 3. Відносна інтенсивність дифракційних максимумів (110) фази TiO_2 та (111) фази TiN_xO_{1-x} на дифрактограмах, знятих з поверхні зразків технічно чистого титану ВТ1-0 після оксинітрування ($T_A = 850^\circ C$ (а) і $950^\circ C$ (б)), залежно від парціального тиску кисню p_{O_2} ($\tau_A = 5$ год, $p_{N_2} = 10^5$ Па)

Зміна вмісту в оксинітриді титану азоту (кисню) відображається на періоді a кубічної гранецентрованої ґратки оксинітриду титану [11, 12]. Зі зменшенням парціального тиску кисню у досліджуваному діапазоні ($T_A = 850^\circ C$) період ґратки оксинітриду, сформованого на поверхні технічно чистого титану ВТ1-0, збільшується від 0,4227 до 0,4240 нм чи від 0,4238 до 0,4242 нм ($T_A = 950^\circ C$). Тому із залежності періоду ґратки оксинітриду титану від вмісту азоту (кисню) [11] впливає, що зі зменшенням

парціального тиску кисню у вказаних межах вміст кисневої компоненти у складі оксинітриду титану зменшується, а його склад наближається до еквіатомного.

Зі зменшенням парціального тиску кисню, коли фазоутворення на поверхні зміщується в бік оксинітридоутворення, зростає поверхнева мікротвердість титанових сплавів (рис. 4). Рівень поверхневої мікротвердості титанових сплавів після оксинітрування за парціального тиску кисню 0,0001...0,01 Па залежить від складу сформованого на поверхні оксинітриду і зростає при наближенні його до еквіатомного. У цьому випадку спостерігається приріст поверхневої мікротвердості відносно відповідного азотування (так званий ефект оксинітрування ΔH).

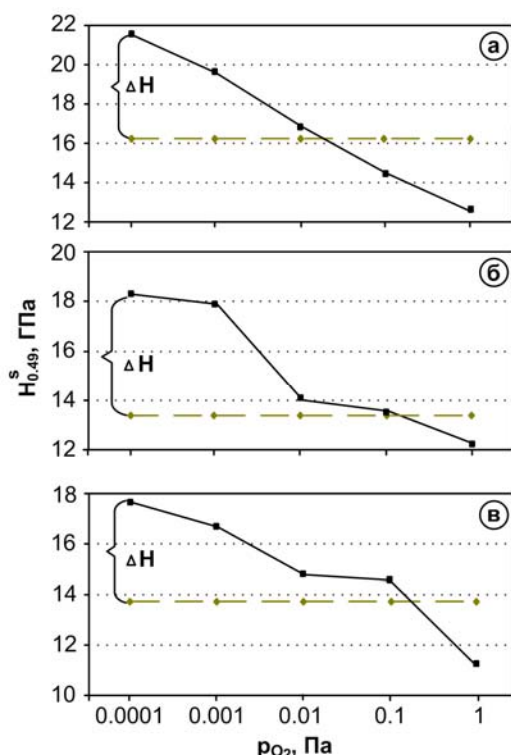


Рис. 4. Залежність поверхневої мікротвердості титанових сплавів ВТ1-0 (а), ПТ7М (б) та ВТ6с (в) від p_{O_2} за оксинітрування:

$$T_A = 950^\circ\text{C}, \tau_A = 5 \text{ год}, p_{N_2} = 10^5 \text{ Па}$$

(пунктир – поверхнева мікротвердість після відповідного азотування)

За парціального тиску кисню 0,1...1 Па рівень поверхневої мікротвердості визначає поверхнева оксидна плівка. Її якісні та кількісні характеристики суттєво впливають на інтегральне значення мікротвердості модифікованої поверхні. У даному діапазоні ефект оксинітрування істотно нижчий або взагалі відсутній.

Зі зниженням температури азотування до 850 °С діапазон, де спостерігається приріст по-

верхневої мікротвердості відносно відповідного азотування (ефект оксинітрування ΔH) звужується до 0,0001...0,001 Па (рис. 5).

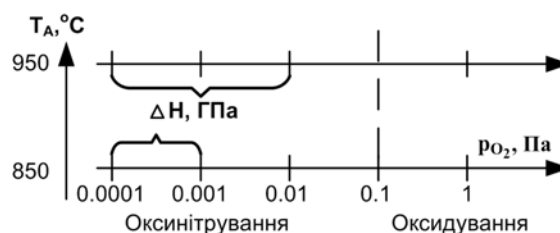


Рис. 5. Залежність ефекту оксинітрування від температури азотування та парціального тиску кисню

Таким чином, змінюючи параметри оксинітрування, можна керувати структурно-фазовим станом та рівнем поверхневого зміцнення оксинітридного шару. Зокрема, за збереження температурно-часових параметрів процесу модифікування киснем зі збільшенням параметрів азотування за нижчого парціального тиску кисню (0,0001 Па) вміст кисневої компоненти у складі оксинітриду титану, а за вищого (0,1 Па) вміст оксидної фази у поверхневих модифікованих шарах, зменшується. Відповідно, за збереження параметрів азотування зі збільшенням температурно-часових параметрів процесу модифікування киснем, навпаки, збільшується.

Таким чином, керуючи параметрами процесу оксинітрування, можна формувати регламентований структурно-фазовий стан поверхневих шарів, а саме, з оксидною і оксинітридною плівками на поверхні та нижчим рівнем поверхневого зміцнення (I) та з оксинітридною плівкою на поверхні та вищим рівнем поверхневого зміцнення (II) (рис. 6).

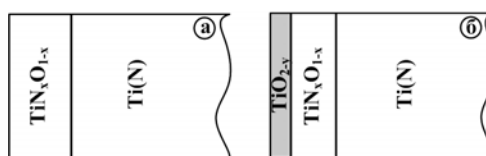


Рис. 6. Структурно-фазовий стан поверхневих шарів титану після оксинітрування:

- а) з оксидною та оксинітридною плівками (I);
- б) з оксинітридною плівкою (II)

Результати корозійних випробувань показали, що краща корозійна тривкість титану у хлоридній кислоті досягається за рахунок формування в процесі оксинітрування оксинітридної плівки складу наближеного до еквіатомного (II), а в сульфатній кислоті – шаруватой структури, до складу якої, окрім оксинітриду титану входить ще й оксидна фаза (I). Очевидно, це зумовлено впливом природи хімічного зв'язку між атомами у сполуках на основі титану, адже відомо, що як при переході від оксиду до нітриду титану, так і зі зменшенням вмісту кисневої компоненти у складі оксинітриду титану

доля іонного зв'язку між атомами цих сполук зменшується [13]. Сполуки із меншою долею іонного зв'язку між атомами забезпечують кращий антикорозійний захист титану у безкисневих середовищах, а, відповідно, із більшою долею – у кисневмісних середовищах.

Висновки

Показано, що зі зменшенням парціального тиску кисню p_{O_2} від 1 до 0,0001 Па при оксинітруванні фазоутворення на поверхні титанових сплавів зміщується від оксидування до оксинітридоутворення, а вміст кисню у складі оксинітриду титану зменшується. Це забезпечує збільшення поверхневої мікротвердості титанових сплавів від 11 до 22 ГПа.

Встановлено, що рівень поверхневої мікротвердості титанових сплавів після оксинітрування за парціального тиску кисню 0,0001...0,01 Па залежить від складу сформованого на поверхні оксинітриду і зростає при наближенні його до еквіатомного. У даному діапазоні парціального тиску кисню спостерігається ефект оксинітрування ΔH . За парціального тиску кисню 0,1...1 Па рівень поверхневої мікротвердості визначає поверхнева оксидна плівка. Зі зниженням температури азотування від 950 до 850 °С діапазон, у якому спостерігається ΔH , звужується до 0,0001...0,001 Па.

Розроблено алгоритм керування параметрами процесу оксинітрування, який дозволяє формувати як шарувате покриття, що містить оксидну та оксинітридну складові, так і покриття, яке формують оксинітриди складу близького до еквіатомного, забезпечуючи відповідно нижчий і вищий рівень поверхневого зміцнення.

Підтверджено вплив природи хімічного зв'язку сформованих сполук на їх антикорозійні характеристики в різного типу корозійних середовищах. Показано, що у водних розчинах хлоридної кислоти краща корозійна тривкість титану досягається за рахунок формування в процесі оксинітрування оксинітридної плівки складу наближеного до еквіатомного (із меншою долею іонного зв'язку між атомами сполуки), а в розчинах сульфатної кислоти – шаруватой структури, до складу якої входять оксинітрид та оксид титану (із більшою долею іонного зв'язку).

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. X-ray diffraction measurements of plasma-nitrided Ti-6Al-4V [Text] / S. L. R. da Silva [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 1999. – Vol. 116-119. – P. 342-346.
2. Abdolldhi, Z. Investigation of titanium oxide layer in thermal-electrochemical anodizing of Ti6Al4V alloy [Text] / Z. Abdolldhi, A. A. Ziaee M. and A. Afshar // Proc. of world academy of science, engineering and technology. – 2008. – Vol. 34. – P. 523-526.
3. Федірко, В. М. Азотування титану та його сплавів [Текст] / В. М. Федірко, І. М. Погрелюк. – К.: Наук. думка, 1995. – 221 с.
4. Dispersion of TiN in aqueous media [Text] / Jingxian Zhang [et al.] // J. of Colloid and Interface Science. – 2005. – Vol. 286. – P. 209-215.
5. Enhanced sputtering of titanium oxide, nitride and oxynitride thin films by the reactive gas pulsing technique [Text] / N. Martin [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2001. – Vol. 142-144. – P. 615-620.
6. Probst, J. Binary nitride and oxynitride PVD coatings on titanium for biomedical application [Text] / J. Probst, U. Gbureck, R. Thull // Surface and Coatings Technology. – 2001. – Vol. 148. – P. 226-233.
7. Structural evolution in ZrN_xO_y thin films as a function of temperature [Text] / L. Cunha [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2006. – Vol. 200. – P. 2917-2922.
8. Structural, optical and mechanical properties of coloured TiN_xO_y thin films [Text] / F. Vaz [et al.] // Thin Solid Films. – 2004. – Vol. 447-448. – P. 449-454.
9. Войтович, Р. Ф. Окисление карбидов и нитридов [Текст] / Р. Ф. Войтович. – К.: Наук. думка, 1981. – 192 с.
10. Гольдшмидт, Х. Дж. Сплавы внедрения [Текст] : в 2-х т. / Х. Дж. Гольдшмидт. – М.: Мир. – 1971. – Т. 1. – 424 с.; Т. 2. – 464 с.
11. Алямовский, С. И. Оксикарбиды и оксинитриды металлов IVA и VA подгрупп [Текст] / С. И. Алямовский, Ю. Г. Зайнулин, Г. П. Швейкин. – М.: Наука, 1981. – 144 с.
12. Соединения переменного состава и их твердые растворы [Текст] / Г. П. Швейкин [и др.]. – Свердловск: УНУ АН СССР, 1984. – 294 с.
13. Физико-химические свойства оксинитридов и карбонитридов титана [Текст] / Г. Д. Богомолов [и др.] // Неорганические материалы. – 1971. – т. 7, № 1. – С. 67-72.

Надійшла до редколегії 15.04.2011.

Прийнята до друку 27.04.2011.

Ю. С. ПРОЙДАК, А. В. РАБИНОВИЧ, Г. Н. ТРЕГУБЕНКО, Ю. А. БУБЛИКОВ,
Г. А. ПОЛЯКОВ, А. А. КАТРИЧ (НМетАУ, Днепропетровск), А. В. ПУЧИКОВ (ИЧМ
НАНУ, Днепропетровск)

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА И ЛИТЬЯ ИЗ СТАЛЕЙ С КАРБОНИТРИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ДЛЯ ВАГОНОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Розроблено склад та технологію виробництва сталей для вагонного литва і прокату. Рівень властивостей металлопродукції відповідає рекомендаціям Міжнародної конференції «Желдормашиностроение» (Щербинка, 29-30.06.2004), що досягнуто комплексним мікролегуванням базових сталей азотом, титаном й алюмінієм у співвідношеннях, які забезпечують формування рівномірно розподілених карбонітридних та нітридних наночастинок і стабільної дрібнозернистої структури (≥ 8 бал у литві та ≥ 9 бал у прокаті).

Ключові слова: сталь, литво, прокат, вагони

Разработаны состав и технология производства сталей для вагонного литья и проката. Уровень свойств металлопродукции отвечает рекомендациям международной конференции «Желдормашиностроение» (Щербинка, 29-30.06.2004). Это достигнуто комплексным микролегированием базовых сталей азотом, титаном и алюминием в соотношениях, обеспечивающих формирование равномерно распределенных карбонитридных и нитридных наночастинок и стабильной мелкозернистой структуры (≥ 8 балла в литье и ≥ 9 балла в прокате).

Ключевые слова: сталь, литье, прокат, вагоны

The composition and manufacturing technology for steel rolling and casting products for the new generation wagons are developed. The level of properties of metal production meets the recommendations of the International Conference “Zheldormashinostroenie” (Shcherbinka, 29-30.06.2004). This is achieved by a complex microalloying the base steels with nitrogen, titanium and aluminum in the ratios ensuring the formation of uniformly distributed carbonitride and nitride nanophases and stable fine-grained structure (≥ 8 points in the casting and ≥ 9 points in the rolling).

Keywords: steel, casting, rolling, wagons

Создание вагонов нового поколения требует применения сталей с повышенным уровнем эксплуатационных характеристик. Это относится не только к прочности и пластичности металла при испытаниях на разрыв, но и к ударной вязкости, в том числе при отрицательных температурах, к усталостным характеристикам и, соответственно, к надежности и долговечности конструкций [1].

С этой целью разработан новый класс углеродистых и низколегированных ферритоперлитных сталей с карбонитридным упрочнением на основе комплексного микролегиования азотом, титаном и алюминием (типа АТЮ) [2].

Термодинамическими расчетами показано и экспериментально подтверждено, что при концентрации азота и титана $\geq 0,01$ % мас. каждого в жидкой стали образуются нитриды титана, как показано на рис. 1, которые при кристаллизации выполняют роль инокуляторов и обеспечивают измельчение литого зерна [3].

Установлено экстремальное влияние титана на структуру, предел текучести и ударную вязкость литой стали, что определяется изменением количества и дисперсности образующихся

нитридов и карбонитридов, представленных на рис. 2.

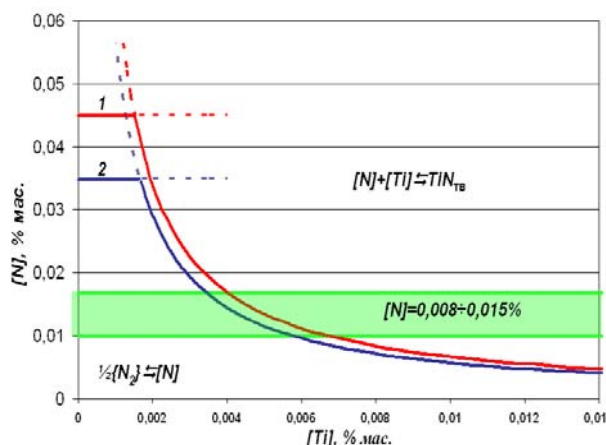


Рис. 1. Взаимодействие титана с азотом в жидкой стали при 1873 К:

- 1 – низколегированные стали с карбонитридным упрочнением;
- 2 – сталь 15ГСП;
- – реальные содержания азота в углеродистых и низколегированных электросталях

При оптимальной концентрации титана (0,015...0,025 % мас.) более 50 % его нитридов имеет наноразмеры ($\leq 1...2$ мкм). С ростом кон-

центрации выше 0,025 % увеличение количества выделений избыточной фазы достигается за счет более крупных карбонитридов, как правило, $\geq 5 \dots 7$ мкм, влияние которых на свойства литого металла менее значимо. Введение титана в оптимальных пределах позволяет регламентировать величину зерна нормализованного литья 8...9 баллом и экстремальные значения предела текучести и ударной вязкости, как показано на рис. 3.

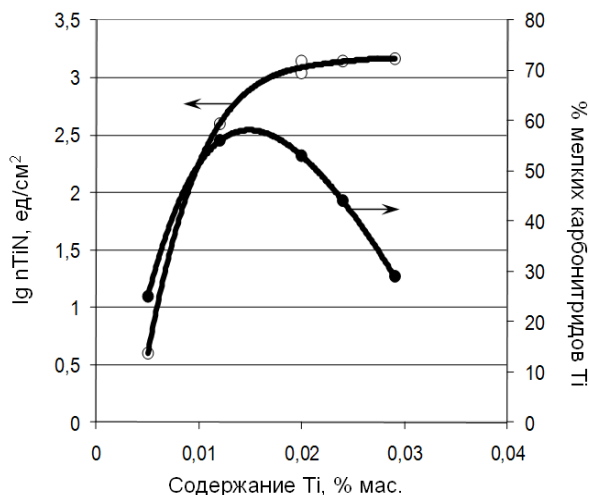


Рис. 2. Влияние концентрации титана на количество (n_{TiN} , ед/см²) и размер карбонитридов в стали 15ГСЛ

Благодаря ограничению верхнего предела концентрации титана в твердом растворе после кристаллизации сохраняется большее количество свободного азота, который при дальнейшем охлаждении взаимодействует с алюминием (0,02...0,06 % мас.) с образованием только нанонитридов размером 40...200 нм. При этом общее количество упрочняющих наночастиц возрастает до 2,5 раз.

Необходимый уровень концентрации азота определяется требованиями к свойствам литой и деформированной сталей и должен быть $\geq 0,009 \dots 0,010$ % мас. При легировании деформируемых сталей его содержание может превышать растворимость при температуре ликвидус (0,016 %, мас.). В этом случае, подобно полуспокойным сталям, в слитке формируется рассредоточенная усадочная раковина, которая полностью закатывается при сквозном обжиге более 7...10, что значительно меньше, чем реальное обжигание при производстве листа и фасонного проката для вагоностроения не только из слитка, но и из непрерывнолитой заготовки.

Таким образом, комплексное микролегирование азотом (0,010...0,025 %), титаном (0,015...0,030 %) и алюминием (0,02...0,06 %)

обеспечивает возможность влияния на размер зерна металла при кристаллизации и горячей прокатке ферритоперлитных сталей, их фазовую структуру и комплекс свойств литья и проката.

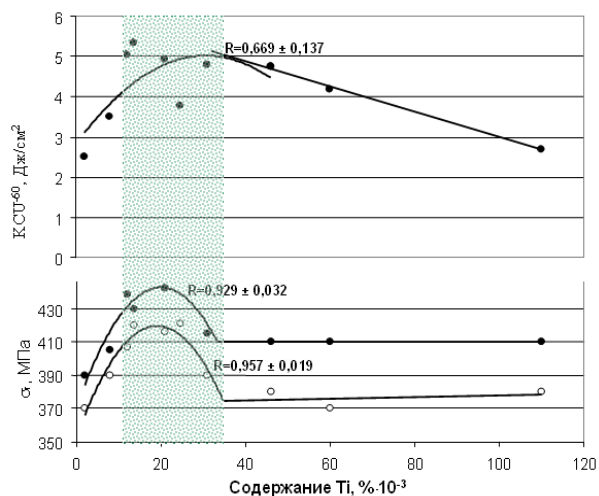


Рис. 3. Влияние содержания титана на предел текучести и ударную вязкость стали 15ГСЛ после нормализации (○ – цеховая т/о; ● – лабораторная т/о)

Что касается оптимальных концентраций марганца и кремния, отметим следующее. Измельчение зерна феррита при карбонитридном легировании позволяет существенно скомпенсировать охрупчивающее влияние кремния и соответственно снизить величину допустимого соотношения $[Mn]:[Si]$ до $\geq 0,5$. С одной стороны, это позволяет значительно увеличить концентрацию кремния при относительно высокой концентрации марганца и, тем самым, обеспечить больший уровень твердорастворной составляющей упрочнения, а с другой стороны, снизить концентрацию марганца с целью его экономии, при сохранении достаточно высокого содержания кремния и, соответственно, сохранении относительно высокой прочности.

Технология комплексного микролегирования сталей типа АТЮ для вагоностроения разработана и освоена в промышленных масштабах при производстве листа и фасонного проката в условиях ОАО «Металлургический завод им. Г. И. Петровского», колес – в условиях ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» и литья (тележек и автосцепки) – в условиях ОАО «Кременчугский сталелитейный завод». Механические свойства этой металлопродукции приведены в табл. 1, где также представлены данные по общемашиностроительному сортаменту (позиция 4–7). Как видим, их выплавка может осуществляться в любом металлургическом агрегате, но предпочтительной является элек-

троплавка, в которой благодаря насыщению стали азотом в зоне дуги резко снижает расход азотсодержащих материалов, а в определенных случаях можно вообще исключить их применение.

Стали типа АТЮ в сравнении с базовыми 20ХГНФТЛ и 10ХСНД имеют более высокий уровень механических свойств и значительно меньшую стоимость благодаря исключению дорогостоящих хрома, никеля и ванадия. При разливке стали в слитки типа «ПС» экономический эффект возрастает за счет увеличения вы-

хода годного металла на 10...12 % отн., что близко к условиям непрерывной разливки на заготовку.

Анализ данных табл. 1 показывает, что механические свойства литых рам и балок тележки из стали 20ГАТЮЛ (поз. 1) и проката из стали 15Г2САТЮЛ (поз. 2) отвечают полностью не только требованиям отраслевых стандартов 32.183-2001 и 32.153-2000, соответственно, но и рекомендациям международной конференции «Желдормашиностроение» (Щербинка, 29-30.06.2004).

Таблица 1

Основные показатели свойств сталей типа АТЮ

№ поз.	Марка стали	Содержание азота	Метод выплавки	Тип слитка	Вид профиля	Механические свойства			Ударная вязкость	
						$\sigma_{\text{т}}$, МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	КСУ ⁻⁴⁰ , Дж/см ²	КСУ ⁻⁶⁰ , Дж/см ²
1	20ГАТЮЛ	0,011-0,015	EF	Сп	Литые изделия	370-420	560-660	>25	-	60-110
2	15Г2САТЮЛ	0,010-0,012	EF	Сп	Швел. №14 Швел. №24 Лист $\delta=10$	480-500 425-430 440-455	630-640 625-630 605-610	22-29 28-29 22-26	79-103 34-50 40-59	51-75 50-72 30-33
3	Колесная 1	0,009-0,012	М	Сп	Колеса цельнокат.	-	1000-1040	10-16,5	39-63**	-
4	15САТЮ	0,008-0,015	LD	Сп	Фасонный прокат $\delta=8-10$ мм	370-385	500-512	31-33	115-142	75-120*
5	15САТЮ	0,016-0,025	LD	ПС	Фасонный прокат $\delta=8-10$ мм	390-441	559-578	30-32	120-142	80-140*
6	20АТЮ	0,018-0,020	EF	ПС	$\square 40$ $\varnothing 8$	323-372 421-453	430-480 586-597	36-43 34-41	135-167 -	68-119* -
7	35ГСАТЮ	0,016-0,025	LD, М	ПС	Шахтная крепь	470-520	680-780	21-25	50-80**	-

Примечание: EF – электродуговая печь; LD – конвертор (с верхней продувкой); М – мартеновская печь.

Сп – спокойный слиток; ПС – полуспокойный слиток.

* Испытания при -70°C ; ** Испытания при $+20^\circ\text{C}$

Одним из важнейших требований к литым элементам вагонов нового поколения является повышение их ресурса. Так, коэффициент запаса сопротивления усталости надрессорных балок тележек вагонов должен составлять $\geq 2,20$, а рам боковых $\geq 2,00$ против действующих нормативных требований к обоим элементам $\geq 1,80$. Независимо от возможных конструктивных решений этой задачи главным направлением, по нашему мнению, следует считать повышение усталостных характеристик стали, из которой изготавливается литье.

Сравнительные испытания на усталость гладких образцов стали 20ГЛ ($\delta_{\text{T}} = 360$ МПа) и идентичной по содержанию базовых элементов стали 20ГАТЮЛ ($\delta_{\text{T}} = 390$ МПа) при расчетной нагрузке $0,7 \delta_{\text{Tmin}}$ (255 МПа) и базе испытаний 10^7 циклов показали, что среднее число циклов до разрушения образцов опытного металла в 2,3 раза выше серийного. При этом 40 % испытанных образцов стали с КНУ выдержали 10^7 циклов без разрушения против 10 % у базового металла.

Усталостные испытания реальных литых элементов тележки из стали 20ГАТЮЛ, выполненные в институте УкрНИИВ и в ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, показали, что они отвечают приведенным выше требованиям к вагонам нового поколения.

При производстве колесной стали (табл. 1, поз. 3) установлено, что наиболее высокие значения прочности в сочетании с пластичностью и максимальной ударной вязкостью (до 63 Дж/см²) достигаются при наличии в структуре металла нитридов ванадия и алюминия.

Эксплуатационными годовыми испытаниями колесных пар из опытного металла в подвижном составе на замкнутом маршруте сложного профиля пути на участке Мурманск – Апатиты установлено, что износ одного из наиболее ответственных элементов колеса – гребня – уменьшился на 10 %, среднемесячный прокат опытных колес против серийных снизился на 40...50 %. Результаты эксплуатационных испытаний колес позволили сделать заключение о целесообразности выплавки стали с нитридным (карбонитридным) упрочнением и разработать нормативный документ ТУ 14-15-281-92 «Колеса повышенной прочности из стали с карбонитридным упрочнением».

В результате выполненных исследований показано, что микролегирование азотом, титаном и алюминием серийных низколегирован-

ных сталей, применяемых в настоящее время в вагоностроении (например, 09Г2Д, 20ГЛ), позволяет значительно улучшить их механические и эксплуатационные свойства и обеспечить выполнение требований, предъявляемых к перспективным материалам для вагонов нового поколения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекомендации участников Межд. конф. «Развитие транспортного машиностроения в России» «Желдормашиностроение – 2004», экспериментальное кольцо ВНИИЖТ (г. Щербинка) 29-30 июня 2004 г. [Текст]. – М.: АНО «Центр содействия развитию транспортной науки», 2004. – 26 с.
2. Разработка состава и технологии производства экономичных конструкционных сталей с карбонитридным упрочнением [Текст] / А. В. Рабинович [и др.] // «Сучасні проблеми металургії»: наук. пр. НМетАУ. – Т. 3. – Д.: Системні Технології, 2001. – С. 64-67.
3. Влияние микродобавок титана на структуру и свойства литых электросталей [Текст] / А. В. Рабинович [и др.] // Журнал НМетАУ «Теория и практика металлургии». – Д., 2010. – № 5-6. – С. 60-64.

Поступила в редколлегию 19.04.2011.

Принята к печати 26.04.2011.

Ю. Г. ЧАБАК, В. Г. ЕФРЕМЕНКО, Р. Р. СТАНИШЕВСКИЙ (Приазовский государственный технический университет, Мариуполь)

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В КОМПЛЕКСНОЛЕГИРОВАННОМ БЕЛОМ ЧУГУНЕ ПРИ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩЕМ НАГРЕВЕ

Наведено дані щодо кінетики виділення дисперсних карбідів і твердості високохромистого білого чавуну в процесі дестабілізуючої термічної обробки.

Ключові слова: чавун, аустеніт, дестабілізація, дифузія, вторинні карбіди, твердість

Приведены данные относительно кинетики выделения дисперсных карбидов и твердости высокохромистого белого чугуна в процессе дестабилизирующей термической обработки

Ключевые слова: чугун, аустенит, дестабилизация, диффузия, вторичные карбиды, твердость

The data concerning the kinetics of secondary carbides precipitation and hardness of high-chromium white cast iron during destabilization are presented.

Keywords: cast iron, austenite, destabilization, diffusion, secondary carbides, hardness

Белые чугуны с высоким содержанием хрома широко применяются для изготовления быстоизнашиваемых деталей и рабочих органов, которые эксплуатируются в условиях интенсивного абразивного, абразивно-коррозионного, эрозийного изнашивания [1 – 3]. При легировании чугунов марганцем, никелем, молибденом в литой структуре чугунов сохраняется до 100 % аустенита, кристаллизующегося из жидкости, который называют первичным (первородным) [4]. Первичный аустенит пересыщен углеродом и карбидообразующими элементами, а поэтому находится в термодинамически неустойчивом состоянии. При нагреве до определенных температур из аустенита происходит выделение дисперсных вторичных карбидов, что влияет на положение мартенситной точки и соотношение фаз в металлической матрице после охлаждения от температуры выдержки. Такая термическая обработка чугуна в зарубежной литературе называется дестабилизацией (destabilization) [5, 6]. Влияние дестабилизирующей термической обработки на микроструктуру и свойства высокохромистых чугунов, легированных комплексом Mn-Ni-Mo, изучено в недостаточной степени.

Целью данной работы являлось определения влияния температурно-временных параметров высокотемпературной дестабилизации на кинетику выделения вторичных карбидов из первородного аустенита и конечную микроструктуру чугуна 270X15Г2Н1МФТ.

Исследовали чугун следующего химического состава: в масс. %: 2,70 C; 2,20 Mn; 0,55 Si; 14,55 Cr; 0,93 Ni; 0,39 Mo; 0,38 V; 0,11 Ti. Дестабилизацию литых образцов (размерами 10x10x2 мм) проводили при температурах 800,

850, 900, 950, 1000, 1050 и 1100 °C с выдержкой от 30 с до 6 ч. После выдержки образцы охлаждали на спокойном воздухе. Для контроля температуры в процессе выдержки к образцу приваривали хромель-алюмелевую термопару. Колебания температуры во время выдержки не превышали ± 10 °C. Микроструктуру исследовали с помощью микроскопа «Axiovert 40 MAT» при увеличениях до 1000 раз. В работе использовали измерение твердости по методу Роквелла.

Было установлено, что выдержка литого чугуна при выбранных температурах приводит к существенным изменениям в его структурно-фазовом состоянии, что выразилось в появлении значительного количества вторичных карбидов и мартенсита. С развитием распада первородного аустенита фиксировали постепенное повышение мартенситной точки M_n чугуна от 110...130 °C до 270...300 °C, что сопровождалось увеличением доли мартенсита в структуре с соответствующим ростом твердости (рис. 1). Полученные результаты свидетельствовали о том, что по изменению твердости чугуна можно судить о кинетике выделения вторичных карбидов.

По кривым зависимости твердости от продолжительности дестабилизирующей выдержки было установлено, что выделение вторичных карбидов описывается S-образной кривой с «носом», соответствующим 950 °C. При этой температуре первые изменения микроструктуры и твердости наблюдаются уже после 10 с выдержки, а процесс выделения, в основном, завершается в течение 80 мин. Твердость чугуна возрастает от 45 HRC в литом состоянии до 63...64 HRC после 2,5 ч выдержки, что являет-

ся следствием увеличения доли мартенсита в структуре металлической матрицы.

Выдержка в течение 4...6 ч приводит к некоторому снижению твердости дестабилизированных чугунов, причем в наибольшей степени – при 1050 °С.

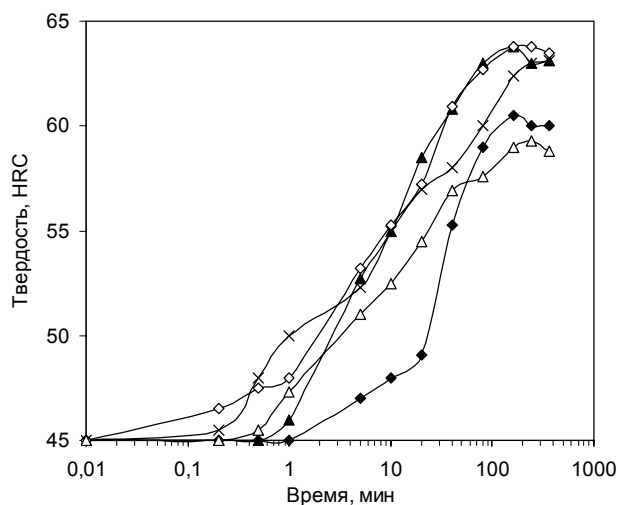


Рис. 1. Влияние продолжительности выдержки на твердость чугуна:
◆ – 800 °С; ▲ – 900 °С; ◇ – 950 °С;
× – 1000 °С; △ – 1050 °С

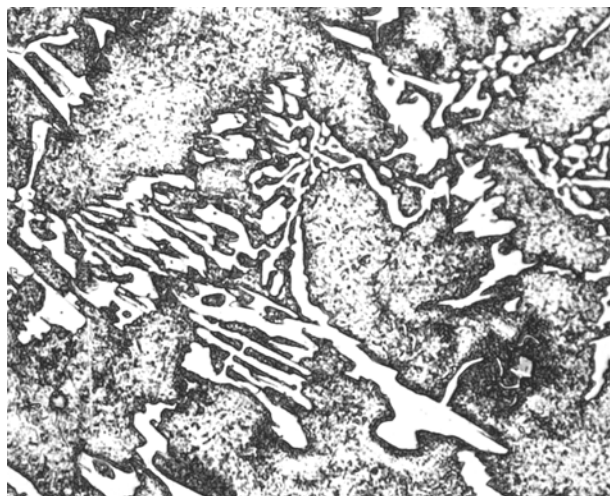
Температура выдержки оказывает влияние на характер выделения и размеры вторичных карбидов из аустенита. При 800...1000 °С распад пересыщенной γ -фазы начинается в областях, непосредственно примыкающих к эвтектическим карбидам: в течение 5...10 мин возникает своеобразная темная «оторочка», в которой ввиду малого размера отдельные карбидные частицы не разрешаются в световой микроскоп. Аналогичные зоны потемнения возникают и внутри эвтектических колоний (рис. 2, а).

По мере увеличения выдержки при 800...900 °С распад развивается в направлении от эвтектических карбидов к центру дендритов (рис. 2, б). После 6 ч выдержки матрица приобретает практически однородный темный цвет, обусловленный выделением большого числа дисперсных карбидных частиц, что приводит к усиленной травимости матричный участков.

При 950 °С распада поначалу развивается путем образования однородной темной «оторочки», однако уже после 20 мин выдержки можно различить отдельные вторичные карбиды, некоторые из них имеют вытянутую форму (рис. 3, а). Становится видно, что вторичные карбиды выделяются внутри дендритов вдоль определенных кристаллографических направлений.



а)



б)

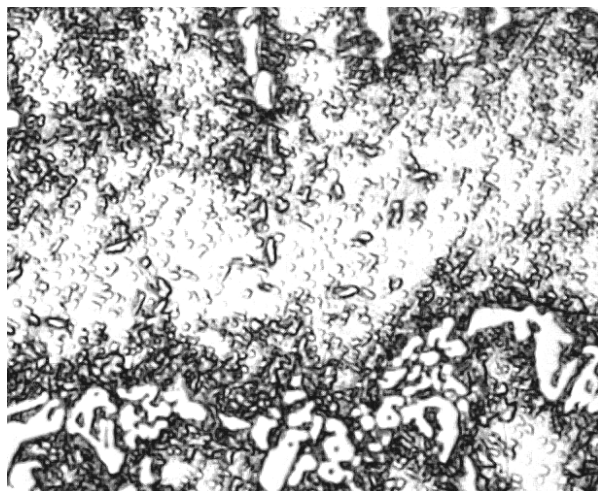


в)

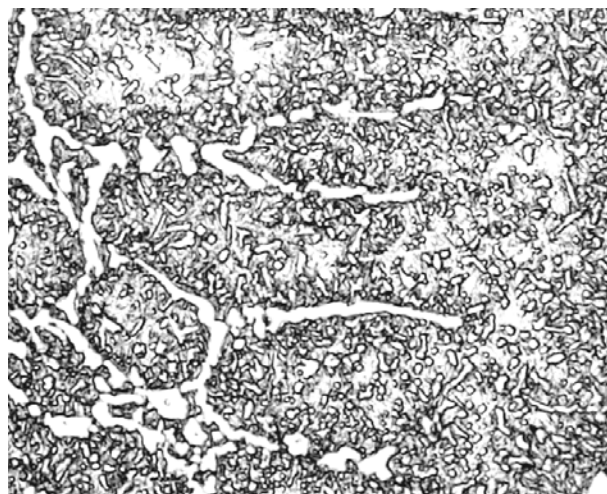
Рис. 2. Микроструктура чугуна в процессе выдержки при 800 °С:
а – 10 мин; б – 80 мин; в – 6 ч (×1000)

По мере дальнейшей выдержки при 950 °С распад аустенита идет параллельно с укрупнением частиц за счет их коалесценции; спустя 6 ч после начала дестабилизации в структуре

практически не остается дисперсных вторичных карбидов, а оставшиеся крупные карбиды равномерно распределены в объеме дендритов (рис. 3, б).



а)



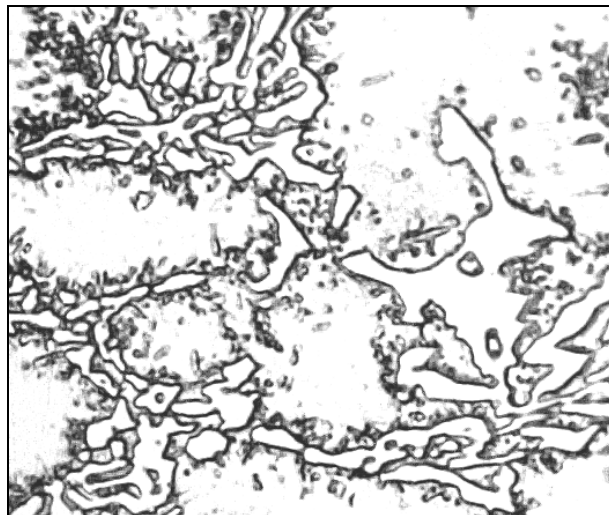
б)

Рис. 3. Микроструктура чугуна после выдержки при 950 °С: а – 20 мин; б – 6 ч ($\times 1000 \times 2$)

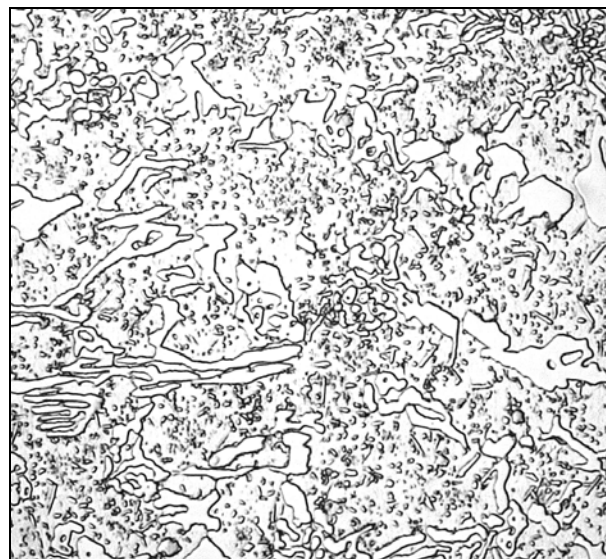
При более высокой температуре (1000 °С) распад минует стадию возникновения темной однородной «оторочки» вокруг эвтектических карбидов: по контуру эвтектических колоний сразу начинают формироваться отдельные разрешаемые в световой микроскоп включения карбидов (рис. 4, а). Интенсивное протекание коалесценции при этой температуре приводит к тому, что уже после 80 мин выдержки в структуре отсутствует преимущественное скопление вторичных карбидов по периферии эвтектики: они равномерно распределены в пределах дендритных областей (рис. 4, б).

Выдержка при 1050 °С с самого начала распада приводит к формированию крупных вторичных карбидов, среди которых преобладают

вытянутые включения. Количество вторичных карбидов меньше, чем при более низких температурах дестабилизации, они быстрее приобретают максимальный размер. Для этой температуры характерны некоторая стабилизация аустенита к распаду, увеличение его количества в закаленном состоянии и, как следствие, снижение твердости до 59 HRC.



а)



б)

Рис. 4. Микроструктура чугуна после выдержки при 1000 °С: а – 5 мин ($\times 1000 \times 2$); б – 80 мин ($\times 1000$)

Полученные результаты показывают, что повышение температуры дестабилизации от 800 до 950 °С интенсифицирует процесс выделения вторичных карбидов из первородного аустенита. Это объясняется увеличением диффузионной подвижности атомов карбидообразующих элементов, участвующих в формировании специальных карбидов. Выдержка при 1000 °С еще более повышает диффузию атомов

в аустените, однако процесс выделения несколько замедляется и не достигает полноты завершения, характерной для 950 °С. В этом случае проявляется рост растворимости углерода в γ -фазе под влиянием повышения температуры, что особенно заметно проявляется при 1100 °С.

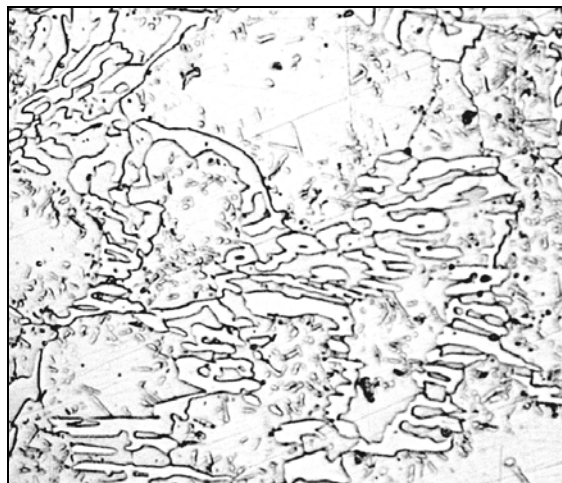


Рис. 5. Микроструктура чугуна после выдержки в течение 5 мин при 1050 °С ($\times 1000$)

Таким образом, изменение кинетики выделения вторичных карбидов из первородного аустенита высокохромистого чугуна при увеличении температуры дестабилизации определяется конкурирующим влиянием двух факторов - роста диффузионной подвижности атомов хрома и увеличения растворимости углерода в аустените. Суперпозиция этих факторов дает максимум скорости выделения вторичных карбидов при 950 °С.

На процесс выделения вторичных карбидов накладывается их коалесценция, также контролируемая скоростью диффузии карбидообразующих элементов. Этим можно объяснить снижение дисперсности карбидных частиц по мере роста температуры дестабилизации, особенно на начальных стадиях распада.

Выводы

1. Дестабилизирующая термическая обработка литого чугуна 270X15Г2Н1МФТ при 800...1050 °С приводит к распаду первородного аустенита с образованием большого количества вторичных карбидов. Это вызывает обеднение аустенита углеродом и легирующими элемен-

тами, рост точки M_n от 110...130 °С до 270...300 °С, появление мартенсита закалки в структуре при охлаждении от температуры дестабилизации.

2. Твердость чугуна в результате дестабилизации возрастает от 45 до 63...64 HRC (максимум). Уровень твердости, достигаемый при дестабилизации, определяется температурой и длительностью выдержки, т.е. полнотой выделения углерода и карбидообразующих элементов из первородного аустенита при его распаде.

3. Влияние температуры дестабилизации на кинетику выделения вторичных карбидов в высокохромистом чугуне проявляется в конкурирующем воздействии диффузионного фактора и роста растворимости углерода в аустените. Для чугуна 270X15Г2Н1МФТ кинетический максимум выделения вторичных карбидов соответствует 950 °С.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высокохромистый чугун как материал для быстроизнашиваемых деталей машин [Текст] / О. С. Комаров [и др.] // Литейное производство. – 2008. – № 2. – С. 2-4.
2. Кириевский, Б. А. Хромистые чугуны. Перспективы совершенствования их структуры и свойств [Текст] / Б. А. Кириевский, Т. К. Изюмова // Процессы литья. – 1993. – № 4. – С. 115-124.
3. Жуков, А. А. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов [Текст] / А. А. Жуков, Г. И. Сильман, М. С. Фрольцов. – М.: Машиностроение, 1984. – 104 с.
4. Цыпин, И. И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства [Текст] / И. И. Цыпин. – М.: Металлургия, 1983. – 176 с.
5. Karantzalis, A. E. Effect of Destabilization Heat Treatments on the Microstructure of High-Chromium Cast Iron: A Microscopy Examination Approach [Text] / A. E. Karantzalis, A. Lekatou, E. Diavati // J. of Materials Engineering and Performance. – 2009. – V. 18, Is. 8. – P. 1078-1085.
6. Kootsookos, A. The Role of Secondary Carbide Precipitation on the Fracture Toughness of a Reduced Carbon White Iron [Text] / A. Kootsookos, J. D. Gates // Materials Science and Engineering. – 2008. – V. 490, Is. 1-2. – P. 313-318.

Поступила в редколлегию 06.05.2011.

Принята к печати 19.05.2011.

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПОСЛУГ, ЩО НАДАЮТЬСЯ ПАСАЖИРСЬКИМИ ВИДАМИ ТРАНСПОРТУ

Робота присвячена теоретико-методичному підходу до визначення конкурентоспроможності різних видів пасажирського транспорту з урахуванням їх негативного впливу на довкілля та утримання власної інфраструктури.

Ключові слова: конкурентоспроможність пасажирського транспорту, інтенсивність конкуренції, пасажирообіг

Работа посвящена теоретико-методическому подходу к определению конкурентоспособности разных видов пассажирского транспорта с учетом их негативного влияния на окружающую среду и содержания собственной инфраструктуры.

Ключевые слова: конкурентоспособность пассажирского транспорта; интенсивность конкуренции; пассажирооборот

The work is devoted to theoretical and methodological approach to determining the competitiveness of different types of passenger transport, taking into account their impact on the environment and the content of their own infrastructure

Keywords: competitiveness of public transport, the intensity of competition; passenger turnover

Вступ

Пасажирські перевезення є послугою, які надаються різними видами транспорту. Кожний з видів транспорту має на ринку пасажирських послуг свою нішу відповідно до умов ринку,

вартості та якості перевезень. Перевезення пасажирів між різними видами транспорту розподіляється на ринку транспортних послуг наступним чином.

Таблиця 1

Відправлення (перевезення) пасажирів за видами транспорту, млн пас.

Вид транспорту	Роки										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Залізничний	499	468	465	477	452	446	448	447	445	426	427
Автомобільний	2557	2722	3069	3297	3720	3837	3988	4173	4369	4014	3719
Міський	4717	4459	4168	3926	3809	3901	3789	3579	3502	2822	2678
Морський	4	5	5	7	10	11	11	8	7	6	6
Річний	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Авіаційний	1	1	2	2	3	4	4	5	6	5	6
Усі види транспорту	7780	7657	7711	7711	7996	8201	8242	8214	8331	7275	6838

З табл. 1 випливає, що на протязі 11 років між окремими видами транспорту точиться боротьба за збільшення своєї частки на ринку транспортних послуг, але не всі вони досягають встановленої мети. Тільки два види транспорту досягли зростання обсягів своїх послуг – це автомобільний, що зайняв на ринку транспортних послуг найбільшу нішу, та авіаційний, який в п'ять разів збільшив свої об'єми перевезень.

Аналогічна картина на ринку між видами перевезень за пасажирооборотом (табл. 2). Знову автомобільний транспорт витіснив з першого місця залізничний транспорт, а авіаційний транспорт у 2008 році в 6,35 рази збільшив свої обсяги перевезень та випередив міський транспорт, який дуже зменшив свої обсяги перевезень в основному за рахунок неврахування значної долі перевезень маршрутними таксі.

Таблиця 2

Пасажирооборот за видами транспорту, млрд пас.-км

Вид транспорту	Роки										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Залізничний	51,8	49,7	50,5	52,6	51,7	52,7	53,2	53,1	53,1	48,3	50,0
Автомобільний	28,8	31,0	35,8	40,1	47,5	52,5	54,0	56,1	61,3	55,2	52,1
Міський	30,7	30,2	28,3	24,6	23,8	24,4	23,7	22,2	21,7	17,4	16,6
Морський	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Річний	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Авіаційний	1,7	1,8	2,5	3,8	5,5	6,1	8,3	9,3	10,8	9,0	11,0
Усі види транспорту	113,1	112,8	117,2	121,2	128,5	135,8	139,3	140,9	147,0	130,0	129,8

Далі постає питання, чи можна за показниками табл. 1 та 2 визначати конкурентоспроможність кожного з видів транспорту. На це питання можна чітко відповісти – ні, оскільки не всі види пасажирських перевезень знаходяться в однакових ринкових умовах.

По-перше, не усі види пасажирського транспорту провели реформування та пристосувалися до умов сучасного ринку. Залізничний транспорт лише почав реформування, але знаходиться у самих незручних умовах, оскільки тарифи на перевезення пасажирів залізничним транспортом є соціально спрямовані і затверджуються Урядом. В той же час державний та місцеві бюджети країни не повністю компенсують перевезення пільгової категорії громадян.

По-друге, Уряд країни не закупляє для Укрзалізниці рухомий склад, як це передбачено Законом «По залізничний транспорт». А якщо

закупляє, то виконує це без достатнього економічного обґрунтування. У якості прикладу можна сказати про закупівлю поїздів корейського виробництва для Євро 2012, які значно дорожче ніж вагони вітчизняного виробництва Україна-2 та електровоз ДС-3.

По-третє, залізничний транспорт самостійно утримує свою інфраструктуру (залізничні колії, мости, станції, лінії автоблокування, СЦБ, зв'язок та інше), в той же час автомобільний транспорт не утримує автомобільні дороги і за рахунок цього знаходиться у вигідних умовах.

По-четверте, Уряд країни не дозволяє адекватно зростанню цін на паливо, електроенергію та матеріали підвищувати тарифи на залізничні перевезення пасажирів. Завдяки цьому збитковість пасажирських залізничних перевезень у дальньому та приміському сполученні постійно зростає.

Постановка задачі

На основі сказаного вище виникає питання – як можна оцінювати конкурентоспроможність видів транспорту з урахуванням перспективи його розвитку, шкідливих викидів у зовнішнє середовище, кількості аварій, смертності, травматизму та технологічних заторів, ціни послуги, ритмічності, та швидкості руху, якості наданих послуг, інвестиційної привабливості та долі, яку будь-який вид транспорту займає на ринку транспортних послуг?

Результати

Спочатку слід визначити, скільки показників необхідно включати в узагальнюючий показник конкурентоспроможності. Наприклад, у США з 1968 по 1984 рік використовувався чотирьохчастковий показник, за допомогою якого визначалася конкуренція в окремій галузі [1, с. 40].

$$CR_4 = \sum_{i=1}^4 V_i / V_p \leq 0,75, \quad (1)$$

де V_i – обсяг продаж продукції (послуг) даної асортиментної групи i -ою фірмою, $i = 1, 2, 3, 4$;

V_p – об'єм ринку даної асортиментної групи продукції (послуг).

Якщо значення CR_4 більше за 0,75, то уряд впроваджував обмеження на об'єднання фірм. Такий же показник використовувався в Німеччині, Англії та Канаді.

Починаючи з 1984 року в США запроваджено індекс Херфіндала-Хершмана (IХХ), який визначався за формулою (2):

$$I_h = \sum D_i^2, \quad (2)$$

де D_i – частка на ринку i -тої фірми.

Якщо I_h більше за 0,18, то мова іде про низьку конкуренцію та високу концентрацію ринку, що потребує негайного втручання уряду для нормалізації ситуації на ринку.

Більшу кількість факторів конкурентної боротьби враховує узагальнюючий показник інтенсивності конкуренції, який визначається за формулою (3):

$$U_k = \sqrt[3]{U_p U_d U_T}, \quad 0 \leq U_k \leq 1 \rightarrow \min, \quad (3)$$

де U_p – показник інтенсивності конкуренції, враховує рентабельність ринку;

U_d – показник інтенсивності конкуренції, що враховує частки конкурентів на даному ринку;

U_T – показник інтенсивності конкуренції, що враховує темпи росту об'ємів продажу.

Розрахунок сили конкуренції на конкретному товарному ринку дозволяє визначити його форму та зробити аналіз у відповідності до рекомендацій, наведених у табл. [1, табл. 1.1].

Але ці фактори, на наш погляд, не зовсім відображають ситуацію на ринку транспортних послуг, оскільки не враховують відношення до певного виду перевезень самого перевізника, Уряду країни та пасажирів (рис. 1).

Уряд мусить розвивати в першу чергу ті види транспорту, які:

- менш наносять шкоди навколишньому середовищу, здоров'ю громадян та потребують менше коштів на боротьбу з їх усуненням;

- менш впливають на техногенну обстановку у місті (технологічні пробки, швидкість поїздки усіх видів транспорту;

- мають соціальну спрямованість;

- потребують менше коштів на їх субсидування;

- потребують менше інвестицій на розвиток з урахування вартості землі на їх розвиток.

Погляди перевізників пасажирів зовсім інші. Їх насамперед турбують економічні питання:

- рентабельність перевезень на ринку транспортних послуг;

- доля ринка, яка дозволяє отримувати максимальні прибутки;

- отримання дотацій від Уряду, що дозволить підвищити ефективність перевезень;

- зростання обсягів перевезень з мінімальними витратами на захват ринку.

Погляди пасажирів стосуються забезпечення його потреб з найбільшим задоволенням, а це насамперед такі чинники:

- ціна послуги, яка стимулює пасажирів пересідати з одного виду транспорту на інший;

- ритмічність перевезення пасажирів, оскільки автомобільний ринок саме цим приваблює пасажирів при виборі перевізника;

- якість перевезень, яка суттєво впливає на вибір виду транспорту;

- швидкість поїздки, першочергово впливає на вибір виду транспорту;

- зручність та термін поїздки пасажирів до місця отримання послуги та повернення до дому;

- термін та зручність очікування поїздки;
- безпечність поїздки для життя пасажирів.

Практичні дослідження показали, що пасажирів звертають в першу чергу увагу на ціну, швидкість та безпеку перевезень.

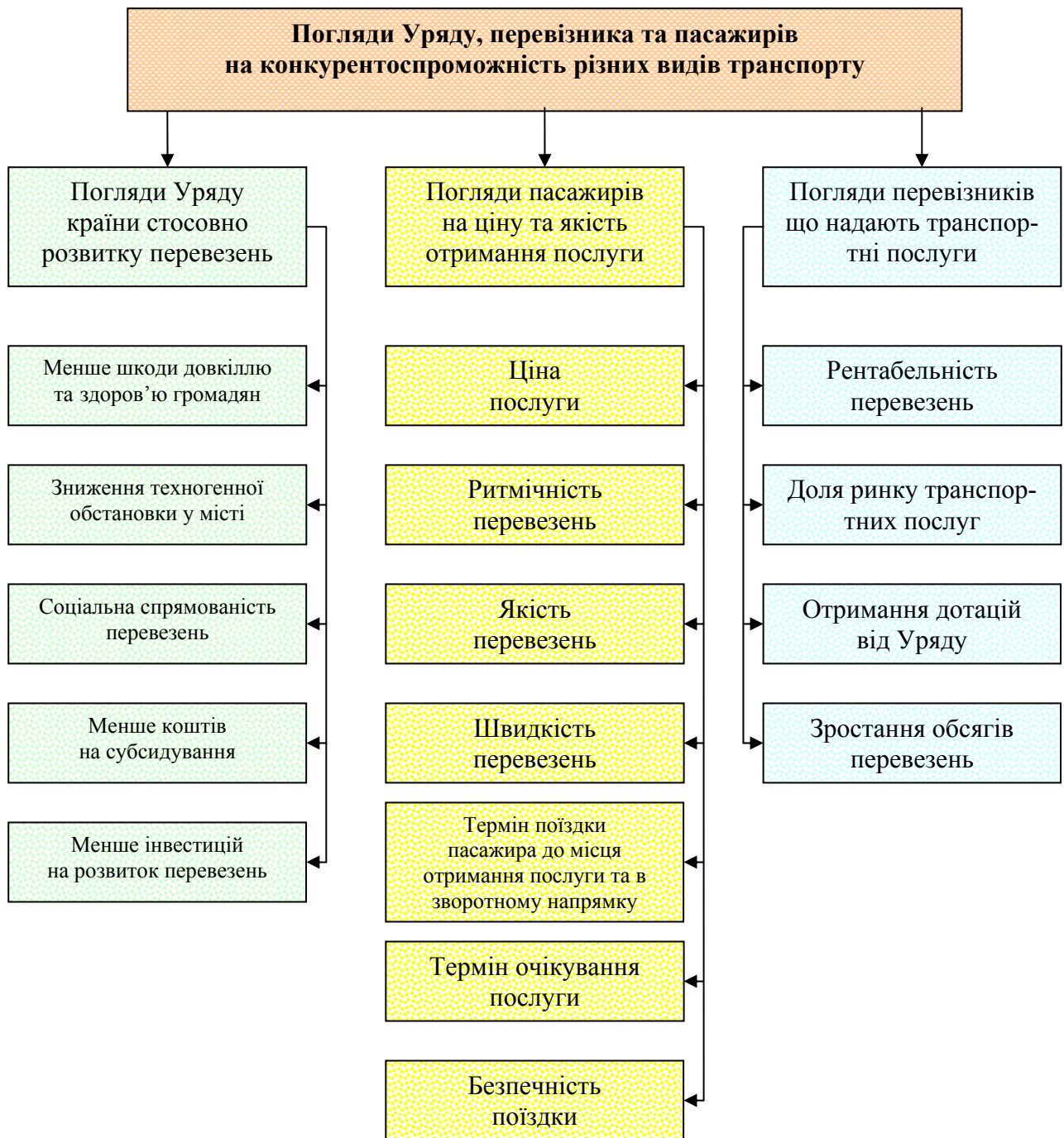


Рис. 1. Погляди Уряду, перевізників та пасажирів стосовно конкурентоспроможності різних видів транспорту

З урахуванням сказаного вище слід розробити економічний критерій за яким слід визначати конкурентоспроможність будь-якого виду транспорту.

Висновки

В роботі розроблено новий теоретико-методичний підхід до визначення конкурентоспроможності пасажирських послуг, що надаються будь-якими видами транспорту на ринку транспортних перевезень, з урахуванням показників інтенсивності конкуренції, що враховують:

- шкоду, яку даний вид транспорту завдає довкіллю та здоров'ю людей;
- необхідність вкладання інвестицій на розвиток даного виду транспорту;
- рентабельність перевезень даного виду транспорту на ринку;
- долю ринку, яку займає даний вид транспорту;

- темпи зростання обсягів перевезень даного виду транспорту на ринку;

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Фатхутдинов, Р. А. Управление конкурентоспособностью организации [Текст] : учеб. пособие / Р. А. Фатхутдинов. – М.: Изд-во «Эксмо», 2004. – 544 с.
2. INFRAS/IWW 2000: External Costs of Transport: Accident, Environmental and Congestion Costs of Transport in Western Europe [Text]. – Zurich/ Karlsruhe, 2000.
3. INFRAS/IWW 2004: External Costs of Transport: Update Study. Final Report [Text]. – Zurich/ Karlsruhe, 2004.

Надійшла до редколегії 16.05.2011.

Прийнята до друку 24.05.2011.

Н. В. БАЧАЛ (Національна академія державного управління при Президентові України, Київ)

САМОРЕГУЛЮВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧАСНИКІВ ФОНДОВОГО РИНКУ: СУТНІСТЬ, ЦІЛІ Й ПРИНЦИПИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ

Обґрунтовано доцільність запровадження саморегулювання як найважливішого елемента реалізації загальної стратегії оптимізації державного втручання в економіку. Розкрито сутність, цілі й принципи запровадження саморегулювних організацій учасників фондового ринку. Висвітлено переваги й недоліки саморегулювання.

Ключові слова: стратегія оптимізації державного втручання в економіку, учасники фондового ринку, переваги й недоліки саморегулювання, саморегулювні організації

Обоснована целесообразность внедрения саморегулирования как важнейшего элемента реализации общей стратегии оптимизации государственного вмешательства в экономику. Раскрыты сущность, цели и принципы внедрения саморегулирующихся организаций участников фондового рынка. Освещены преимущества и недостатки саморегулирования.

Ключевые слова: стратегия оптимизации государственного вмешательства в экономику, участники фондового рынка, преимущества и недостатки саморегулирования, саморегулирующиеся организации

The expediency of introduction of self-regulation as most important element of realization of the general strategy of optimization of the state intervention in economy is proved. The essence, the purposes and principles of introduction of the self-regulatory organizations of stock exchange market participants are shown. Advantages and demerits of self-regulation are presented.

Keywords: strategy of optimization of state intervention in economy, stock exchange market participants, advantages and demerits of self-regulation, self-regulatory organizations

Постановка проблеми

В умовах загострення кризових явищ, які спостерігаються нині в Україні, актуалізується завдання знаходження адекватних засобів забезпечення державного впливу на розвиток визначальних сфер економіки, до числа яких відноситься фондовий ринок.

Становлення моделі регулювання вітчизняного фондового ринку передбачає визначення чітких і прийнятних для всіх його учасників норм поведінки та формування відповідних інститутів, які могли б гармонізувати підприємницький і суспільний інтерес. Досвід багатьох зарубіжних країн засвідчує, що таким вимогам відповідають саморегулювні організації (СРО) професійних учасників фондового ринку. Саморегулювання дозволяє учасникам ринку самостійно розробляти правила і стандарти своєї діяльності, створювати системи контролю за їх дотриманням і механізми захисту прав споживачів, сприяти прозорості ведення бізнесу, зменшувати ризики правопорушень і злочинності у відповідній сфері відносин. Водночас діяльність СРО сприяє підвищенню регуляторної діяльності держави, а відтак слугує засобом

оптимізації державного впливу на розвиток фондового ринку.

Це актуалізує необхідність розробки концептуальних засад забезпечення державної підтримки створенню і функціонуванню саморегулювних організацій фондового ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз стану наукових розробок у вітчизняних і зарубіжних джерелах з цієї проблематики свідчить, що на сьогодні створено підґрунтя для визначення пріоритетів та запровадження доцільних засобів такого управлінського впливу. Проблеми розвитку саморегулювних організацій фондового ринку розглядаються в роботах П. Крюкової, В. Обидєнова, Є. Павлодського, С. Румянцева, О. Сафронової, А. Шаститко та інших. Проте недостатньо висвітлено ними переваги й недоліки впровадження саморегулювання, а також перспективи розвитку СРО фондового ринку з урахуванням сучасних реалій господарського життя України.

Формулювання цілей статті

Ціллю статті є дослідження останніх тенденцій на фондовому ринку в контексті пошу-

ку нових ефективних підходів у здійсненні політики держави в зазначеній сфері.

Виклад основного матеріалу

Під **фондовим ринком** в сучасній науковій літературі розуміють частину фінансового ринку як систему економічних відносин з приводу випуску, розміщення, купівлі-продажу акцій, інших приватизаційних і похідних цінних паперів [1, с. 835]. Важливою умовою ефективного функціонування фондового ринку є забезпечення належного його регулювання, яке повинне охоплювати всіх учасників ринку цінних паперів, його інфраструктури та філіали. Воно може бути зовнішнім і внутрішнім.

Внутрішнє регулювання – це залежність діяльності даної організації від її власних нормативних документів: статуту, правил і внутрішніх нормативних документів, що визначають діяльність цієї організації в цілому, її підрозділів та її працівників.

Зовнішнє регулювання – це підлеглість даної організації нормативним актам держави, інших уповноважених організацій, міжнародним угодам. Його здійснюють державні органи, організації професійних учасників фондового ринку і суспільство в цілому [2, с. 84].

Регулювання з боку професійних учасників ринку або саморегулювання ринку розвивається двояко: з одного боку, держава передає частину своїх функцій з регулювання ринку уповноваженим їм організаціям професійних учасників фондового ринку, з іншого боку, ці організації самі можуть домовлятися про створення організації з правами саморегулювання відносин між ними. При цьому державне регулювання має забезпечувати захист суспільних інтересів, справедливість і рівноправність ринку та доступність і відкритість інформації. Функції регулювання і контролю за ринком цінних паперів держава здійснює шляхом формування спеціальних структур, потреба в яких зумовлена організацією реєстрації випусків цінних паперів і професійних учасників ринку цінних паперів; специфікою способів регулювання, пов'язаних з контролем за наданням великих масивів інформації; необхідністю постійної адаптації законодавства та підзаконних норм фондового ринку, який швидко розвивається і змінюється; необхідністю для широкого загалу інвесторів створення органу, здатного захистити їхні інтереси.

Як показує світовий досвід, фондовий ринок ефективно розвивається тоді, коли враховуєть-

ся принцип оптимальності державного регулювання: держава регулює діяльність учасників ринку лише у випадках, коли це абсолютно необхідно, в інших же випадках вона делегує частину своїх повноважень професійним учасникам ринку, які об'єднуються у саморегулювні організації (СРО).

У світовій практиці **саморегулювними організаціями** (self-regulatory organizations) визнають підприємницькі асоціації, добровільні об'єднання, які встановлюють для своїх членів формальні правила у веденні бізнесу. Якщо звернутися до довідника будь-якої країни, обов'язково можна знайти одну чи кілька асоціацій інвестиційних інститутів, які діють у національному масштабі й визнані державою як основні представники професійного співтовариства у світі цінних паперів [4]. За такого визнання держава, так би мовити, віддає частину своїх функцій з нагляду й регулювання ринку, щоб професійні оператори фондового ринку самі встановлювали для себе правила гри та здійснювали контроль за їх виконанням, маючи на увазі, що цей контроль (за обсягом та якістю) значно результативніший за наглядову діяльність, обмежену державою.

Російські вчені вважають, що саморегулювні організації це – інститут, що регулює взаємовідносини між підприємцями, державою та покупцями. Створення саморегулювних організацій дозволить державним органам значно знизити витрати на регулювання діяльності ряду галузей за рахунок відміни в них ліцензування й сертифікації, що в кінцевому рахунку повинно призвести до скорочення державного апарату та зниження корупції. Бізнес-товариство отримує можливість самостійно визначати ефективні шляхи використання коштів, акумульованих в СРО й призначених для цілей саморегулювання [6, с. 12].

Разом з тим, саморегулювні організації – це не лише вироблення загальних правил гри або захист інтересів. Це й досі нерідко відокремлений ринок, доступ на який обмежений вимогами щодо професіоналізму й етики, обсягу торгівлі й капіталу тощо. Тобто створення саморегулювної організації – це, зазвичай, торгова угода [3]. Отже, основними ознаками саморегулювних організацій є:

- добровільне об'єднання;
- членство – професійні учасники фондового ринку;
- функції – саморегулювання, встановлення формальних правил ведення бізнесу;

- відносини з державою – держава передає їм частину своїх функцій.

До основних переваг саморегулювання дослідники відносять наступні характеристики. Так, саморегулювні організації являють собою публічні некомерційні організації, що здійснюють діяльність в інтересах не тільки своїх членів, а й значно ширшого кола осіб – клієнтів, інвесторів, споживачів. Інститут СРО є інструментом захисту підприємців від надлишкового державного контролю та необґрунтованого втручання держави в ринкові процеси. Саморегулювні організації, з одного боку, є природним регулятором ринкових відносин у системі «бізнес – споживач», а з іншого – забезпечують комунікативні зв'язки в системі «бізнес – влада», що свідчить про їх виняткову ефективність [5, с. 3-4]. Отже, розвиток саморегулювання сприяє підвищенню ефективності державної регуляторної політики, формуванню конкурентних ринкових відносин, гармонізації відносин між бізнесом та владою.

Водночас саморегулювні організації не позбавлені низки недоліків. Так, саморегулювання може викликати недовіру з боку суспільства до здатності підприємців самостійно забезпечувати регулювання і контроль за дотриманням встановлених правил і норм, захищати інтереси суспільства і підприємців одночасно. Науковці підкреслюють, що саморегулювання передбачає відсутність гарантій безпеки й ефективного розвитку ринку в умовах обмеженої конкуренції [6, с. 4-6].

З огляду на це розвиток саморегулювання підприємницької та професійної діяльності в Україні слід розглядати як найважливіший елемент реалізації загальної стратегії оптимізації державного втручання в економіку.

Оптимізація державного регулювання має здійснюватися відповідно до принципів обов'язкової, максимально повної та ефективної реалізації реально необхідних функцій державного контролю з паралельним скороченням втручання у сфери, де недосконалість ринкових механізмів є мінімальною. Це в кінцевому підсумку слугуватиме основній меті – скороченню адміністративних, економічних та організаційних бар'єрів у розвитку підприємництва.

У зв'язку з цим актуальним є питання про скасування надлишкових функцій державного регулювання та передачу частини функцій держави професійним об'єднанням учасників ринку виходячи із критеріїв важливості поставлених завдань та економічної ефективності. Задля вирішення цих проблем необхідна консолідація зусиль професійних об'єднань, підприємців, суспільних інститутів, підтримка з боку політичної еліти, держави та суспільства.

лідація зусиль професійних об'єднань, підприємців, суспільних інститутів, підтримка з боку політичної еліти, держави та суспільства.

Прибічники саморегулювання стверджують, що експертний і оперативний характер саморегулювання часто є найдоцільнішим і найпрактичнішим засобом регулювання. Коли об'єкти регулювання стають фактично учасниками регулятивного процесу, вони краще розуміють ціль регулювання і свою зацікавленість в ньому. В деяких галузях саморегулювні організації можуть сприяти дотриманню етичних стандартів (крім тих, що можуть бути встановлені законом) [7, с. 177-178].

Операції на фондовій біржі за своїм характером можуть бути технічними і в цих технічних деталях найкраще розбираються професіонали ринку. Втручання урядовими регуляторами в ці деталі потребує багато часу, але, навіть після цього їх знання не будуть повними. Якщо ж організації, які займаються операціями з цінними паперами, самі регулюють свою діяльність, то вони добре знають технічні аспекти ринку. Крім того, за саморегулювання уряд не має необхідності значної кількості людей і сплачувати за їх роботу. Замість того, щоб займатися прямим регулюванням, уряд може здійснювати нагляд за саморегулювними організаціями. Нарешті, регулювання, що здійснюється людьми, які безперервно вступають в контакт між собою (на відміну від зовнішніх регуляторів, які можуть бути присутніми на місцях час від часу), може бути більш послідовним. [6, с. 7-10].

Однак, саморегулювання не обмежується фондовими біржами. Концепція саморегулювання міститься в тому, щоб всі професійні учасники фондового ринку – чи то фондові біржі, брокери і дилери, що працюють поза біржею, інвестиційні компанії, андеррайтери та інші учасники – об'єднувалися в професійні асоціації, які беруть на себе відповідальність за саморегулювання. Професійні асоціації (або «саморегулювні організації» наділені законом регулятивними функціями й відповідають перед державним регулятором або регуляторами за ефективність виконання цих функцій. Державні регулятори контролюють саморегулювні організації, залишаючи собі право на пряму вживати заходи відносно члена професійної асоціації у випадку необхідності. Державні регулятори також можуть надавати допомогу окремим членам у випадках, коли саморегулювана організація вживає відносно них необґрунтовані або несправедливі заходи.

Метою заснування й діяльності саморегульованої організації є:

1) забезпечення високого професійного рівня діяльності учасників фондового ринку;

2) представництво учасників саморегульованої організації та захист їхніх професійних інтересів;

3) професійна підготовка й підвищення кваліфікації фахівців-учасників саморегульованої організації, уповноважених здійснювати операції із цінними паперами;

4) інформування своїх учасників стосовно законодавства про цінні папери та про всі зміни, що вносяться до нього;

5) розроблення й контроль за дотриманням норм і правил поведінки, регламентів, правил здійснення операцій з цінними паперами, вимог до професійної кваліфікації фахівців-учасників саморегульованої організації, уповноважених здійснювати операції із цінними паперами, та інших документів, передбаченим законодавством;

6) упровадження ефективних механізмів розв'язання спорів між учасниками саморегульованої організації та їхніми клієнтами;

7) розроблення та вжиття заходів щодо захисту клієнтів учасників саморегульованої організації та інших інвесторів, а також дотримання етичних норм і правил поведінки учасників саморегульованої організації у їхніх взаєминах з клієнтами [3].

Принципами саморегулювання є:

- базою саморегулювання є діюче законодавство;

- воно направлене на часткове заміщення державного регулювання в окремих галузях економіки;

- правила поведінки, вироблені в СРО, доповнюють і конкретизують відповідні норми законодавства;

- норми саморегулювання, як правило, ставлять більш жорсткі вимоги до учасників ринкових відносин [7, с. 181].

Встановлені принципи саморегулювання визначають їх ефективність на ринку. Саме саморегулювальної організації модифікують умови конкуренції у галузі. З одного боку, вони сприяють розробці норм, стандартів і принципів ведення бізнесу, правил якісного обслуговування покупців, створюють колективний бренд СРО, який дозволяє підвищити конкурентоспроможність

членів організації. З іншого боку, існує вірогідність одночасного зниження конкурентоспроможності тих, хто не приєднався до організації, й створення бар'єрів для входження в галузь новим, у тому числі й зарубіжним, компаніям.

Висновки

У статті розкрито сутність, цілі й принципи запровадження саморегулювальних організацій - учасників фондового ринку. Обґрунтовано доцільність поширення практики саморегулювання серед учасників фондового ринку. Висвітлено основні ознаки, переваги й недоліки саморегулювання. Вищезазначене пояснює необхідність розроблення наукових підходів до вивчення процесів, пов'язаних із функціонуванням інституту СРО.

У подальших публікаціях автора буде продовжено тему ефективності діяльності саморегулювальних організацій в Україні.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Економічна енциклопедія [Текст], у 3-х тт. / відп. ред. С. В. Мочерний. – Т. 3. – К.: Видавн. центр «Академія», 2002. – 952 с.
2. Белов, В. А. Государственное регулирование рынка ценных бумаг [Текст] : учеб. пособие / В. А. Белов. – М.: Высш. шк., 2005. – 350 с.
3. Система державного регулювання ринку цінних паперів / Портфельне інвестування [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://library.if.ua/book/75/5387.html>
4. Державне регулювання фінансового ринку / Економіко-правова бібліотека [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://vuzlib.net/rfp_H/11.htm
5. Румянцев, С. Розвиток механізмів саморегулювання [Текст] / С. Румянцев // Цінні папери України. – 2008, 20 лист. – № 45 (537). – С. 3-4.
6. Зельвинская, А. А. Повышение компетентности саморегулируемых предпринимательских структур как ключевой фактор их развития [Текст] : автореф. дис. ... канд. экон. наук / А. А. Зельвинская. – СПб.: ГОУВПО «СПГУЭФ». – 2008. – 19 с.
7. Основы государственного регулирования финансового рынка [Текст] : учеб. пособие / А. Рот [и др.]. – М.: Дом «Юстицинформ», 2002. – 975 с.

Надійшла до редколегії 12.10.2010.

Прийнята до друку 21.10.2010.

Н. Ф. ЗЕНЬЧУК, А. В. ЗАЛУЖНАЯ (УО «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Беларусь)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСХОДОВ НА РЕМОНТЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО РАСХОДАМ НА ТОПЛИВО

Одним з можливих підходів до прогнозування витрат на технічне обслуговування та ремонти автотранспортного рухомого складу є визначення їх величини пропорційно запланованим витратам на паливо. На величину співвідношення між витратами на ремонти та витратами на паливо мало впливає зміна умов експлуатації, зміна ринкових цін на запчастини і на паливо. Дане співвідношення мало змінюється протягом тривалих періодів часу. Наводяться результати розрахунку значень даного співвідношення за ряд років для сучасних економічних умов Республіки Білорусь.

Ключові слова: прогнозування витрат, технічне обслуговування, ремонт, автотранспортний рухомий склад, витрати на паливо

Одним из возможных подходов к прогнозированию расходов на техническое обслуживание и ремонты автотранспортного подвижного состава является определение их величины пропорционально запланированным расходам на топливо. На величину соотношения между расходами на ремонты и расходами на топливо мало влияет изменение условий эксплуатации, изменение рыночных цен на запчасти и на топливо. Данное соотношение мало изменяется на протяжении длительных периодов времени. Приводятся результаты расчёта значений данного соотношения за ряд лет для современных экономических условий Республики Беларусь.

Ключевые слова: прогнозирование расходов, техническое обслуживание, ремонт, автотранспортный подвижной состав, расходы на топливо

One of possible approaches to forecasting expenditures on maintenance and repair of motor vehicles is to determine their value in proportion to planned expenditures on fuel. The changes in operating conditions, in market prices for parts and fuel have little effect to the ratio between repair costs and fuel costs. This ratio changes little over long periods of time. The results of calculating the values of this ratio for a number of years for modern economic conditions of Belarus are presented.

Keywords: forecasting expenditures, maintenance, repair, motor vehicles, expenditures on fuel

Постановка проблемы

При прогнозировании себестоимости перевозок, а также при выполнении различных технико-экономических расчётов, возникает задача определения величины расходов на техническое обслуживание и ремонт подвижного состава. Ремонтные расходы занимают существенную долю в общих расходах, связанных с передвижением транспортных средств, и адекватность их определения влияет на конечные результаты расчётов и в итоге на принятие управленческих решений.

Анализ исследований в данной области

Известны различные способы определения расходов на ремонты подвижного состава. В бывшем СССР затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт подвижного состава планировали, в основном, исходя из периодичности технического обслуживания и ремонтов по пробегу и действовавших нормативов трудоёмкости и норм расхода запасных частей и

материалов по каждому виду технического обслуживания и текущего ремонта. В «Положениях о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» того времени [11, 12] для каждой марки подвижного состава либо по группам приводятся периодичность технического обслуживания по пробегу, нормативы трудоёмкости технического обслуживания и текущего ремонта подвижного состава и его агрегатов, нормы расхода запасных частей и материалов (рублей на тысячу км), нормы пробега подвижного состава и основных агрегатов до капитального ремонта. Также приводятся коэффициенты для корректирования этих нормативов в зависимости от условий эксплуатации, от модификации подвижного состава и организации его работы, от природно-климатических условий, от пробега с начала эксплуатации и другие.

Аналогичный подход применяется в Республике Беларусь в настоящее время. Планирование расходов на ремонт и техническое обслуживание подвижного состава осуществляет-

ся на основе нормативов, утверждённых Министерством транспорта и коммуникаций. Нормы разработаны для подвижного состава в основном Белорусского и Российского производства, а также для ряда наиболее распространенных моделей зарубежного производства, в различных единицах на 1000 км пробега и сгруппированы по маркам автомобилей в разрезе следующих статей: заработная плата ремонтных и вспомогательных рабочих без начислений; материальные затраты, включающие затраты на запасные части, узлы, агрегаты и эксплуатационные материалы; смазочные материалы. В связи с ростом цен эти нормативы, выраженные в денежных единицах, нужно ежегодно индексировать.

Выделение ранее неисследованной части проблемы

Изложенный выше подход к планированию расходов на техническое обслуживание и ремонты был адекватен в условиях экономики бывшего СССР, поскольку при ограниченном перечне марок подвижного состава и агрегатов, и при ценах, которые не изменялись продолжительное время, существовала возможность разработать и периодически обновлять ремонтные нормативы.

В современных экономических условиях значительно увеличилось по сравнению с бывшим СССР разнообразие марок подвижного состава, и соответственно, деталей и агрегатов. Это усложняет сбор и обобщение фактических данных для выработки нормативов. Постоянно появляются новые марки подвижного состава, для которых фактических данных за прошлые периоды нет. Кроме того, в рыночных условиях постоянно изменяются цены на материалы, детали и агрегаты.

Изменение ситуации в экономике требует поиска новых подходов к решению задач прогнозирования и планирования, которые соответствовали бы существующим экономическим условиям.

Одним из возможных подходов к прогнозированию ремонтных расходов, который можно было бы применять в современных экономических условиях, является определение их величины пропорционально запланированным расходам на топливо. Износ транспортного средства, вызывающий потребность в восстановлении его работоспособности, т.е. в ремонтах и замене, происходит в основном в процессе его передвижения. Для передвижения затрачивается топливо. Таким образом, существует взаимосвязь ме-

жду расходами на ремонты и расходами на топливо, а точнее говоря, расходы на ремонты пропорциональны расходам на топливо.

О существовании взаимосвязи между расходами на топливо и расходами на последующие ремонты подвижного состава известно давно. Уже в конце XIX – начале XX века её обосновывали и применяли в технико-экономических расчётах на железнодорожном транспорте Ю. В. Ломоносов [5], Б. Д. Воскресенский [3], А. Л. Васютинский [2] и др. Позднее данную взаимосвязь, также применительно к железнодорожному транспорту, нашла применение в исследованиях М. М. Протодьяконова [13], А. Е. Гибшмана [4], Г. И. Черномордика [15], П. А. Лугового, Л. Г. Цыпина [6], Н. Д. Малькевича [7, 8] и др.

Цель исследования

Цель статьи – оценить адекватность использования соотношения между расходами на ремонты подвижного состава и расходами на топливо (далее – соотношение «ремонт–топливо») для прогнозирования расходов на ремонты подвижного состава автотранспортных предприятий и определить значение данного соотношения для условий работы в Республике Беларусь.

Основной материал

Устойчивое соотношение между расходами на техническое обслуживание и ремонты транспортных средств и расходами на топливо.

Физический износ автотранспортного средства, вызывающий потребность в восстановлении его работоспособности, т.е. в ремонтах и замене, происходит в основном в процессе его передвижения, а точнее говоря, в процессе преодоления сил сопротивления движению, в частности сил трения трансмиссии, сил сопротивления дороги и воздуха. Произведение результирующей силы сопротивления движению транспортного средства на расстояние передвижения называется механической работой сил сопротивления движению. Расходы, связанные с физическим износом транспортного средства напрямую зависят от выполняемой механической работы сил сопротивления движению.

Сила сопротивления движению количественно зависит от скорости движения, массы транспортного средства и груза, конструкции транспортного средства, типа дорожного покрытия и других условий.

Силы сопротивления движению преодолеваются за счёт силы тяги, создаваемой двигателем транспортного средства. Произведение касательной силы тяги транспортного средства на колесе на расстояние передвижения называется механической работой сил тяги. Механическая работа сил тяги может быть произведена только в результате потребления транспортным средством топлива (или электроэнергии). Таким образом, расход топлива пропорционален механической работе сил тяги.

Известно, что на отдельно взятых отрезках пути механическая работа сил сопротивления движению может не совпадать количественно с механической работой сил тяги. Но для поездки в целом механическая работа сил сопротивления (с учётом механической работы сил торможения, создающих дополнительное сопротивление движению) равна механической работе сил тяги [6].

Таким образом, между расходами по износу пути и подвижного состава и расходами на топливо (электроэнергию) существует устойчивое соотношение (соотношение ремонты–топливо). При изменении условий эксплуатации, в частности скорости движения, массы перевозимого груза, типа дорожного покрытия, количества остановок и др. изменяется величина сил сопротивления движению, и соответственно изменяется величина требуемой для её преодоления силы тяги. Для того чтобы произвести больший износ транспортного средства необходимо затратить больше топлива. Но соотношение между расходами на топливо (или электроэнергию) и расходами по износу подвижного состава остаётся постоянным.

Характерной чертой современного рынка является то, что в продаже имеются детали одного и того же наименования, но разного качества и, соответственно, разные по цене, поскольку они произведены разными производителями. Например, детали, сделанные в Китае и в Германии. Однако можно предположить, что какие бы детали ни использовались при ремонте автомобиля, соотношение ремонты–топливо от этого не изменится. Дело в том, что цена детали на рынке в основном зависит от её ресурса, от того, сколько она проработает, прежде чем выйдет из строя. Дешёвая деталь работает меньше, т.е. до того момента, как она выйдет из строя, будет израсходовано меньше топлива. И наоборот, более дорогая деталь имеет больший ресурс работы, и до выхода её из строя будет затрачено больше топлива. Таким образом, сам механизм рыночного

ценообразования способствует тому, что соотношение ремонты–топливо является устойчивым.

На величину соотношения ремонты–топливо не оказывает значительного влияния такое явление как изменение цен на ресурсы, и, в частности, рост цен на энергоносители, который имеет место на протяжении длительного времени в Республике Беларусь. Удорожание энергоносителей в условиях рыночной экономики ведёт, в большинстве случаев, к удорожанию всех товаров, производимых в экономике, в том числе запчастей и материалов, поскольку энергоносители используются при их производстве и транспортировке.

Таким образом, повышение цен на энергоносители ведёт к пропорциональному удорожанию ремонтов. Конечно, значение соотношения ремонты–топливо может изменяться в результате этого, но изменения эти незначительны. Существенное изменение величины соотношения ремонты–топливо может происходить только при серьёзных качественных изменениях в национальной экономике, а такие изменения, как правило, не происходят быстро, в короткие сроки. Поэтому можно предположить, что соотношение ремонты–топливо сохраняется неизменным либо изменяется незначительно на протяжении длительного времени.

Следует отметить, что некоторые виды транспортных средств получают значительный износ при выполнении погрузочных работ, например, если погрузка автомобиля осуществляется при помощи экскаватора или из бункера. Данный вид износа не имеет прямой связи с расходом топлива на передвижение автомобиля. Вызываемые им ремонтные расходы можно лишь условно считать пропорциональными расходам на топливо.

Фактическое значение соотношения ремонты–топливо для современных экономических условий Республики Беларусь

В таблице 1 отражены результаты проведённого авторами исследования о соотношении ремонты–топливо для современных экономических условий Республики Беларусь, в ходе которого были проанализированы фактические данные о расходах 19 автотранспортных предприятий с 2003 по 2010 гг. Соотношение ремонты–топливо, показанное в табл. 1, рассчитано следующим образом: сумма расходов на все виды ремонтов и технического обслуживания транспортных средств, на восстановление и замену автомобильных шин и на смазочные материалы делится на расходы на топливо.

Из табл. 1 видно, что соотношение ремонты–топливо не имело значительных изменений на протяжении восьми лет, несмотря на значительные изменения в экономике Республики

Беларусь, в частности в объёмах перевозок, в ценах на топливо и детали, в заработной плате, произошедшие за такой продолжительный период времени.

Таблица 1

Соотношение ремонты–топливо для экономических условий Республики Беларусь

Год	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Среднее
Грузовики	0,26	0,27	0,26	0,26	0,24	0,23	0,24	0,24	0,25
Автобусы	0,22	0,22	0,23	0,22	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22

По данным Министерства статистики Республики Беларусь [16], с 2003 по 2009 год (за 2010 год данные ещё не опубликованы на сайте) номинальная начисленная среднемесячная заработная плата в стране выросла в 4,9 раза (с 250 686 руб. в 2003 г. до 1 237 974 руб. в 2009 г.). Грузооборот автомобильного транспорта вырос в 1,7 раза (с 8181 млн т-км в 2003 г. до 13 543 млн т-км в 2009 г.). Пассажирооборот автомобильного транспорта (автобусы) снизился в 1,3 раза (с 9768 млн пас.-км в 2003 г. до 7247 млн пас.-км в 2009 г.). Цены на продукцию производственно-технического назначения выросли в 4 раза.

Судя по данным в табл. 1, не наблюдается какой-либо закономерности (тенденции) в динамике соотношения ремонты–топливо – со временем оно не увеличивается и не уменьшается. Изменения носят случайный характер и колеблются по каждому типу подвижного состава вокруг какого-то среднего значения. Для грузовых автомобилей среднее значение соотношения равно 0,25, для автобусов – 0,22.

По грузовым автомобилям разница между минимальным и максимальным значениями соотношения ремонты–топливо составляет 15 %, т.е. значения соотношения отклонялись от среднего на $15 / 2 = 7,5$ %. По автобусам разница между минимальным и максимальным значениями составляет 9 %, т.е. значения соотношения отклонялись от среднего на $9 / 2 = 4,5$ %.

Таким образом, соотношение ремонты–топливо является устойчивым во времени и пригодно для прогнозирования расходов на ремонты подвижного состава в зависимости от прогнозируемых расходов на топливо.

В табл. 2 представлены результаты расчётов соотношения ремонты–топливо для отдельных автопарков Республики Беларусь по данным за 2010 год. Поскольку в современных условиях хозяйствования предприятия не заинтересованы публиковать информацию о показателях

своей работы, названия автопарков и стоимостные показатели в таблице не приводятся.

Таблица 2

Соотношение ремонты–топливо за 2010 год по ряду автотранспортных предприятий

Условное наименование предприятия	Количество автомобильных транспортных средств	в т.ч. автобусов	Соотношение ремонты–топливо
АП 1	157	33	0,21
АП 2	110	23	0,18
АП 3	194	194	0,31
АП 4	91	91	0,32
АП 5	136	136	0,22
АП 6	170	113	0,22
АП 7	70	51	0,15
АП 8	50	32	0,18
АП 9	68	43	0,23
АП 10	44	23	0,24
АП 11	50	30	0,24
АП 12	76	48	0,16
АП 13	43	26	0,30
АП 14	44	28	0,26
АП 15	89	60	0,27
АП 16	71	53	0,22
АП 17	47	27	0,24
АП 18	52	30	0,21
АП 19	51	28	0,20
Среднее			0,23

Предприятия, данные о которых приведены в табл. 2, существенно отличаются друг от друга по количеству единиц подвижного состава, по объёму перевозочной работы, приходящейся на единицу подвижного состава и, соответст-

венно, по другим экономическим показателям. При этом большинство предприятий имеют близкие значения соотношения ремонты–топливо.

На некоторых предприятиях, в частности в крупных государственных автопарках, ремонты и техническое обслуживание осуществляются более-менее планомерно. На других же предприятиях – по результатам диагностики или когда есть денежные средства, т.е. от случая к случаю.

На тех предприятиях, где количество подвижного состава сравнительно небольшое и где ремонты подвижного состава производятся «от случая к случаю», соотношение ремонты–топливо, рассчитанное по годовым данным, может значительно отличаться от среднего по стране. Дело в том, что топливо необходимо затрачивать для выполнения работы сразу, а ремонты можно осуществлять с отсрочкой, причём отсрочка может быть больше года. Поэтому за тот год, когда предприятие «сэкономит» на ремонтах, значение соотношения ремонты–топливо для этого предприятия будет ниже среднего по стране. Однако износ транспортного средства при этом накапливается, и денежные средства, сэкономленные на ремонте в данном году, всё равно придётся сполна отдать за ремонты в последующие годы. В эти последующие годы соотношение ремонты–топливо для данного предприятия будет выше среднего по стране. Если же рассматривать сумму расходов в целом за срок службы автомобиля или просто за достаточно продолжительный период времени, соотношение ремонты–топливо будет равно среднему по стране. Также, если на предприятии имеется достаточно большое количество единиц подвижного состава, которые направляются в ремонт в разное время, то даже по годовым данным соотношение ремонты–топливо получается близкое к среднему по стране.

В оперативных условиях при изменении скорости движения и массы перевозимого груза заметить фактическое изменение расходов на ремонты подвижного состава в зависимости от изменения при этом расходов на топливо практически весьма сложно, поскольку изменение в ремонтных расходах наступает спустя определённое время, иногда даже значительное. Однако сам факт этого изменения является очевидным, и в долгосрочном периоде эти взаимосвязи обнаруживаются достаточно определённо.

Закономерным является вопрос, чему равно соотношение ремонты топливо для конкретных марок автомобилей в современных условиях и насколько велико различие между марками по значениям соотношения. К сожалению, авторы статьи на данный момент не располагают достаточным количеством фактических данных, чтобы ответить на этот вопрос. Можно лишь предположить по имеющимся неточным данным, что среднее по стране значение соотношения для легковых автомобилей предположительно равно 0,31, т.е. больше чем для грузовых автомобилей и автобусов.

Фактическое значение соотношения ремонты–топливо в экономических условиях бывшего СССР

Для полноты картины в табл. 3 отражены значения соотношения ремонты–топливо, рассчитанные на основе фактических данных за отдельные годы (за которые данные были доступны) по Министерству автомобильного транспорта РСФСР.

Таблица 3

Соотношение ремонты–топливо по Министерству автомобильного транспорта РСФСР

Тип подвижного состава	Год и источник данных				
	1961 [9]	1970 [10]	1971 [10]	1977 [1]	Среднее
Грузовые автомобили	1,88	2,01	1,97	1,92	1,95
Автобусы	1,35	1,77	1,81	2,09	1,76
Легковые автомобили	2,55	2,16	2,23	2,42	2,34

Данные таблицы охватывают период времени в 17 лет, с 1961 по 1977 год. Можно сказать, как и в случае с табл. 1, что соотношение ремонты–топливо изменялось незначительно по сравнению с другими изменениями, которые происходят в экономике любой страны за такое длительное время.

Как и в табл. 1, не наблюдается какой-либо закономерности (тенденции) в динамике соотношения – со временем оно не увеличивается и не уменьшается, а колеблется вокруг какого-то среднего значения. Среднее по табл. 3 значение соотношения ремонты топливо равно: для грузовых автомобилей – 1,95, для автобусов – 1,76, для легковых – 2,34.

По грузовым автомобилям разница между минимальным и максимальным значениями соотношения ремонты–топливо составляет 6,4 %, т.е. значения соотношения отклонялись от среднего на $6,4 / 2 = 3,2$ %. По легковым автомобилям разница между минимальным и максимальным значениями составляет 15 %, т.е. значения соотношения отклонялись от среднего на $15 / 2 = 7,5$ %. По автобусам разница между минимальным и максимальным значениями соотношения заметно бóльшая, она составляет 35 %, т.е. значения соотношения отклонялись от среднего на $35 / 2 = 17,5$ %.

Из табл. 3 видно, что соотношение неодинаково для различных видов подвижного состава. Для легковых автомобилей значение соотношения больше, чем для грузовых и для автобусов. Следует отметить, что аналогичная картина характерна и для современных условий Республики Беларусь.

Из табл. 3 видно, что значение соотношения ремонты–топливо в условиях бывшего СССР было намного больше, чем в современных условиях (см. табл. 1). Отчасти это можно объяснить тем, что цены на топливо в плановой экономике бывшего СССР были значительно занижены по отношению к ценам на другие ресурсы. Известно, что после развала бывшего Советского Союза цены на энергоносители росли опережающими темпами.

Выводы

Между расходами по износу подвижного состава и расходами на топливо (электроэнергию) существует устойчивое соотношение (соотношение ремонты–топливо). Поэтому одним из возможных подходов к прогнозированию расходов на техническое обслуживание и ремонты автотранспортного подвижного состава в современных экономических условиях является определение их величины пропорционально запланированным расходам на топливо.

На величину соотношения ремонты–топливо не оказывает значительного влияния изменение условий эксплуатации (в частности скорости движения, массы перевозимого груза, типа дорожного покрытия и т.д.), изменение цен на ресурсы, и в частности рост цен на энергоносители, наличие на рынке деталей одного и того же наименования, но разных по цене. Сам механизм рыночного ценообразования способствует тому, что соотношение ремонты–топливо является устойчивым. Существенное изменение величины соотношения ремонты–топливо может происходить только при серьёз-

ных качественных изменениях в национальной экономике, а такие изменения, как правило, не происходят быстро, в короткие сроки.

Анализ фактических данных показывает, что для современных экономических условий Республики Беларусь соотношение ремонты–топливо равно примерно 0,25 для грузовых автомобилей и 0,22 для автобусов. Соотношение ремонты–топливо не имело значительных изменений на протяжении семи последних лет, несмотря на значительные изменения в экономике страны, произошедшие за такой продолжительный период времени.

Анализ имеющихся фактических данных периода существования бывшего СССР указывает на то, что в экономических условиях бывшего СССР соотношение ремонты–топливо также оставалось устойчивым на протяжении продолжительного времени, однако было значительно выше, чем в настоящее время в условиях Республики Беларусь.

Способ прогнозирования ремонтных расходов пропорционально расходам на топливо является более простым, по сравнению с методом расчёта по нормативам, требует меньше исходной информации и меньше вычислений. При этом можно утверждать, что прогноз, основанный на соотношении ремонты–топливо, является более точным в современных экономических условиях.

Метод определения ремонтных расходов пропорционально расходам на топливо также может быть применён в решении технико-экономических и оптимизационных задач, в которых необходим учёт влияния на эксплуатационные расходы таких факторов, как скорость движения и режимы ведения транспортного средства, потери при торможениях и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анисимов, А. П. Экономика, организация и планирование работы автомобильного транспорта [Текст] : учеб. для техн. автомоб. трансп. / А. П. Анисимов, В. К. Юфин. – М.: Транспорт, 1980. – 328 с.
2. Васютынский, А. Л. Железные дороги [Текст] / А. Л. Васютынский. – Варшава, 1905.
3. Воскресенский, Б. Д. Теория работы железнодорожных поездов [Текст] / Б. Д. Воскресенский. – Екатеринослав, 1903.
4. Гибшман, А. Е. Эксплуатационно-экономические обоснования выбора параметров перспективных паровозов [Текст] / А. Е. Гибшман. – В кн.: Вопросы экономики железнодорожного транспорта. Сб. статей. – М.: Трансжелдориздат, 1948.

5. Ломоносов, Ю. В. Научные основы эксплуатации железных дорог [Текст] / Ю. В. Ломоносов. – Изд. 4-е. – Берлин, 1922 (рус.).
6. Луговой, П. А. Основы технико-экономических расчётов на железнодорожном транспорте [Текст] / П. А. Луговой, Л. Г. Цыпин, Р. А. Аукуционек. – М.: Транспорт, 1973. – 232 с.
7. Малькевич, Н. Д. Исследование зависимости между оптимальным планом формирования, весом и скоростью движения грузовых поездов [Текст] . автореф. и дис. ... канд. техн. наук / Н. Д. Малькевич. – Гомель: БИИЖТ, 1966.
8. Оптимизация скорости движения и режимов ведения поезда [Текст] / Н. Д. Малькевич [и др.]; под ред. А. А. Михальченко; Белорус. гос. ун-т трансп. // Совершенствование работы транспортных систем: Сб. науч. тр. – Гомель: БелГУТ, 2001. – С. 21-31.
9. Основы экономики автомобильного транспорта (в помощь изучающим экономику автомобильного транспорта) [Текст] / под. ред. Бронштейна. – М.: Науч.-техн. изд-во Мин-ва автомоб. трансп. и шоссейных дорог РСФСР, 1963. – 358 с.
10. Паншина, С. Н. Экономика автомобильного транспорта [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. Н. Паншина. – Изд. 2-е, переработ. и доп. – М.: Высш. шк., 1974. – 287 с.
11. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Часть вторая (нормативная). Автомобили семейства КраЗ [Текст] / Минавто-транс РСФСР. – М.: Транспорт, 1980. – 63 с.
12. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта [Текст] / Мин-во автомоб. трансп. РСФСР. – М.: Транспорт, 1988. – 78 с.
13. Протодьяконов, М. М. Изыскание и проектирование железных дорог [Текст] / М. М. Протодьяконов. – М.: Трансжелдориздат, 1934.
14. Тихонов, К. К. Оптимальные ходовые скорости грузовых поездов [Текст] / К. К. Тихонов. – М.: Транспорт, 1964. – 262 с.
15. Черномордик, Г. И. Техничко-экономические обоснования норм проектирования новых железных дорог [Текст] / Г. И. Черномордик. – М.: Трансжелдориздат, 1948.
16. Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://belstat.gov.by>

Поступила в редколлегию 15.04.2011.

Принята к печати 20.04.2011.

УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛІКУ ТА АНАЛІЗУ ВИКОРИСТАННЯ ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ У ДИСТАНЦІЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

У статті розглядаються пропозиції щодо вдосконалення бухгалтерського обліку у дистанції сигналізації та зв'язку та причини таких рішень. Пропонується використовувати нові методи нарахування амортизації, змінити критерії зарахування до малоцінних та швидкозношуваних предметів та спростити процедуру списання основних засобів. Ці зміни мають скоротити витрати на підприємстві, спростити роботи бухгалтерії та покращити загальні показники роботи дистанції, краще забезпечувати її основну функцію – безпеку руху поїздів.

Ключові слова: дистанція сигналізації та зв'язку, малоцінні та швидкозношувані предмети, основні засоби, амортизація

В статье рассматриваются предложения по усовершенствованию бухгалтерского учета в дистанции сигнализации и связи и причины таких решений. Предлагается использовать новые методы начисления амортизации, изменить критерии зачисления в малоценные и быстроизнашиваемые предметы и упростить процедуру списания основных средств. Данные изменения должны сократить расходы на предприятии, упростить работу бухгалтерии и улучшить общие показатели работы дистанции, лучше обеспечивать ее основную функцию – безопасность движения поездов.

Ключевые слова: дистанция сигнализации и связи, малоценные и быстроизнашиваемые предметы, основные средства, амортизация

The article is dealt with proposals for improvement of accounting in signaling and communication and the reasons for such decisions. It is offered to use new methods of calculating depreciation, change the criteria for enrollment in low-value items and simplify the procedure for writing off fixed assets. These changes should reduce the costs at the enterprise, simplify the accounting work and improve the overall performance of the maintenance section, provide better to its main function – the traffic safety of trains.

Keywords: accounting in signaling and communication, enrollment in low-value items, fixed assets, depreciation

У даній статті розглядаються питання стосовно удосконалення обліку та аналізу використання основних засобів.

Завданням бухгалтерського обліку основних засобів є:

- правильне визначення первісної вартості об'єктів основних засобів;
- своєчасне документальне відображення в облікових регістрах інформації щодо наявності та руху (надходження, переміщення, вибуття) об'єктів із врахуванням їх приналежності підприємству;
- нарахування амортизації за допомогою методів, затверджених обліковою політикою підприємства;
- визначення ступеню зношеності об'єктів основних засобів;
- визначення витрат на їх утримання та відновлення і т.п.;
- забезпечення контролю за їх збереженням;
- забезпечення правильного обліку орендних операцій об'єктів основних засобів.

Тому важливо правильно класифікувати об'єкти основних засобів наявні на підприємстві.

Передусім зазначимо, що згідно П(с)БО № 7 «Основні засоби» [1], основні засоби - матеріальні активи, які підприємство утримує з метою використання їх у процесі виробництва або постачання товарів, надання послуг, здавання в оренду іншим особам або для здійснення адміністративних і соціально-культурних функцій, очікуваний строк корисного використання (експлуатації) яких більше одного року (або операційного циклу, якщо він довший за рік).

Об'єкт основних засобів – це:

- закінчений пристрій з усіма пристосуваннями і приладдям до нього;
- конструктивно відокремлений предмет, призначений для виконання певних самостійних функцій;
- відокремлений комплекс конструктивно з'єднаних предметів однакового або різного призначення, що мають для їх обслуговування загальні пристосування, приладдя, управління та єдиний фундамент, унаслідок чого кожен предмет може виконувати свої функції, а ком-

плекс – певну роботу тільки в складі комплексу, а не самостійно;

- інший актив, що відповідає визначенню основних засобів, або частина такого активу, що контролюється підприємством.

Видавництво «Баланс-Клуб» [2] наводить наступну класифікацію основних засобів:

1. За галузевою ознакою:

- а) промислові;
- б) будівельні;
- в) сільськогосподарські;
- г) транспортні;
- д) зв'язку;
- е) інших галузей економіки.

2. За функціональним призначенням:

- а) виробничі:
 - будівлі;
 - споруди;
 - передавальні пристрої;
 - машини та обладнання;
 - транспортні засоби;
 - інструменти, інвентар та інші виробничі основні засоби;
- б) невиробничі:
 - торгівлі;
 - житлового господарства;

- комунального господарства;
- охорони здоров'я;
- культури та спорту;
- інші, призначені для задоволення культурно-побутових потреб населення.

3. За використанням:

- а) діючі (знаходяться в експлуатації);
- б) недіючі (не введені в експлуатацію):
 - здані в оренду;
 - що знаходяться на складі (в запасі або резерві);
 - що знаходяться на консервації.

4. За приналежністю:

- а) власні (придбані за рахунок власних коштів);
- б) орендовані (що належать орендодавцю).

Слід пам'ятати, що в бухгалтерському обліку відображаються усі основні засоби підприємства: і виробничі, і невиробничі.

В залежності від цільового призначення і характеру виконуваних функцій основні засоби підрозділяються на групи. Згідно п. 5 [1] для цілей бухгалтерського обліку основні засоби класифікуються так, як показано нижче (див. табл. 1).

Таблиця 1

Групи основних засобів

Основні засоби (дев'ять груп)			
Код рахунку	Група	Код субрахунку	Назва субрахунку
10 «Основні засоби»	1	101	«Земельні ділянки»
	2	102	«Капітальні витрати на поліпшення земель»
	3	103	«Будинки та споруди»
	4	104	«Машини та обладнання»
	5	105	«Транспортні засоби»
	6	106	«Інструменти, прилади та інвентар»
	7	107	«Тварини»
	8	108	«Багаторічні насадження»
	9	109	«Інші основні засоби»

Основні засоби дистанції сигналізації та зв'язку мають різні характеристики та призначення, і не всі з них пов'язані саме з сигналізацією та зв'язком. Як і на багатьох інших підприємствах, зокрема державних, бухгалтерський облік намагаються якомога більше уніфікувати, звести до єдиних правил та норм. Мається на увазі, наприклад, безпосередньо на залізниці, усі структурні підрозділи нараховують амортизацію на всі основні засоби одним єдиним методом – прямолінійним.

Згідно з п. 4 [1], амортизація – систематичний розподіл вартості, яка амортизується, необоротних активів протягом строку їх корисного використання (експлуатації).

Вартість, яка амортизується, – первісна або переоцінена вартість необоротних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості.

Знос основних засобів – сума амортизації об'єкту основних засобів з початку його корисного використання.

Строк корисного використання (експлуатації) – очікуваний період часу, протягом якого необоротні активи будуть використовуватися підприємством або з їх використанням буде виготовлено (виконано) очікуваний підприємством обсяг продукції (робіт, послуг).

Первісна вартість – історична (фактична) собівартість необоротних активів у сумі грошових коштів або справедливої вартості інших активів, сплачених (переданих), витрачених для придбання (створення) необоротних активів.

Переоцінена вартість – вартість необоротних активів після їх переоцінки.

На наш погляд, нарахування амортизації на абсолютно всі основні засоби прямолінійним методом – це не досить вдала ідея, оскільки основні засоби дуже відрізняються за своїми характеристиками і призначенням всередині одного структурного підрозділу, і тим паче, у різних структурних підрозділах. Тому пропонується виділити їх у певні групи і застосовувати до них різні методи нарахування амортизації.

Згідно з п. 26 [1] амортизація основних засобів (крім інших необоротних матеріальних активів) нараховується із застосуванням таких методів:

- 1) прямолінійного;
- 2) зменшення залишкової вартості;
- 3) прискореного зменшення залишкової вартості;
- 4) кумулятивного;
- 5) виробничого.

Підприємство може застосовувати норми і методи нарахування амортизації основних засобів, передбачені податковим законодавством.

Згідно з п. 28 [1], метод амортизації обирається підприємством самостійно з урахуванням очікуваного способу отримання економічних вигід від його використання.

Відповідно до [2], для різних об'єктів основних засобів підприємство може застосовувати різні методи на свій вибір, з урахуванням очікуваного способу отримання економічних вигід від їх використання. Рішення підприємства відносно застосовуваних методів фіксується в обліковій політиці. Це не суперечить діючому законодавству.

У дистанції сигналізації та зв'язку пропонується виділити основні засоби, які безпосередньо призначені для забезпечення сигналізації та зв'язку, безпеки руху рухомого складу, виділити в окрему групу для нарахування амортизації за одним із методів, які пропонуються нижче. До таких основних засобів можна віднести, наприклад, обладнання КІПу СЦБ, обмінний

фонд КІПу СЦБ – реле, блоки [5]. До реле відносяться ТШ, які використовуються для кодування рейкового ланцюга, ДСШ – для контролю стану рейкового ланцюга, ІР та ІМВШ – імпульсні колійні реле [3], КІТШ – кодовий колійний трансмітер, який здійснює кодування усіх зайнятих рейкових ланцюгів на станціях та перегонах, НМПШ – повторювачі імпульсних реле. До блоків відносяться ВД-62, які управляють стрілочними переводами, М-1, які використовуються для відкриття маневрових сигналів, В-2 – для управління сигналами світлофорів. Всі реле та блоки належать до пристроїв СЦБ (сигналізація, централізація, блокування). Також до СЦБ належить апаратура виявлення перегріву букс [6] – ПОНАБ, диск-Б, АСДК, системи диспетчерської централізації «Каскад» [4], «Нева», «Мінськ», «Луч», ПЧДШ-56. У цих системах застосовуються блоки та реле. Від перенавантаження змінного струму срібні та вугільні контакти у вище перерахованих пристроях зварюються та потребують обов'язкової заміни, оскільки втрачають свою функцію. Відносно зв'язку. В АТС (технологічний лінійний зв'язок) декадно-шагову контактну систему слід замінити на безконтактну SI-3000 та оперативно-технологічний зв'язок HDH, PDH – магістральний дорожній рівень [4]. Також пропонується замінити весь радіозв'язок, який використовується, наприклад, для зв'язку машиніста з диспетчерами і т. д., на новий, встановити нові радіостанції, такі як, наприклад, OPEON, KENWOOD – цифровий радіозв'язок, за допомогою якого здійснюється освітлення, та гучномовний зв'язок на платформах. Також до основних засобів, які пропонується амортизувати іншим методом, можна додати компресори, вагонні уповільнювачі, телефонізацію до житлових будинків. На нашу думку, до таких основних засобів слід застосовувати метод зменшення залишкової вартості, прискореного зменшення залишкової вартості, або кумулятивний метод. Ці методи полягають в тому, що на протязі перших років експлуатації об'єкту за допомогою нарахування амортизації, яка відноситься на собівартість виробленої продукції (виконаних робіт, наданих послуг), накопичується значна сума коштів, яка необхідна для відновлення основних засобів. В останні роки експлуатації основних засобів сума амортизації незначна. Але в той же час саме на цей період припадає найбільша кількість ремонтів та відповідно витрат. Це дасть змогу підприємству швидше оновлювати основні засоби, які досить швидко морально зношуються, і забезпечити

тим самим кращу безпеку руху, що є основною функцією дистанції сигналізації та зв'язку.

При використанні методу зменшення залишкової вартості річна сума амортизації ($Ам$) визначається як добуток залишкової вартості об'єкту ($Взал$) на початок звітної року (або первісна вартість ($Вперв$) на дату початку нарахування амортизації) та річної норми амортизації ($НАм$):

$$Ам = Взал (Вперв) \times НАм. \quad (1)$$

Річна норма амортизації (у відсотках) обчислюється як різниця між одиницею та результатом кореня ступеня кількості років корисного використання об'єкта (n) з результату від ділення ліквідаційної вартості об'єкту на його первісну вартість:

$$НАм (у \%) = (1 - \sqrt[n]{Влікв : Вперв}) \times 100, \quad (2)$$

де $Влікв$ – ліквідаційна вартість.

Згідно з п. 4 [1], ліквідаційна вартість – сума коштів або вартість інших активів, яку підприємство очікує отримати від реалізації (ліквідації) необоротних активів після закінчення строку їх корисного використання (експлуатації), за вирахуванням витрат, пов'язаних з продажем (ліквідацією).

Цей метод базується на тому, що новий об'єкт основних засобів дає більшу віддачу на початку строку експлуатації. Особливістю цього методу є те, що його застосування можливе тільки у тому випадку, коли ліквідаційна вартість не дорівнює нулю. Якщо $Влікв = 0$, то $\sqrt[n]{Влікв : Вперв} = 0$, а $НАм = 1$, тому $Ам = Вперв$, тобто будь-який об'єкт амортизується за рік. Це суперечить п. 23 [1], у якому вказано, що строк експлуатації об'єкта встановлюється підприємством самостійно.

При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості річна сума амортизації визначається як добуток залишкової вартості об'єкту на початок звітної року (або первісна вартість на дату початку нарахування амортизації) та річної норми амортизації:

$$Ам = Взал (Вперв) \times НАм. \quad (3)$$

При цьому річна норма амортизації обчислюється виходячи зі строку корисного використання об'єкту і подвоюється:

$$НАм = \left(\frac{1}{n} \times 2 \right) \times 100. \quad (4)$$

У випадку застосування методу прискореного зменшення залишкової вартості, сума амортизації останнього року розраховується таким

чином, щоб залишкова вартість об'єкту в кінці періоду його експлуатації була не меншою за його ліквідаційну вартість (наприклад, $Влікв = 500$ грн, тоді амортизаційні відрахування останнього року експлуатації об'єкта замість 1581 грн нараховувалися б у сумі 1081 грн).

Згідно кумулятивного методу нарахування амортизації, річна сума амортизації визначається як добуток вартості, що амортизується та кумулятивного коефіцієнта ($Кк$):

$$Ам = Ваморт \times Кк. \quad (5)$$

Кумулятивний коефіцієнт розраховується діленням кількості років, що залишаються до кінця строку корисного використання об'єкту основних засобів, на суму числа років його корисного використання:

$$Кк = \frac{nk}{Sn}, \quad (6)$$

де nk – кількість років, що залишаються до кінця корисного використання об'єкта;

Sn – сума чисел років корисного використання об'єкту:

$$Sn = \frac{n(n+1)}{2}, \quad (7)$$

де n – кількість років корисного використання об'єкту.

Сума чисел років – це сума порядкових номерів років, на протязі яких об'єкт експлуатується. Тому метод має іншу назву – «метод суми чисел років».

Найбільша сума амортизації нараховується у перші роки експлуатації об'єкту, потім поступово зменшуються – і так до тих пір, доки залишкова вартість об'єкту не досягне його ліквідаційної вартості.

В структурних підрозділах залізниці є досить складною проблемою процес списування основних засобів.

Об'єкт основних засобів згідно з п. 33 [1] вилучається з активів (списується з балансу) у разі його вибуття внаслідок безоплатної передачі або невідповідності критеріям визнання активом і внаслідок продажу даного об'єкту. Вибуття основних засобів може відбутися внаслідок:

- передачі до статутного капіталу інших підприємств;
- обміну на інші активи;
- ліквідації при стихійних лихах тощо.

Фінансовий результат від вибуття основних засобів, незалежно від причини їх вибуття, ви-

значається за загальним правилом (п. 34 [1]): з доходів від вибуття основних засобів вираховується їх залишкова вартість, сума непрямих податків та витрат, пов'язаних з таким вибуттям.

У бухгалтерському обліку будь-яке вибуття об'єктів основних засобів відображається однаково для підприємств усіх форм власності та видів діяльності. Це в рівній мірі відноситься до об'єктів, які обліковуються на рахунок 10 «Основні засоби», на рахунок 11 «Інші необоротні матеріальні активи» з використанням субрахунків:

- по доходах – рахунки 74 «Інші доходи»,
- по витратах – рахунки 97 «Інші витрати».

Якщо мова йде про такі основні засоби, первісна вартість яких більша 10 тис. грн, то процедура стає для структурного підрозділу надзвичайно тривалою та копіткою. Справа в тому, що за таких умов дистанція має оформити всі відповідні документи та подати їх до Укрзалізниці для одержання дозволу на списування. Оскільки структурних підрозділів дуже багато, відповідно формується величезна черга, тому іноді доводиться чекати більше року. Слід відмітити, що, якщо Укрзалізниця не встигає переглянути документи до кінця поточного року, вони повертаються до структурного підрозділу для зміни дат і процедура починається спочатку.

Ми бачимо один із шляхів вирішення цієї проблеми, по-перше, у зміні критеріїв щодо первісної вартості, при якій необхідно залучати Укрзалізницю хоча б до 100 тис. грн, то це набагато б спростило даний процес. Особливо це стосується металомістких основних засобів, оскільки вони мають високу ліквідаційну вартість і дохід, отриманий від їх ліквідації, можна використати на поліпшення інших основних засобів. Вважаємо за доцільне, щоб списування основних засобів, первісна вартість яких менша ніж 100 тис. грн, займалася відповідна залізниця, тоді навантаження більш-менш розподілилося б.

Особливо це актуально в наш час, оскільки ціни постійно зростають і за прогнозами цей процес ще досить довго триватиме. А тому основні засоби, навіть ті, які раніше списувала залізниця, у зв'язку з подорожчанням доведеться списувати вже через Укрзалізницю.

Також, беручи до уваги тенденцію зростання цін, слід звернутися до критеріїв оцінки малоцінних та швидкозношуваних предметів, які

мають вартість від 50 до 1000 грн. Виходить, що незабаром настане момент, коли предмети, які раніше були малоцінними, необхідно буде зараховувати до складу основних засобів, оскільки вони подорожчали. Дивлячись на основні засоби дистанції сигналізації та зв'язку видно, що при збільшенні критерію зарахування до малоцінних та швидкозношуваних предметів хоча б до 2000 грн, навіть зараз основних засобів стало б приблизно на 30 % менше. А це означає, що їх облік спростився б. І це дало б у майбутньому певну економію. Не довелося б нараховувати на них амортизацію.

Бухгалтерський облік в Україні час від часу реформується. Це, звісно вносить певні покращення, спрощення в роботу бухгалтерії. Серед вдосконалень ведення бухгалтерського обліку основних засобів можна пригадати зміни у відображенні основних засобів у балансі підприємств. Відображення основних засобів у складі активів за первісною вартістю та у складі пасивів – суму зносу змінили на відображення лише в активах підприємства за залишковою, первісною вартістю та вказується їх знос на початок і кінець звітного періоду.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. П(с)БО 7 «Основні Засоби» : Затв. Міністерством фінансів України від 27.04.2000 р. № 92 із змінами, внесеними згідно з наказами Міністерства фінансів № 1125 (з0970-09) від 25.09.2009 р. [Текст].
2. Бухгалтерський облік в Україні. Від теорії до практики [Текст] : у 2 т. / за ред. А. М. Коваленко. – Д.: ВКК «Баланс-Клуб», 2007. – Т. 1. – 600 с.
3. Новая аппаратура электропитания железнодорожной автоматики [Текст]. – М.: Транспорт, 1978.
4. Мікропроцесорна диспетчерська централізація «КАСКАД» [Текст] : навч. посібник / М. І. Данилюк [та ін.]. – Х., 2005. – 176 с.
5. Казаков, А. А. Автоблокировка, локомотивная сигнализация и автостопы [Текст] / А. А. Казаков. – М.: Транспорт, 1975.
6. Лозинский, С. Н. Аппаратура автоматического обнаружения перегретых букс в поездах [Текст] / С. Н. Лозинский, А. Г. Алексеев, П. Н. Карпенко. – М.: Транспорт, 1978.

Надійшла до редколегії 14.04.2011.

Прийнята до друку 10.05.2011.

МЕТОДЫ ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ В ЗАДАЧАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВАГОНОПОТОКОВ

У роботі досліджено можливості методів хаотичної динаміки стосовно актуальних задач аналізу та прогнозування економічних та технологічних властивостей вагонопотоків, що представлені відповідними часовими рядами. Встановлено також доцільність використання методу узагальненого логістичного відображення для побудови оперативного прогнозу часових рядів.

Ключові слова: прогнозування властивостей вагонопотоків, методи хаотичної динаміки, аналіз часових рядів, узагальнене логістичне відображення

В работе исследованы возможности методов хаотической динамики применительно к актуальным задачам анализа и прогнозирования экономических и технологических свойств вагонопотоков, представленных соответствующими временными рядами. Установлена также целесообразность использования метода обобщенного логистического отображения для построения оперативного прогноза поведения временных рядов.

Ключевые слова: прогнозирование свойств вагонопотоков, методы хаотической динамики, анализ временных рядов, обобщенное логистическое отображение

The possibilities of chaotic dynamics methods applied to the topical analysis and forecasting problems of economic and technological properties of wagon streams represented by the related time series are studied. The advisability of using the generalized logistic map method for the construction of time series behavior operational forecasting is also determined.

Keywords: forecasting of properties of wagon streams, chaotic dynamics methods, time series analysis, generalized logistic map

Введение. Проблемы анализа свойств вагонопотоков и методы хаотической динамики

Одной из актуальных и важных задач для организации экономически эффективных грузовых железнодорожных перевозок является прогнозирование технологических, а значит и соответствующих экономических, параметров процессов перевозок. Решение этой задачи осложняется существующими при этом условиями неопределенности, связанными, например, с неравномерностью суточной погрузки по станциям. На рис. 1 представлен график фактических объемов погрузки за один из периодов (в вагонах). В то же время при планировании перевозок предполагается обеспечение равномерной погрузки.

Одним из общих подходов к анализу и прогнозированию свойств процессов является рассмотрение их как временных рядов [1, 2]. Оперативное прогнозирование на основе временных рядов наблюдений выступает в качестве важной задачи для эффективного планирования и управления многими технологическими и экономическими процессами [1, 2], в том числе вагонопотоками. Исследования свойств временных рядов параметров вагонопотоков на железных дорогах Украины, рис. 2, а,

рис. 2, б, позволили установить, что часто они имеют сложное поведение, иногда похожее на «хаотическое». Известно, что в настоящее время развиты математические модели хаотической динамики, которые все больше используются при решении задач анализа и прогнозирования экономических систем [2 – 4]. Развитию этого направления исследований применительно к технолого-экономическим свойствам вагонопотоков и посвящена настоящая работа.

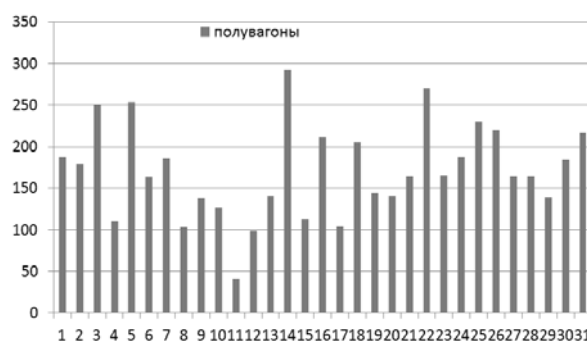


Рис. 1. Суточная неравномерность погрузки, станция Червоная, июль 2010 г.

В статье исследованы возможности методов хаотической динамики применительно к двум актуальным задачам анализа и прогнозирования свойств вагонопотоков. В первой из них для анализа временных рядов используется

R/S-анализ Херста [1 – 3]. На основании его применения удастся установить некоторые дополнительные свойства относительно тенденций изменения параметров вагонопотоков. А именно, получить оценки относительно сохранения/изменения свойств временного ряда. Кроме того, можно рассчитать период сохранения тенденций. Будет показано, что имеются временные ряды, построенные на основе значений параметров вагонопотоков, которые обладают адекватной моделью уравнения регрессии, но одновременно имеют показатель Херста меньше 0,5. Для таких, антиперсистентных, рядов ожидается смена тенденции развития процессов, что противоречит общепринятому статистическому методу анализа.

Для решения другой задачи, прогнозирования значений уровней ряда, применяется новый метод прогнозирования на основе модели обобщенного логистического отображения [3]. Несмотря на то, что это отображение является детерминированным, в [1, 2] и ряде других исследований показано, что даже простые нелинейные модели при определенных значениях параметров могут иметь «хаотическое» поведение, которое представляется случайным. Вместе с тем, в этих моделях это хаотическое поведение порождается именно нелинейностью. В статье представлены данные о применении таких моделей к прогнозированию уровней временных рядов, представляющих технологические экономические свойства вагонопотоков.

Использование R/S-анализа для исследования свойств вагонопотоков

Рассматривается задача совершенствования методов оперативного прогнозирования параметров вагонопотоков (технологических, экономических и др.) на основе статистического анализа свойств соответствующих временных рядов, рис. 2. Возможность улучшения прогноза ожидаемых значений исследуемых величин связывается с решением задачи классификации процессов, представленных рядами наблюдений. Для такой классификации степени стохастичности временного ряда используется показатель Херста, по значениям которого динамические процессы разделяются на детерминированные, случайные и хаотически детерминированные. В последнем случае процесс содержит «память» о прошлых наблюдениях, о прошлом поведении ряда, причем не краткосрочную, а долгосрочную. Эта дополнительная информация может быть использована в процедурах

оперативного прогнозирования ожидаемых значений уровней ряда.

Существует несколько основных методов расчета показателя Херста, представленных в [1 – 3]. Заметим, что их использование позволяет вычислить две основные характеристики временного ряда – значение показателя Херста H в интервале $[0; 1]$, период сохранения тенденции для персистентного ряда.

Наряду с корреляционным и спектральным анализом одним из мощных методов исследования долгосрочной памяти во временных рядах и выяснения степени их фрактальности является применение R/S-анализа (Rescaled Range Analysis), который был предложен Херстом (Hurst) [2, 5]. Мандельброт Б. обобщил метод Херста с целью исследования временных рядов произвольной природы. Идея этого метода заключается в измерении изменения со временем уровня накопления отклонений от среднего значения временного ряда. Установлено, что для некоторых временных рядов зависимость R/S от количества наблюдений N имеет следующий эмпирический закон распределения [3]:

$$(R/S)_n = (R/S)_0 N^H, \quad (1)$$

где $(R/S)_0$ – константа;

N – количество временных периодов наблюдений;

H – экспонента Херста; $(R/S)_n$ определяется как:

$$(R/S)_n = \frac{\max_{1 \leq t \leq N} A(t, N) - \min_{1 \leq t \leq N} A(t, N)}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (S(t) - \langle S \rangle_N)}}, \quad (2)$$

где $A(t, N)$ – накопление отклонения временного ряда $S(t)$ от среднего за N периодов $\langle S \rangle_N$:

$$A(t, N) = \sum_{i=t}^{t+N} (S(i) - \langle S \rangle_N). \quad (3)$$

Если показатель H примерно равен 0,5, это свидетельствует о случайных блужданиях уровней ряда. При H отличных от 0,5 наблюдения значений уровней не являются независимыми, а каждое из них содержит «память» о прошлых уровнях, наблюдениях, предыдущем поведении ряда. Причем необходимо учиты-

вать присутствие не краткосрочной, а именно долговременной памяти.

Если $0 \leq H \leq 0,5$ – то ряд будет отрицательно коррелированным (антиперсистентным), в нем, если наблюдалась тенденция роста уровня ряда в прошлом, следует ожидать в дальнейшем его убывание. Если $0,5 \leq H \leq 1$ – ряд будет положительно коррелированным (персистентным), или трендостойким. Именно, если ряд возрастает (убывает) в прошлом, то вероятно, что такая же тенденция сохранится в течение некоторого времени в будущем. Показатель Херста связан с фрактальной размерностью соотношением: $d_F = 2 - H$ [3].

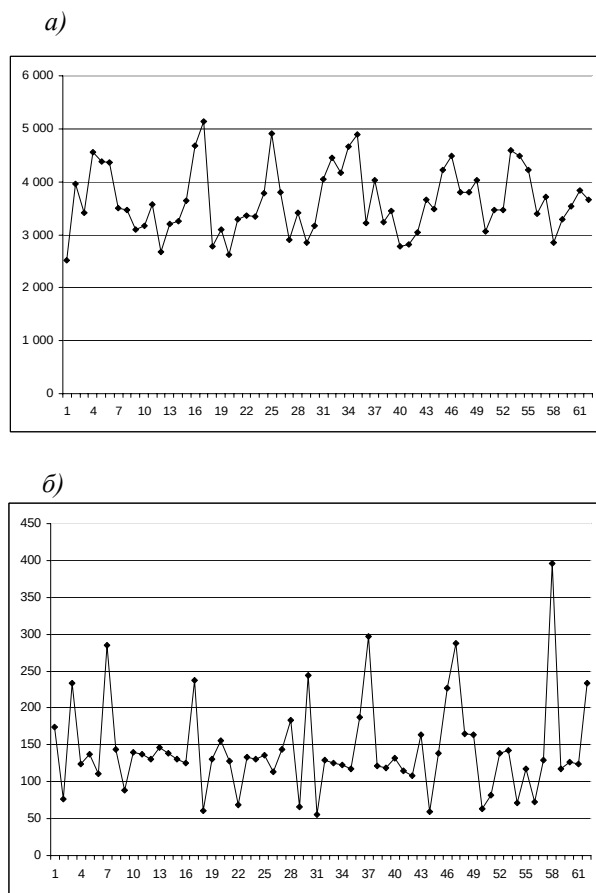


Рис. 2. Графики посуточной передачи вагонов по стыкам полигонов

На практике для оценки показателя H часто используют метод, который заключается в построении функции линейной регрессии $\log(R/S) = H \log N + \varepsilon$. Если построить график этой регрессии в двойных логарифмических координатах, то оценкой показателя Херста будет коэффициент наклона H этой прямой.

На рис. 3 представлены примеры расчета коэффициента Херста: для ряда a его значение находится в диапазоне от 0,343 до 0,389, т.е.

$H < 0,5$ (ряд антиперсистентный, ожидается изменение тенденции); для ряда b – от 0,664 до 0,715, то есть $H > 0,5$ (ряд персистентный, тенденция сохранится).

При регрессионном анализе поведения рядов получим следующие уравнения: для ряда a – $Y = 3565,12 + 2,4223 \cdot X$, для ряда b – $Y = 1715,669 + 1,7944 \cdot X$. Обе полученные функции свидетельствуют об ожидаемом росте прогнозируемых параметров в будущих периодах. Вместе с тем, это противоречит результатам анализа Херста для ряда a , которые указывают на ожидаемые изменение тенденции временного ряда, т.е. на уменьшение показателей в будущем.

Таким образом, для получения более обоснованных и точных прогнозов поведения временных рядов в дополнение к классическим методам прогнозирования целесообразно использовать R/S -анализ Херста.

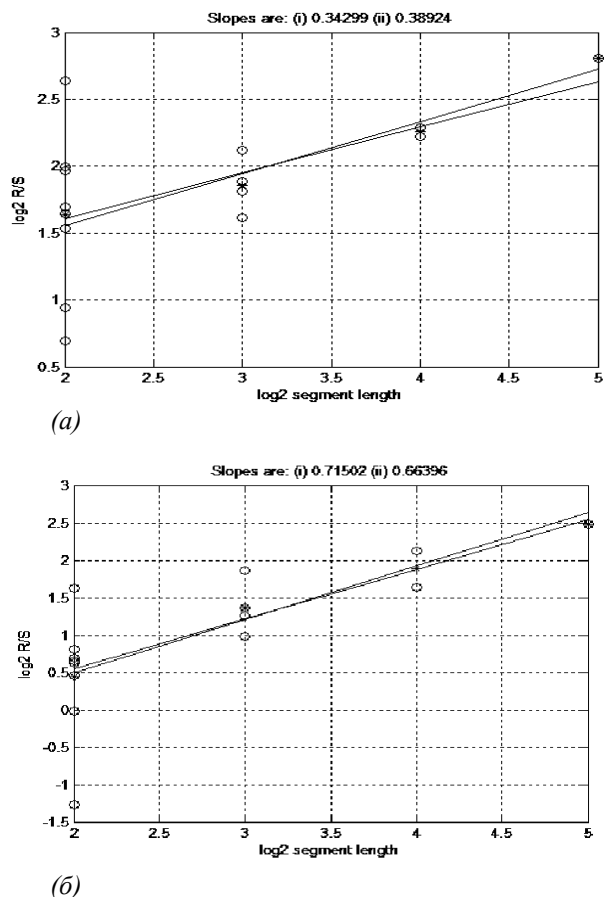


Рис. 3. Графики расчета показателя Херста для процесса передачи вагонов по стыкам

Трудность применения R/S -анализа на практике обусловлена не только его недостаточным распространением, но и отсутствием в настоящее время общепринятых методик интерпретации результатов для анализа случая антиперси-

стентных рядов, представляющих исследуемые экономические или же технологические процессы. В случае антиперсистентных процессов, а значит и соответствующих временных рядов, прогнозирование все же может быть обоснованным и выполненным с использованием известных методик. При этом, однако, следует учесть возможности существующих расчетных методик. Для обоснованной интерпретации результатов R/S -анализа можно поступать, например, следующим образом.

На основе исходного временного ряда формируется последовательность вспомогательных производных рядов, уровни которых являются средними значениями для рядом стоящих значений исходного временного ряда (рис. 4). Такая процедура осреднения выполняется до тех пор, пока новый, производный, ряд не окажется персистентным по данным измерения коэффициента Херста. Это требование всегда обеспечивается, поскольку в пределе ряд заменяется средним значением. Для практики такой результат часто вполне приемлем – предельной оценкой прогноза является среднее значение ряда за некоторый период измерения. Суммируя, приходим к следующему утверждению. При антиперсистентных свойствах (экономических, технологических и других) процессов можно обеспечить прогноз только производного ряда, полученного из суммарных значений показателей, рассчитанных за некоторый период. Интервал осреднения, разумеется, зависит от свойств временного ряда. При выборе этого интервала в качестве критерия можно использовать минимальное значение последовательных уровней ряда, при которых производный ряд становится персистентным или случайным.

Для антиперсистентного ряда рис. 2, а, оказалось достаточным одного цикла осреднения, чтобы соответствующий производный ряд, полученный за счет осреднения двух рядом стоящих уровней, стал персистентным, имеющим $H = 0,57$; для следующего шага, сформированного путем осреднения по 4-м рядом стоящим уровням ряда, значение показателя Херста равно $H = 0,7$. На основании этого можно сделать осредненные прогнозы значений ряда за два периода, или же более определенные на четыре.

Прогнозирование уровней временных рядов на основе обобщенного логистического отображения

В работе [7] приведены примеры применения предложенного в [6] метода использования обобщенного логистического отображения

[3, 4] для построения оперативного прогноза на один и два шага для числовых параметров вагонопотоков, представленных временными рядами, которые имеют различные свойства относительно показателя Херста – долговременной памяти о предыдущих реализации перевозок в течение определенного методом R/S -анализа срока.



(а)



(б)

Рис. 4. Графики процедуры осреднения исходного и антиперсистентного временного ряда по 2 и 4 уровням

Исследование свойств рядов параметров вагонопотоков позволили установить, что часто они имеют сложное поведение, похожее на «хаотическое». Известно, что существуют модели хаотической динамики, которые все больше применяются в экономических системах. Развитию этих исследований и посвящена работа. В ней для прогнозирования временных рядов было использовано модель обобщенного логистического отображения, задаваемого следующим рекуррентным соотношением:

$$x_{n+1} = \lambda x_n^\alpha (N - x_n^\beta), \quad (4)$$

где λ , α и β – разыскиваемые на основе метода наименьших квадратов (МНК) параметры модели;

N – максимальное значение уровней ряда.

Построение прогноза, в соответствии с вышеуказанным методом [6, 7], происходит рекуррентно. Отображение (1) является одномер-

ным нелинейным и использует лишь предварительный уровень ряда. Согласно [4, 5], даже простые нелинейные модели могут иметь при достаточном количестве уровней ряда поведение, подобное хаотическому, которое близко к случайному. При реализации метода [6] на практике прогнозирование выполняется на основе обобщения результатов расчетов для нескольких моделей вида (4). При этом параметры каждой модели рассчитывают методом МНК для фрагментов временных рядов различной длины. Прогнозирование на основе отражения (4) проводится на 1 или 2 шага. Общая схема расчета прогноза следующая:

1. По МНК проводится расчет параметров модели вида (1), когда используются 15, 10 и 5 предыдущих значений ряда.

2. Проводится построение прогноза на следующий период по найденным параметрам и определение следующего уровня ряда (или двух).

3. На основе прогнозов для 15, 10 и 5 предыдущих значений ряда рассчитывают среднее значение результатов моделей с 15 и 10, и 5 уровнями, так же и для 10 и 15 уровней.

4. Для расчета прогноза уровней на один и два шага вперед находят среднее значение для исходного ряда и его абсолютное отклонение от среднего. Добавляется абсолютное отклонение от средних значений моделей с 15 и 10, и 5, так же и для моделей с 10 и 15 предыдущими уровнями ряда.

Полученные на основе (4) результаты в целом свидетельствуют о достаточно приемлемых возможностях предложенного метода оперативного прогнозирования на основе обобщенного логистического отображения [6]. В частности, исследования свойств рядов отклонений, рассчитанных на основе различий между исходными рядами и моделями на основе логистического отображения, дают основания утверждать об адекватности последних [6, 7].

Выводы

Представлены результаты исследования технологических, а также экономических

свойств вагонопотоков на основе методов хаотической динамики. Рассмотрено две основные задачи – анализ статистических свойств процессов, прогнозирование уровней временных рядов. Установлено, что использование R/S -анализа позволяет уточнить процедуры прогнозирования, используя данные о показателе Херста. Исследованы возможности прогнозирования временных рядов на основе обобщенного логистического отображения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ширяев, А. Н. Основы стохастической финансовой математики [Текст] : Т. 1. Факты. Модели / А. Н. Ширяев. – М.: ФАЗИС, 1998. – 512 с.
2. Петерс, Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории хаоса в инвестициях и экономике [Текст] / Э. Петерс. – М.: Интернет-трейдинг, 2004. – 304 с.
3. Шарапов, О. Д. Економічна кібернетика [Текст] : навч. посібник / О. Д. Шарапов, В. Д. Дербенцев, Д. Є. Семьонов. – К.: КНЕУ, 2004. – 231 с.
4. Безручко, Б. П. Математическое моделирование и хаотические временные ряды [Текст] / Б. П. Безручко, Д. А. Смирнов. – Саратов: Гос. УНЦ «Колледж», 2005. – 320 с.
5. Сергеева, Л. Н. Моделирование поведения экономических систем методами нелинейной динамики (теории хаоса) [Текст] / Л. Н. Сергеева. – Запорожье: ЗНУ, 2002. – 227 с.
6. Скалзуб, В. В. Метод прогнозування часових рядів на основі логістичного відображення [Текст] / В. В. Скалзуб, І. В. Клименко. // Тез. докл. V-й Межд. науч.-практ. конф. «Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании». – Д., 2011. – С. 67-68.
7. Про застосування методу прогнозування на основі логістичного відображення для економічних часових рядів із довготерміновою пам'яттю [Текст] / Г. А. Крамаренко [та ін.] // Тез. докл. V-й Межд. науч.-практ. конф. «Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании». – Д., 2011. – С. 63-65.

Поступила в редколлегию 14.04.2011.

Принята к печати 26.04.2011.

ФОРМИ ЕФЕКТИВНОЇ РЕГІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ ТА УПРАВЛІННЯ

Визначено форми ефективної регіональної організації. За умов становлення багатоукладної ринкової економіки в Україні здійснюється пошук оптимального поєднання державного управління і ринкового саморегулювання. Тому реформування української економіки призвело до поглиблення кризових процесів, економічного спаду. Різноманітні завдання державного регулювання економіки вирішуються в результаті реалізації певних функцій: забезпечення ефективності, справедливості, сприяння макроекономічному зростанню й стабілізації.

Ключові слова: регіон, ресурси, грошові ресурси, ефективність, макроекономічне зростання, регіональне управління

Определены формы эффективной региональной организации. При условии становления многоукладной рыночной экономики в Украине осуществляется поиск оптимального соединения государственного управления и рыночного саморегулирования. Поэтому реформирование украинской экономики привело к углублению кризисных процессов, спада экономики. Разнообразные задачи государственного регулирования экономики можно разрешить в результате реализации таких функций: обеспечения эффективности, справедливости, макроэкономического роста и стабилизации.

Ключевые слова: регион, ресурсы, денежные ресурсы, эффективность, макроэкономический рост, региональное управление

The forms of efficient regional organization are determined. On condition of becoming of multistructural market economy the search of optimal combination of state administration and market self-regulation is carried out. Therefore, reformation of the Ukrainian economy resulted in deepening of crisis processes, slump of economy. The various tasks of government control of economy can be solved as a result of realization of such functions: providing of efficiency, justice, macroeconomic growth and stabilization.

Keywords: region, resources, financial resources, efficiency, macroeconomic growth, regional management

I. □ Вступ

Регіональна економіка та управління за останні роки є головною проблемою суспільного життя. Вона пронизує всі сторони українського життя: гальмує економічні реформи, визначає національне питання, ускладнює протиріччя.

Питання розвитку і взаємодії регіонів, взаємовідносин регіональних і центральних органів влади є надзвичайно актуальними для України. Адже відсутність обґрунтованої політики регіонального розвитку держави на попередньому етапі призвела не лише до зростання диспропорцій та загострення економічних і соціальних проблем, але й до суттєвої економічної й суспільно-політичної дезінтеграції держави.

II. □ Постановка завдання:

- дослідити процес створення ефективної регіональної організації;
- вказати особливості ефективного регіонального управління.

III. □ Результати

Джерела теорії економічного районування відносяться до початку XVIII ст. Тоді талано-

витий російський вчений Татищев В. М. відмітив територіальну диференціацію господарства Росії. Вперше була дана наукова картина територіального поділу праці для того часу.

Регіональна проблема пронизує всі сторони українського життя: гальмує економічні реформи, визначає національне питання, ускладнює протиріччя.

Питання розвитку і взаємодії регіонів, взаємовідносин регіональних і центральних органів влади є надзвичайно актуальними для України. Адже відсутність обґрунтованої політики регіонального розвитку держави на попередньому етапі призвела не лише до зростання диспропорцій та загострення економічних і соціальних проблем, але й до суттєвої економічної й суспільно-політичної дезінтеграції держави.

Зміцнення державності України вимагає створення єдиного господарського комплексу з ефективним використанням місцевих ресурсів, переваг територіального поділу праці та запобігання ускладнень на політичному, економічному, міжетнічному підґрунті, що повинна забезпечити регіональна політика як складова загальнодержавної політики.

Формами ефективної регіональної організації є територіально-виробничі комплекси, віль-

ні економічні зони, технопаркові структури тощо. Однією із раціональних форм організації виробництва можна визначити територіальні виробничі комплекси (ТВК), які дають можливість реалізувати ефект комплексу. Економічна єдність ТВК складається виробничими зв'язками підприємств, інфраструктурою, використанням економічних умов та ресурсів та ін.

Формування ТВК дає можливість отримувати економічний ефект за рахунок раціонального використання природних та трудових ресурсів, вторинної сировини та відходів виробництва, транспортних та інших комунікацій. Економічна ефективність виражається у використанні ресурсів, скороченні часу перерв між стадіями виробництва, зниженні транспортних витрат, збереженні довкілля.

Україна не має декретно визначених економічних районів, проте зараз Міністерство економіки розробляє державні територіальні програми соціально-економічного розвитку наступних регіонів:

- Донецького (Донецька та Луганська області);
- Придніпровського (Дніпропетровська, Запорізька, Кіровоградська області);
- Східного (Полтавська, Сумська, Харківська області);
- Центрального (м. Київ, Київська та Черкаська області);
- Поліського (Волинська, Житомирська, Рівненська, Чернігівська області);
- Подільського (Вінницька, Тернопільська, Хмельницька області);
- Причорноморського (Автономна Республіка Крим, Миколаївська, Херсонська, Одеська області та місто Севастополь);
- Карпатського (Закарпатська, Івано-Франківська, Львівська, Чернівецька області).

Регіональна господарська структура України, зумовлена адміністративно-територіальним устроєм, склалася переважно у народногосподарському комплексі Радянського Союзу і збереглася до цього часу, не ставши поки що предметом наукової оцінки її відповідності інтересам нової незалежної держави, *які* визначаються власною регіональною політикою.

Структура промислового комплексу регіонів за останні роки не зазнала вагомих змін, тому для більшості регіонів вирішальне значення продовжує відігравати одна-дві галузі. Так, пріоритетною галуззю промислового виробництва для регіонів є харчова промисловість та перероблення сільськогосподарських продуктів; для Дніпропетровської, Запорізької та Донецької областей – металургія та оброблення

металу; для Закарпатської та Сумської областей – машинобудування, для Луганської та Полтавської областей – виробництво коксу, продуктів нафтопереробки та ядерного палива; для Івано-Франківської, Миколаївської, Рівненської областей та м. Севастополь – виробництво та розподіл електроенергії, газу та води.

За умов становлення багатоукладної ринкової економіки в Україні здійснюється пошук оптимального поєднання державного управління і ринкового саморегулювання. Тому, реформування української економіки призвело до поглиблення кризових процесів, економічного спаду. Різноманітні завдання державного регулювання економіки вирішуються в результаті реалізації певних функцій: забезпечення ефективності, справедливості, сприяння макроекономічному зростанню й стабілізації.

Ще Платон і Аристотель робили спробу розробити ідеальну модель держави. Платон писав, що одні класи повинні працювати (селяни, ремісники, купці), стражники – воювати, а філософи управляти. Причому, Платон і Аристотель вважали демократію «неправильною» формою управління. До цієї думки схилялися й елітаристи, які стверджували, що влада завжди належала не народу, а невеликій групі людей (політичній еліті), яка завжди керується власними інтересами. Під впливом зміни умов розширеного відтворення формується концепція «неокласичного синтезу» – теорія рівноваги в умовах неповної зайнятості, в яку включений грошовий фактор. Ця нова версія кейнсіанської теорії одержала розвиток у працях Дж. Хікса і П. Самуельсона. Ідеї фіскалізму Кейнса з'єдналися з концепцією неокласиків, що передбачала регулювання економіки за допомогою грошово-кредитної політики (зміна дисконтної ставки, проведення операцій на відкритому ринку і т.п.). П. Самуельсон вводить в обіг термін «суспільний товар», під яким розуміють товари і послуги, що доставляються членам суспільства державою.

В ідею «суспільного товару» ставиться питання про розподіл ресурсів поміж державою і приватним сектором. На державу покладається фінансування економічних і соціальних інфраструктур, що в остаточному підсумку максимізують прибуток. На думку П. Самуельсона, задача фінансової політики полягає в тому, щоб забезпечувати регулюючі міри для сфер «суспільного товару».

З кінця 70-х років в основу фінансової політики Великобританії, США, ФРН і ряду інших країн було покладено неоконсервативну стратегію, пов'язану з неокласичним напрямком економічної думки. Вона має вираження в теорії пропозиції. Головним її положенням є обме-

ження економічної ролі держави, його втручання в господарське життя і, особливо, у соціальну область. У числі заходів цієї концепції – приватизація частини державної власності, посилення ринкового механізму конкуренції, перенесення центра ваги в економіці на проблему підвищення пропозиції, стимулювання виробництва, його ефективності. Головне місце приділяється підприємцю, в інтересах якого повинні вироблятися стимули, що підвищують його активність і продуктивність.

Принципи регіональної політики, які застосовуються в сучасний час, обумовлені зовнішніми та внутрішніми умовами:

- екологічний захист України, який пов'язаний з національно-етнічними питаннями традиційного природовикористання;
- галузевий принцип спеціалізації регіонів, що здійснюється з довгостроковою програмою економічних реформ України;
- формування рівних стартових умов, подолання регіональних різниць до рівня розвитку територіальної структури господарських, соціальних та екологічних обставин.

У регіональній проблемі існує проблема: кому допомагати – віддаючи перевагу людям, необхідно слідкувати за територіальною структурою суспільства. Навіть самий відсталий регіон є батьківщиною частини населення, і в цій якості він заслуговує на допомогу населенню.

Існує декілька проблем, які відрізняються особливою складністю у регіональній тематиці:

1. Власність на ресурси;
2. Фонд субвенцій;
3. Розподіл податків;
4. Права властей на регулювання суспільного життя.

Дуже складним і невирішеним є державне регулювання фінансового ринку і грошового обігу. Регулювання грошового обігу насамперед переслідує мету боротьби з інфляцією.

Елементом державного регулювання стає застосування до підприємств процедури банкрутства. Фінансова стійкість виражається коефіцієнтами, що різнобічно оцінюють структуру балансу. Їх мета – оцінка ступеня незалежності підприємства від випадків, зв'язаних з умовами ринку, звичайними зривами договорів, неплатежами й ін.

Головними критеріями оцінки фінансового стану є показники платоспроможності і фінансової стійкості підприємства. Схема оцінки – розрахунок за даними балансу коефіцієнтів фінансової стійкості і зіставлення їхніх рівнів із нормативами, установленними експертно чи

офіційно. Платоспроможність підприємства можна вимірювати:

- коефіцієнтом ліквідності – у розрахунок приймаються найліквідніші оборотні активи – кошти і короткострокові фінансові вкладення;

- проміжним коефіцієнтом покриття – до ліквідних активів додається дебіторська заборгованість;

- загальним коефіцієнтом покриття (чи коефіцієнтом поточної ліквідності) – додаються і запаси, тобто це практично розрахунок усієї суми оборотних активів на 1 грн. короткострокової заборгованості. Цей показник прийнятий як офіційний критерій неплатоспроможності підприємства. Його перевага в тому, що він враховує весь розмір оборотних активів. Але при цьому треба мати на увазі, що за складом оборотні активи різномірні за ступенем ліквідності. Оцінка рівня даного коефіцієнта без обліку цих обставин може призвести до наближених висновків.

Більшість підприємств, орієнтуючись на зріст коефіцієнта поточної ліквідності, одночасно створює умови для росту коефіцієнта забезпеченості власними засобами. Офіційні критерії платоспроможності оцінюють один аспект фінансового стану – забезпеченість короткострокової заборгованості оборотними активами.

При мінімальному нормативному значенні коефіцієнта поточної ліквідності дає мінімально необхідний рівень коефіцієнта забезпеченості власними коштами. При коефіцієнті поточної ліквідності на рівні 2 коефіцієнт забезпеченості власними засобами може дорівнювати 0,1 чи навіть нижче цього розміру, якщо довгострокові і короткострокові пасиви і збитки близькі по сумі до власних оборотних коштів. Якщо перераховані величини більше в сукупності власних оборотних коштів, то коефіцієнт забезпеченості власними засобами може виявитися негативною величиною. Однак важко припустити, що в таких умовах коефіцієнт поточної ліквідності буде мати високе кількісне значення: при великих збитках висока короткострокова заборгованість за рахунок того, що власний капітал не має реальних джерел поповнення.

Існує зв'язок між коефіцієнтами: дуже низькому коефіцієнту поточної ліквідності відповідає дуже високий негативний коефіцієнт забезпеченості власними засобами. Якщо коефіцієнт поточної ліквідності < 1 , то коефіцієнт забезпеченості власними засобами обов'язково буде негативним.

Коли коефіцієнт поточної ліквідності < 1 , це не тільки кількісно низька величина, але і кількісно інший рівень забезпеченості короткострокової заборгованості оборотними активами. Єдиний спосіб підвищення коефіцієнта –

пряме скорочення боргів і заміщення їх власним капіталом, фінансову стійкість підприємств оцінюють:

- коефіцієнтом забезпеченості запасів власними коштами – відношення оборотних коштів до матеріальних оборотних активів;
- коефіцієнтом реальної вартості майна – частка виробничого потенціалу / основні засоби + виробничі запаси + незавершене виробництво + МШП / у загальній величині активів;
- коефіцієнтом маневреності власних засобів – відношення власних коштів до суми капіталу і резервів;
- індексом постійного активу – розподіл необоротних активів на вартість капіталу і резервів;
- коефіцієнтом автономії підприємства – відношення капіталу і резервів до загальної величини пасивів;
- коефіцієнтом довгострокового залучення позикових засобів – відношення довгострокових кредитів і позик коефіцієнт до всієї суми заборгованості підприємства.

Деякі коефіцієнти дублюють один одного чи суперечать один одному, або в сучасних умовах не мають практичного значення.

Коефіцієнт маневреності власних засобів і індекс постійного активу знаходяться у функціональній залежності і при додаванні, як правило, дають одиницю. Ріст одного приводить до зниження іншого. Крім того, оцінювати фінансову стійкість по кожному з цих коефіцієнтів недоцільно, тому що їхній рівень залежить від структури майна і специфіки діяльності підприємства, а зріст /зниження/ не обов'язково означає підвищення /зниження/ фінансової стійкості.

Коефіцієнт автономії підприємства повторює коефіцієнт співвідношення позикових і власних засобів. Коефіцієнт довгострокового залучення позикових засобів не працює, якщо довгострокові кредити в підприємств відсутні.

Перші три показники мають самостійне значення і характеризують один з аспектів фінансової стійкості. Тому важливу роль здобувають форми капіталу, які можна представити у вигляді наступних умов:

- 1) установлення складу і структури фінансового капіталу;
- 2) визначення потреби фінансового капіталу;
- 3) виявлення джерел формування фінансового капіталу;
- 4) оптимізація фінансового капіталу;

5) ефективність використання фінансового капіталу.

Докладна характеристика складу фінансового капіталу свідчить про те, що найбільшу питому вагу становлять основні і оборотні фонди. До оборотних фондів деякі автори пропонують відносити засоби в запасах і засоби у виробництві. Однак, можна представити класифікацію обігового капіталу по ступені планування, як нормований оборотний капітал і ненормований. Це зв'язано з потребами практики й орієнтацією на інтенсивні фактори розвитку.

Реалізація представленої характеристики полягає в кількісній оцінці впливу кожного виду оборотного капіталу на кінцевий результат. До нормованого оборотного капіталу можна віднести засоби в запасах (предмети праці, знаряддя праці); засоби у виробництві (незавершене виробництво, витрати майбутніх періодів) і частину фондів звертання (готова продукція). Ненормований оборотний капітал доцільно представити як товари, гроші і дебіторська заборгованість.

Створення ринкової економіки припускає існування норм та правил поведінки, регулюючих взаємовідносини суб'єктів господарювання. Важко прогнозувати економічні зміни в Україні, де в плин 70 років задовольнялися ідеї колективізму, соціальної залежності. При нерозвиненості ринкових механізмів координації зростає вага неринкових або неекономічних факторів, зумовлюючих взаємодію господарських суб'єктів на основі досягнення компромісу між його економічними інтересами. Досягнення компромісу припускає наявність посилення як на мікрорівні, так і на макрорівні. На мікрорівні складається корпоративний механізм, на макрорівні роль судді здатна виконувати держава.

IV. Висновки

Системна криза українського суспільства (вичерпання інвестиційних ресурсів, падіння ефективності капіталовкладень, наростаючий бюджетний дефіцит) обумовила не тільки пошук практичних дій по його подоланню, але і визначення парадигми реформування системи держави.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Банківська енциклопедія [Текст] / під ред. А. М. Мороза. – К.: Ельтон, 1993. – 328 с.

Надійшла до редколегії 06.05.2011.

Прийнята до друку 10.05.2011.

ФІНАНСОВА БЕЗПЕКА НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

В статті на перший план для підприємств залізничного транспорту виходять питання підтримки та надання високого рівня фінансової безпеки. Таким чином, актуальність статті зумовлена саме цією проблемою. Недостатня увага до проблем фінансової безпеки на транспорті може призвести до втрати конкурентоспроможності, фінансової стійкості та фінансової незалежності підприємства. Завданням є забезпечення високого рівня фінансової безпеки на підприємствах залізничного транспорту.

Ключові слова: економічна безпека, фінансова безпека підприємства, коефіцієнт фінансової безпеки, залізничний транспорт

В статье на первый план для предприятий железнодорожного транспорта выходят вопросы поддержки и предоставления высокого уровня финансовой безопасности. Таким образом, актуальность статьи обусловлена именно этой проблемой. Недостаточное внимание к проблемам финансовой безопасности на транспорте может привести к потере конкурентоспособности, финансовой устойчивости и финансовой независимости предприятия. Задачей является обеспечение высокого уровня финансовой безопасности на предприятиях железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: экономическая безопасность, финансовая безопасность предприятия, коэффициент финансовой безопасности, железнодорожный транспорт

In the article the ways to support and provide a high level of financial security of railway transport are highlighted. Thus, the importance of the article is caused by this problem. Insufficient attention to the problem of financial security in this area may lead to loss of competitiveness, financial stability and financial independence of railway enterprises. The objective point is to provide a high level of financial security of the railway transport companies.

Keywords: economic security, financial security of company, rate of financial security, railway transport

Постановка проблеми

В умовах прискореної глобалізації світового господарства однією з найважливіших економічних проблем в Україні, починаючи з 90-х років ХХ століття, є зростання загроз фінансової та економічної безпеки, зокрема на підприємствах залізничного транспорту.

Недостатня увага до проблем фінансової безпеки може призвести до втрати конкурентоспроможності, фінансової стійкості та фінансової незалежності підприємства.

Таким чином, актуальність дослідження полягає у необхідності забезпечення високого рівня фінансової безпеки на підприємствах залізничного транспорту, розробки системи негативних факторів впливу на фінансову та економічну безпеку підприємств залізничного транспорту, виявлення внутрішніх і зовнішніх факторів, що призводять до погіршення стану фінансової безпеки, з метою прийняття стратегічних рішень, які можуть зупинити та захистити організацію.

Безпосередньо визначення оптимального рівня фінансової безпеки залізничного транспорту, що забезпечує досягнення високого рівня

конкурентоспроможності, фінансової стійкості, незалежності, платоспроможності.

Метою даної статті є характеристика поняття фінансової безпеки для підприємств залізничного транспорту, систематизація і виявлення факторів впливу на галузь залізничного транспорту задля завчасного попередження негативного впливу та прийняття заходів щодо підвищення рівня безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання, пов'язані з поняттям «фінансова безпека держави», останнє десятиліття є об'єктом дослідження таких вчених України як О. І. Барановський [1], М. М. Єрмошенко [2], М. І. Камлик [3], В. А. Копилов [4], В. С. Сідак та ін. [5].

Усі дослідження названих вчених спрямовані на теоретико-практичне обґрунтування необхідності захисту фінансових інтересів держави, розроблення теоретико-методологічних основ забезпечення її безпеки, на побудову поняттєвого інструментарію, тощо.

Відправною точкою в визначенні категорії «фінансова безпека підприємства» як загальної

наукової категорії, на наш погляд, може служити визначення безпеки підприємства, яке дав професор В. В. Крутов: «безпека підприємства – захищеність життєво важливих для нього інтересів від недобросовісної конкуренції, протиправної діяльності кримінальних структур і окремих осіб, нелояльності персоналу, здатність протистояти зовнішнім і внутрішнім загрозам, зберігати стабільність діяльності в різних соціально-економічних умовах і сприяти його розвитку відповідно до статутних цілей підприємства» [6]. Поняття фінансової безпеки підприємства в найбільш загальному вигляді сформулював професор І. А. Бланк таким чином: «фінансова безпека підприємства є кількісно і якісно детермінованим рівнем його фінансового стану, що забезпечує стабільну захищеність його пріоритетних, збалансованих інтересів від проідентифікованих реальних і потенційних загроз зовнішнього і внутрішнього характеру, параметри якого визначаються на основі його фінансової філософії і створюють необхідні передумови фінансової підтримки його стійкого росту в даному і перспективному періоді» [7].

У монографії колективу авторів за редакцією професора О. А. Кириченко і В. С. Сідака «проблеми управління економічною безпекою суб'єктів господарювання» обґрунтовано рекомендації щодо підходів та оцінки вибору різних систем організації управління безпекою [8].

Фінансова безпека підприємства – забезпечення умов збереження комерційної таємниці, інтелектуальної власності та інформації, захищеність підприємства від негативного впливу зовнішнього середовища, тобто здатність підприємства протистояти несприятливому зовнішньому впливові, а також здатність швидко реагувати на різноманітні зовнішні загрози.

З позицій ресурсно-функціонального підходу фінансову безпеку підприємства розглядають як процес найбільш ефективного використання корпоративних ресурсів для уникнення загроз і забезпечення стабільного функціонування підприємства в поточному і майбутньому періоді.

Фінансова безпека підприємства залежить від ефективності використання капіталу, якості корпоративного управління і фінансового менеджменту, оновлення технологій та інформаційної бази [8].

Важливими умовами і елементами у забезпеченні нормального функціонування підприємства є оцінка і управління економічними ризиками та адаптація до змін ринкової кон'юнктури.

Отже, фінансова безпека підприємства – це складова економічної безпеки підприємства, яка являє собою такий стан підприємства, що:

- дозволяє забезпечити фінансову стійкість, платоспроможність, ліквідність та достатню фінансову незалежність підприємства у довгостроковому періоді;

- забезпечує оптимальне залучення та ефективне використання фінансових ресурсів підприємства;

- дозволяє ідентифікувати небезпеки та загрози стану підприємства та розробляти заходи для їх вчасного усунення;

- дозволяє самостійно розробляти та впроваджувати фінансову стратегію;

- має бути оцінена кількісними та якісними показниками, які мають граничні значення.

Організація фінансової безпеки у складі економічної на підприємствах залізничного транспорту

Для всіх промислово розвинених країн стабільність економічної системи багато в чому залежить від роботи транспорту.

Здорова конкуренція серед різних його видів змушує шукати шляхи для найефективнішого функціонування, отримання максимального прибутку, зниження собівартості перевезень, підвищення якості та обсягів послуг.

На подібних засадах будується робота залізничного транспорту. Тому для забезпечення стабільного і прибуткового функціонування слід застосовувати методи та засоби, які надає економічна та фінансова безпека для підприємства.

В даній роботі нами розглянуто як саме відбувається забезпечення економічної та фінансової безпеки як основної її складової на підприємствах залізничного транспорту України.

Українські залізниці – потужна транспортна система, яка за розмірами, обсягами перевезень і рівнем застосування технічних засобів посідає чільне місце в СНД.

Залізничний транспорт є однією з найважливіших базових галузей економіки України, забезпечує її внутрішні та зовнішні транспортно-економічні зв'язки і потреби населення у перевезеннях [9].

Діяльність залізничного транспорту як частини єдиної транспортної системи країни сприяє нормальному функціонуванню всіх галузей суспільного виробництва, соціальному та економічному розвитку та зміцненню обороноздатності держави, міжнародному співробітництву України [9]. В даній роботі нами запропонова-

но розглянути економічну та фінансову безпеку на рівні підприємств залізничного транспорту України. Нами досліджено, що розглядати фінансову безпеку окремо від економічної неможливо.

Оскільки фінансова безпека підприємства є основною та найбільш вагомою складовою економічної безпеки.

Таким чином фінансова безпека у складі економічної – це комплекс заходів, які формують досконалу систему діяльності підприємства, забезпечують подальше та стабільне функціонування в цілому, оскільки розглядають внутрішні та зовнішні фактори та загрози для підприємства.

Комплекс економічної безпеки на чолі з фінансовою охоплює таку структуру функціональних складових:

- фінансова складова;
- інтелектуальна і кадрова складова;
- техніко-технологічна складова;
- політико-правова складова;
- екологічна складова;
- інформаційна складова;
- силова складова.

В свою чергу, фінансова безпека як головна складова являє собою такий стан підприємства, що [10]:

- дозволяє забезпечити фінансову стійкість, платоспроможність, ліквідність та достатню фінансову незалежність підприємства у довгостроковому періоді;
- забезпечує оптимальне залучення та ефективне використання фінансових ресурсів підприємства;
- дозволяє ідентифікувати небезпеки та загрози стану підприємства та розробляти заходи для їх вчасного усунення;
- дозволяє самостійно розробляти та впроваджувати фінансову стратегію;
- має бути оцінена кількісними та якісними показниками, які мають граничні значення.

В умовах переходу економіки до ринкових відносин підприємства залізничного транспорту України, використовуючи права господарської самостійності, прагнуть підвищити ефективність роботи залізниць, закріпити їх роль на транспортному ринку, тому використання фінансової безпеки як складової економічної є дуже актуальним у наш час.

До того ж існує необхідність всебічного наукового аналізу і розробки системи показників фінансової безпеки транспортних підприємств, виявлення внутрішніх і зовнішніх факторів, що

призводять до втрати фінансової безпеки з метою вибору та обґрунтування стратегій, що протидіють цій тенденції.

Як ніколи актуальною є необхідність визначення оптимального рівня фінансової безпеки транспортного підприємства задля досягнення його стійкості як в короткостроковому, так і довгостроковому періодах.

Щодо самого поняття фінансової безпеки на підприємствах залізничного транспорту слід брати до уваги особливості функціонування цього державного підприємства, оскільки воно помітно відрізняється від інших.

Залізниця – державне територіально-галузеве об'єднання, до складу якого входять підприємства, установи й організації залізничного транспорту і яке, при централізованому управлінні, здійснює перевезення пасажирів та вантажів у визначеному регіоні транспортної мережі.

Реформування залізничного транспорту з метою підвищення ефективності та стійкості його функціонування, конкурентоспроможності та економіко-технічного потенціалу визначає необхідність нових підходів до методології та організації управління економічними процесами в галузі [11].

Необхідно організувати комплексний і достовірний збір інформації про функціонування не окремих підрозділів, а всієї залізничної галузі, що дозволить об'єктивно та правильно визначити фінансові загрози та сприяти їх швидкому подоланню. Це дозволить оптимізувати процес використання свого власного капіталу для збільшення суми чистого прибутку, дасть змогу керувати рентабельністю.

Укрзалізниця вважається монопольною організацією, для своєї безперервної фінансової діяльності та стратегічного розвитку вона має практично необмежені можливості, прогресивну та прибуткову діяльність, що є завжди актуальним поняттям. Проте як і будь-які інші компанії, вона схильна до загроз, порушення фінансових інтересів, і, відповідно, втрат фінансового характеру.

Нами встановлено, що особливо важливим у процесі тривалого функціонування монополії за відсутності довгострокового стимулювання з боку конкурентної боротьби, слід приділяти достатньо уваги проблемам фінансової стабільності та фінансовій складовій економічної безпеки, аби організація не почала діяти гірше та не стала вразливою до негативних впливів та загроз, які в свою чергу можуть призвести до

негативних наслідків навіть на національному рівні.

Надто часто фінансову безпеку підприємства розглядають як фінансову спроможність. На наш погляд, фінансова спроможність є більш розмитим поняттям, яке не враховує багато важливих факторів, які відіграють не останню роль.

Вона не чітко відображає саму сутність фінансової безпеки як класу чи категорії економічної, вона більш посиляється на показники звітності, які можуть приховати безліч вагомих факторів, не можуть дати чіткої відповіді та спрогнозувати більш достовірні прогнози на майбутнє. Зовсім не звертає уваги на такі фактори як юридична або інформаційна захищеність, ринкові умови, стан політичного фактору, що є немало важливим для підприємств залізничного транспорту.

Фінансова безпека у складі економічної – це стан найбільш ефективного використання корпоративних ресурсів, виражений у найкращих значеннях фінансових показників прибутковості, рентабельності, платоспроможності, якості управління та використання основних і оборотних коштів, структури його капіталу, наявності високого рівня інвестицій, сприятливого впливу зовнішніх та внутрішніх факторів, тощо.

Характеристика фінансової безпеки на підприємствах залізничного транспорту

Забезпечити надійний захист фінансової безпеки на підприємствах залізничного транспорту можливо лише при комплексному та системному підході до її організації.

Система фінансової безпеки підприємства – це комплекс технічних, профілактичних і організаційно-управлінських заходів, спрямованих на захист підприємства від внутрішніх та зовнішніх загроз.

Як зазначено вище, до основних складових системи економічної безпеки відносяться: фінансова, кадрова, виробничо-технологічна, інвестиційна, інформаційна, інтелектуальна, політико-правова та екологічна.

Виробничо-технологічна складова на підприємствах залізничного транспорту характеризується перш за все технічним станом та рухом основних виробничих засобів. Основні фонди залізничного транспорту потребують оновлення та нових інвестицій. Через старіння парку пасажирських вагонів щорічно зростають витрати на ремонт.

Інформаційна складова підприємства передбачає отримання інформації, що цікавить, та ретельний і постійний її захист.

Кадрова складова охоплює взаємозв'язані і водночас самостійні напрями діяльності того чи того суб'єкта господарювання, котрі зорієнтовано на роботу з персоналом підприємства, на підвищення ефективності діяльності всіх категорій персоналу.

Інтелектуальна складова підприємства націлена на збереження й розвиток інтелектуального потенціалу, тобто сукупності прав на інтелектуальну власність або на її використання, та на поповнення знань і професійного досвіду працівників підприємства [10].

Політико-правова безпека підприємства – це захист від надмірного податкового тиску, нестабільного законодавства, неефективної роботи юридичного відділу підприємства.

Екологічний критерій економічної безпеки на підприємствах залізничного транспорту характеризується показниками: показник екологічної загрози.

Інвестиційній складовій залізничного транспорту слід приділити більшу увагу, оскільки незадовільний стан основних засобів потребує нових вкладень.

Тяжким тягарем для всіх видів транспорту є податок на прибуток та податок на додану вартість, що не дозволяють знижувати тарифи та проводити активну інвестиційну політику по оновленню морально і фізично застарілих основних виробничих фондів [11].

Економічна криза, що розпочалася в кінці 2008 року, різко знизила потреби у вантажних перевезеннях. У середині 2009 року обсяги перевезень в порівнянні з 2008 роком скоротилися на 30 %, що відповідає показникам виробництва основних вантажних галузей.

За прогнозами, після невеликого терміну стабілізаційного періоду в середині 2012 року обсяги виробництва і, відповідно, перевезень досягнуть рівня 2008 року [12].

Враховуючи особливості залізничного транспорту, інерційність його розвитку, тривалі терміни служби основних фондів, темпи та обсяги інвестування не можуть точно відповідати обсягам і темпам виробництва й перевезень.

Тому просто необхідно внести зміни до законодавчої бази, що дозволить привабити нові інвестиції у залізничний транспорт.

Наявність економічного суб'єкта зі своїми інтересами і цілями автоматично припускає наявність відповідно до цих інтересів і цілей факторів ризику (загроз) на залізничному

транспорті. Нами розглянуто фактори ризику в економічній безпеці на підприємствах залізничного транспорту в аспекті макроекономічних загроз за такими сферами діяльності як виробнича, фінансова та соціальна [13].

Як відомо, на відміну від інших суб'єктів господарювання, підприємства залізничного транспорту характеризується додатковими іншими показниками фінансового стану, що притаманні для даного виду діяльності.

Для залізничного транспорту перевезення вантажів історично є основною роботою. Вантажні перевезення на залізничному транспорті характеризуються рядом показників. Основними з них є:

- обсяг перевезень (вантажообіг та пасажирообіг);
- кількість відправлень та щільність перевезень;
- середня дальність перевезень;
- нерівномірність перевезень та інші якісні показники [13].

Продукцією залізничного транспорту є перевезення, а видами продукції – вантажні та пасажирські перевезення, перевезення за видами тяги, сполучень, категоріями потягів, операціями перевізного процесу, за типами вагонів, родами вантажів, тощо.

Проаналізувавши дослідження вчених, можемо стверджувати, що загрози економічній безпеці на підприємствах залізничного транспорту, які відносяться до виробничої сфери, поділяються на:

- зниження рівня безпеки процесу перевезення на залізничному транспорті викликане низьким рівнем надійності експлуатаційної техніки;
- значний фізичний та моральний знос матеріально-технічної бази, внаслідок низьких темпів оновлення та зниження інвестиційної активності;
- зниження ефективності організації й управління процесом перевезення при недостатньому впровадженні нових технологій.

До фінансової сфери належать:

- збитковість пасажирських перевезень;
- зниження державної підтримки інвестиційних програм розвитку галузі.

До соціальної:

- значний розрив в оплаті праці робітників залізничної галузі у порівнянні з іншими базовими галузями;

- значне збільшення заробітної плати у порівнянні з ростом продуктивності праці.

Забезпечення всебічної безпеки підприємства потребує створення спеціального підрозділу з метою реалізації захисних заходів – служби безпеки. Створення служб безпеки обумовлено загостренням конкурентної боротьби на зовнішньому та внутрішньому ринках та поширенням промислового шпionажу. Головним завданням служб економічної безпеки є захист підприємства від внутрішніх за зовнішніх загроз [13].

До зовнішніх загроз фінансової безпеки на підприємствах залізничного транспорту належать:

- індекс інфляції в країні;
- кон'юнктура ринку серед всіх видів транспорту;
- коефіцієнт інвестицій у різні сектори економіки країни;
- рівень конкурентоспроможності залізничного транспорту в порівнянні з іншими видами транспорту;
- коефіцієнт інвестицій вкладених у залізничний транспорт;
- динаміка попиту на залізничному транспорті.

Загрози зовнішнього середовища наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Класифікація зовнішніх факторів фінансової безпеки

Рівні зовнішніх загроз	Фактори фінансово-економічної безпеки
1	2
Мегарівень	Географічне положення країни, наявність транзитних шляхів
	Рівень інтеграції, об'єм та структура зовнішньоекономічного співробітництва
	Наявність та розвиток транзитного сектору сусідніх країн
Макрорівень	Кон'юнктура валютного ринку
	Інвестиційний клімат країни
	Соціально-економічна ситуація в країні
	Рівень корупції
	Рівень криміналізації суспільства

Таблиця 1 (закінчення)

1	2
Мезорівень	Неефективне фінансове планування, негнучка система планування
	Низькі показники корпоративного управління
	Відсутність фінансової стратегії
	Відсутність чіткої системи контролю над фінансовими потоками
	Взаємовідносини з партнерами, що мають погану репутацію

За визначенням економічного словника-довідника за ред. Мочерного С. В, мегарівень характеризує економічні зв'язки та процеси на рівні з іншими країнами та між ними; макрорівень – сферу економічної діяльності на рівні держави; мезорівень, у свою чергу, з 1990 року характеризує рівень між країною та рівнем окремих компаній, об'єднань, організацій та обумовлює стан на самому підприємстві, тощо. В свою чергу, мікрорівень являє собою економічні процеси та явища всередині самого підприємства, організації, тощо.

Внутрішні фактори фінансової безпеки на підприємствах залізничного транспорту мають числове значення і можуть бути оцінені кількісними методами – вони наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Фактори фінансової безпеки мікрорівня виробничої діяльності транспортного підприємства

Рівень внутрішніх загроз	Назва фактору
1	2
Мікрорівень середовища ведення бізнесу	Рентабельність як відношення чистого прибутку до всього капіталу
	Фондовіддача як відношення виручки до середньої вартості основних засобів (розглядається окремо за видами діяльності)
	Відносний приріст ділової активності підприємства як середнє відношення нетто-виручки до активів
	Платоспроможність підприємства як відношення дебіторської заборгованості, фінансових вкладень і грошових коштів до короткострокових зобов'язань
	Структура оборотного капіталу

Таблиця 2 (закінчення)

1	2
Мікрорівень середовища ведення бізнесу	Запас фінансової міцності
	Юридична захищеність руху грошових потоків
	Відношення власних коштів до позикового іноземного капіталу (в умовах фінансової кризи)
	Структура активів підприємства як відношення залучених коштів до власних
	Фінансова незалежність підприємства як відношення власного капіталу до активів
	Структура довгострокового капіталу як відношення довгострокових зобов'язань до позаоборотних активів
	Кредитна політика підприємства
	Тривалість фінансового циклу як різниця тривалості операційного циклу та періоду погашення кредиторської заборгованості
	Період обороту кредиторської заборгованості
	Різниця між термінами погашення кредиторської та дебіторської заборгованості

За методом експертних оцінок автором виявлено найбільш значимі показники, які відносяться до внутрішнього середовища впливу та їх критичні значення, що притаманні підприємствам залізничного транспорту [14].

Інформацію розміщено у табл. 3.

Таблиця 3

Найбільш значимі внутрішні фактори та їх критичні значення

Назва показника	Критичні значення
1	2
Приріст ділової активності	min = 0,2 max = 1
Рентабельність підприємства	min = 0,15 max = 0,5

Таблиця 3 (закінчення)

1	2
Платоспроможність підприємства	min = 1 max = 2
Розмір критичної виручки	-
Запас фінансової міцності	min = 0,4 max = 1
Фінансова незалежність	min = 0,5 max = 1

Висновки

За результатами наукової статті, нами досліджено найголовніше питання забезпечення фінансової безпеки на підприємствах залізничного транспорту, визначено систематичну розробку показників впливу на фінансову та економічну безпеку підприємств залізничного транспорту як на зовнішньому, так і на внутрішньому рівнях, включаючи макrorівні, мікрорівні, мезорівні та мегарівні, виявлено найбільш значимі з внутрішніх факторів для підприємств залізничного транспорту, встановлено їх критичні значення. Визначено поняття фінансової безпеки саме на підприємствах залізничного транспорту з урахуванням всіх притаманних цій галузі нюансів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Барановський, О. І. Фінансова безпека в Україні (методологія оцінки та механізми забезпечення) [Текст] : монографія / О. І. Барановський. – К.: Нац. торгово-економічний ун-т, 2004. – 759 с.
2. Єрмошенко, М. М. Фінансова безпека держави: національні інтереси, реальні загрози, стратегія забезпечення [Текст] : навч. посібник / М. М. Єрмошенко. – К.: Нац. торгово-економічний ун-т, 2001. – 307 с.
3. Камлик, М. І. Економічна безпека підприємницької діяльності (економіко-правовий аспект) [Текст] : навч. посібник / М. І. Камлик. – К.: Атіка, 2005. – 432 с.

4. Копилов, В. А. Метрологічні підходи до оцінювання рівня фінансової безпеки держави [Текст] / В. А. Копилов, Т. І. Єфименко // Стратегічна панорама. – 2007. – № 2. – С. 38-45.
5. Сідак, В. С. Мораль і безпека особи, нації, держави [Текст]: історико-філософські нариси. АПН України / В. С. Сідак. – К.: Нац. акад. СБУ, 2001. – 221 с.
6. Крутов, В. В. Становлення та розвиток недержавної системи безпеки підприємництва в Україні [Текст] : навч. посібник / В. В. Крутов. – К.: Фенікс, 2008. – 406 с.
7. Барановський, О. І. Фінансова безпека [Текст] : монографія / О. І. Барановський. – К.: Ін-т економічного прогнозування, 1999. – 338 с.
8. Захаров, О. І. Організація та управління економічною безпекою суб'єктів господарської діяльності [Текст] : навч. посібник / О. І. Захаров, П. Я. Пригунов. – К.: КНТ, 2008. – 257 с.
9. Закон України «Про залізничний транспорт» від 04.07.1996 № 273/96-ВР [Текст]. Із змінами і доповненнями, внесеними законами України від 10 січня 2002 року № 2921-ІІІ, від 22 травня 2003 року № 860-ІV.
10. Тамбовцев, В. О. Об'єкт экономической безопасности [Текст]: В. О. Тамбовцев // Вопросы экономики. – 1994. – № 5. – С. 23-26.
11. Щелкунов, В. І. Основи економіки транспорту [Текст]: підручник / В. І. Щелкунов, Ю. Ф. Кулаєв. – К.: Кондор, 2011. – 392 с.
12. Шевченко, С. Ю. Оцінка потреби в інвестиційних ресурсах залізничного транспорту України [Текст]: / С. Ю. Шевченко // Інвестиції. – 2009. – № 6. – С. 50-59.
13. Иваненко, А. Ф. Анализ хозяйственной деятельности на железнодорожном транспорте [Текст] : учеб. для вузов ж/д трансп. / А. Ф. Иваненко. – М.: Маршрут, 2004. – 658 с.
14. Мец, В. О. Економічний аналіз фінансових результатів та фінансового стану підприємства [Текст]: навчальний посібник / В. О. Мец. – К.: Вища шк., 2003. – 289 с.

Надійшла до редколегії 19.05.2011.

Прийнята до друку 24.05.2011.

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТАРИФІВ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ У ПРИМІСЬКОМУ ТА РЕГІОНАЛЬНОМУ СПОЛУЧЕННІ

В роботі запропоновано принципи побудови тарифів на перевезення пасажирів у приміському та регіональному сполученнях з урахуванням можливості визначення рентабельності окремого поїзда.

Ключові слова: залізничний транспорт, пасажирське господарство, приміські перевезення, регіональне сполучення

В работе предложены принципы построения тарифов на перевозку пассажиров в пригородном и региональном сообщениях с учетом возможности определения рентабельности конкретного поезда

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пассажирское хозяйство, пригородные перевозки, региональное сообщение

In the article the principles of generating tariffs for the suburban and regional passenger transportations with a possibility of determining the profitability of a specific train are proposed.

Keywords: railway transport, passenger facilities, suburban and regional transportation

Вступ

Після реформування залізничної галузі будуть утворені окремі філії Державного акціонерного товариства залізничного транспорту загального користування, які потім будуть реорганізовані у приміські компанії з перевезення пасажирів. Тарифи на перевезення пасажирів у приміському сполученні повинні забезпечувати отримання компанією-оператором доходів від надання відповідних послуг у розмірі, який забезпечить компенсацію їх витрат з перевезень та формування економічно обґрунтованого прибутку. Для побудови таких тарифів необхідно детально визначити витрати конкретних приміських поїздів, встановити причини їх збитковості та запропонувати необхідні заходи щодо підвищення ефективності пасажирських перевезень. Автором у роботі [1] було запропоновано методику визначення витрат окремого приміського поїзда.

Постановка задачі

В даній роботі була поставлена мета – запропонувати новий принцип побудови тарифів з урахуванням витрат на перевезення пасажирів конкретним приміським поїздом, сформованого з певного рухомого складу, який рухається з визначеною швидкістю, має певний рівень комфорту і класності та конкретний попит на перевезення у різні періоди року та дні тижня.

Результати

Розрахунок тарифів базується на фактичній собівартості перевезення пасажирів у примісь-

кому сполученні, яка визначається за принципами наведеними в роботі [1] з урахуванням Номенклатури витрат з основних видів економічної діяльності залізничного транспорту України та Інструкції з калькулювання собівартості перевезень на залізничному транспорті України.

Тарифи на перевезення пасажирів у повинні бути диференційовані залежно від:

- кількості поверхів у вагоні (одноповерховий та двоповерховий);
- виду рухомого складу (звичайні пасажирські вагони, електропоїзди, дизель-поїзди, рейковий автобус, поїзд-трамвай);
- виду поїзду (міський, приміський, регіональний);
- виду тяги (електротяга, дизельна);
- категорії поїзда за швидкістю (звичайний, швидкий, швидкісний);
- рівнем якості послуг (звичайний поїзд та підвищеного комфорту);
- класності вагонів електропоїздів та дизель-поїздів (1-й, 2-й та 3-й класи).

Під видами послуг розуміються послуги з перевезення пасажирів у приміському або регіональному сполученні у вагонах певного типу та у поїзді певної виду, категорії швидкості та рівня якості.

Вартість проїзду пасажирів залізничним транспортом складається із основних частин:

1. **Витрат на рухому операцію УЗ**, які відносяться до витрат ДАК «УЗ» і пов'язані:

- з роботою локомотивів ДАК «УЗ» в даному регіоні у приміському сполученні,

їх екіпіруванням, технічним обслуговуванням, поточним і капітальним ремонтом;

- утриманням, поточним і капітальним ремонтом інфраструктури залізниць ДАК «УЗ», на якій працюють приміські поїзди приміської компанії, та колійної техніки;
- матеріально-технічним забезпеченням об'єктів відповідної інфраструктури;
- утриманням організаційної структури ДАК «УЗ» в частині, що відноситься до приміських перевезень в даному регіоні;
- організацією руху приміських поїздів на заданому полігоні залізниць;

2. Витрат на рухому операцію приміської компанії, які відносяться до витрат компанії-оператора і пов'язані з роботою електропоїздів та дизель-поїздів компанії в приміському сполученні, їх екіпіруванням, технічним обслуговуванням, поточним і капітальним ремонтом;

3. Витрат на початкову та кінцеву операції (ПКО), які компенсують в основному витрати приміської пасажирської компанії (власниці рухомого складу), що пов'язані:

- з формуванням приміських пасажирських поїздів;
- роботою тепловозів, що знаходяться на балансі приміської компанії, їх екіпіруванням, технічним обслуговуванням, поточним і капітальним ремонтом;
- утриманням, технічним обслуговуванням, поточним та капітальним ремонтом приміської та вокзальної інфраструктури, що належить компанії, або приміщень та будівель, що знаходяться в оренді;
- утриманням, технічним обслуговуванням, поточним та капітальним ремонтом моторвагонного депо, що знаходяться на балансі приміської компанії, або в оренді;
- наданням інших послуг сторонніми організаціями.

В роботі [1] було запропоновано розрахунок витрат окремого приміського пасажирського поїзду, що дозволило перейти до побудови тарифів за формулою (1):

$$BC_{\Pi}^i = \frac{B_{\Pi}^i N^i 10^3 L_p^i K_p^i}{HL^i} = \frac{N^i 10^3 L_p^i K_p^i}{HL^i} (B_{\Pi\text{пк}}^i + B_{\Pi\text{уз}}^i), \quad (1)$$

де B_{Π}^i – витрати на роботу, утримання, обслуговування та ремонт i -го приміського пасажирського поїзду певного типу на заданому полігоні залізниць за один рейс, грн;

N^i – середньорічна кількість приміських пасажирських поїздів i -го напрямку на заданому полігоні залізниць, яка виконана рухомим складом одного типу, коп./10 пас.-км;

L_p^i – розрахункова відстань, за допомогою якою розраховується тариф на i -му напрямку руху;

HL^i – пасажирооборот i -го приміського пасажирського поїзда за один повний рейс, що виконується на заданому полігоні залізниць у заданому напрямку руху, пас.-км;

$B_{\Pi\text{пк}}^i$ – витрати приміської пасажирської компанії на роботу, утримання, обслуговування та ремонт i -го приміського пасажирського поїзду певного типу та утримання власної приміської інфраструктури на заданому полігоні залізниць за один рейс, грн;

$B_{\Pi\text{уз}}^i$ – витрати ДАК «УЗ» на роботу, утримання, обслуговування та ремонт i -го приміського пасажирського поїзду певного типу та залізничної інфраструктури на заданому полігоні залізниць за один рейс, грн;

K_p^i – коефіцієнт рентабельності перевезень на i -му приміському поїзді, який враховує:

- попит на перевезення пасажирів в даному напрямку – K_1 ;
- передчасну доставку пасажирів до місця призначення в швидкому або швидкісному i -му поїзді – K_2^i ;
- якість послуг у поїздах підвищеного комфорту або фірмових поїздах регіонального та міжрегіонального сполучення – K_3^i , яку не можливо повністю врахувати у собівартості перевезень:

$$K_p^i = K_1 \cdot K_2^i \cdot K_3^i, \quad (2)$$

Коефіцієнт K_1 визначається залежно від попиту на перевезення в даному напрямку руху в середньому за рік. Коливання попиту на перевезення у пікові періоди враховується додатково за формулою (3). З метою зменшення нерівномірності пасажирських перевезень у часі доцільно запровадити систему диференціації тарифів за періодами упродовж року або тижня.

Для цього запропоновані коефіцієнти, які були розроблені Гненним О. Г. в науково-дослідній роботі [2].

Попит на послуги з перевезень пов'язаний з їх тарифами зворотною залежністю. Тому, для зменшення попиту у періоди пікових переве-

зень, необхідно підвищувати плату за проїзд, а для його стимулювання у періодах спаду перевезень плату за проїзд необхідно зменшувати. Таким чином, коефіцієнти до тарифів, які підвищують їх рівень, необхідно використовувати у періодах, коли інтенсивність роботи залізничного транспорту з перевезення пасажирів вища за середню, а коефіцієнти, що зменшують рівень тарифів, – у періодах з меншою інтенсивністю пасажирських перевезень. За показник, що характеризує інтенсивність роботи транспорту, доцільно використовувати середньодобовий пасажирооборот. Такими чином, напрямок зміни тарифів задається індексами, які визначаються за формулою:

$$I_i = \frac{\sum HL^k / t_r}{\sum HL / T}, \quad (3)$$

де I_r^k – індекс добового пасажирообороту в r -му календарному періоді для k -го напрямку, рази;

$\sum HL_r^k$ – пасажирооборот у приміському та регіональному сполученні у r -му календарному періоді для k -го напрямку, пас-км;

t_r – тривалість r -го календарного періоду, дів;

$\sum HL$ – загальний річний пасажирооборот компанії у приміському та регіональному сполученні, пас-км;

T – тривалість року, дів.

Якщо у r -му календарному періоді для k -го напрямку індекс I_r^k буде більший за одиницю, до тарифів слід застосовувати підвищуючий коефіцієнт, а якщо I_r^k менше – слід використовувати понижуючий коефіцієнт. При цьому, чим більше I_r^k відрізняється від одиниці, тим більше ступінь коригування тарифів.

Оскільки диференціація тарифів за періодами упродовж року не ставить за мету отримання додаткового доходу, розрахунковий дохід з урахуванням застосування коефіцієнтів повинен дорівнювати доходу від перевезень, який буде отриманий без їх застосування.

Аналогічно до коефіцієнтів диференціації тарифів упродовж року можуть бути визначені коефіцієнти диференціації тарифів за днями тижня.

Коефіцієнти до тарифів можуть бути диференційовані за типами вагонів, для чого проводиться окремий розрахунок для кожного типу вагону за викладеним вище порядком з дифе-

ренціацією вихідних даних щодо пасажирообороту та доходів від перевезень пасажирів у внутрішньому сполученні за типами вагонів.

В науковій роботі [2] коефіцієнт, що враховує категорію поїзда за швидкістю, враховує додаткову привабливість для пасажирів перевезень з більшою швидкістю та визначається за формулою:

$$K_2 = 1 + \frac{B_{zod}}{\bar{c}} \cdot \left(\frac{1}{V_b} - \frac{1}{V_i} \right) \cdot 10^3, \quad (4)$$

де $\bar{c}$ – середня собівартість одиниці пасажирських перевезень у внутрішньому сполученні, коп./10 пас-км;

B_{zod} – вартісна оцінка однієї пасажиро-години, грн/пас-год.;

V_b – середня маршрутна швидкість перевезень базового виду послуг (пасажирський поїзд), км/год;

V_i – середня маршрутна швидкість перевезень виду послуг, що розглядається, км/год.

Середня собівартість одиниці перевезень пасажирів у приміському та регіональному сполученні визначається за формулою:

$$\bar{c} = \frac{B_{пко} + B_{ро}}{\sum HL}, \quad (5)$$

де $B_{пко}$, $B_{ро}$ – загальні витрати відповідно на початково-кінцеву та рухому операції у приміському сполученні, грн;

$\sum HL$ – загальний пасажирооборот, виконаний у базовому періоді у внутрішньому сполученні, пас-км;

Вартісна оцінка однієї пасажиро-години визначається за формулою:

$$B_{zod} = \frac{\bar{Z}_m}{\bar{\Phi}_m}, \quad (6)$$

де $\bar{Z}_m$ – середня місячна заробітна плата в Україні у базовому періоді (за даними Державного комітету статистики України), грн;

$\bar{\Phi}_m$ – середній місячний фонд робочого часу у базовому періоді (визначається як середнє місячних фондів робочого часу упродовж базового періоду для 40-годинного робочого тижня за даними Міністерства праці та соціальної політики України), год.

Маршрутні швидкості руху поїздів визначаються як відношення поїздо-кілометрів до поїздо-годин у рейсі. При розрахунку тарифів в

роботі [2] цей коефіцієнт пропонується на рівні 1,34.

Для досліджень даної роботи величина коефіцієнту [2] дуже велика, оскільки в собівартості приміських пасажирських перевезень підвищена швидкість руху вже частково врахована у локомотивній, моторвагонній та інфраструктурній складових як підвищені витрати на електроенергію або паливо та додатковим зносом колії і контактної мережі. В даній роботі пропонується цей коефіцієнт прийняти на рівні 1,1.

Коефіцієнт, що враховує вид поїзда за якістю послуг K_3^i (звичайний або підвищеного комфорту), визначається на основі діючого Положення про встановлені вартості проїзду в таких поїздах на рівні місцевих пасажирських поїздів. Але враховуючи те, що у собівартості перевезень вже врахована частина витрат, яка залежить від якості наданих послуг, а саме – оснащення вагона поїздів телевізорами, м'якими кріслами, іграшками для дітей, квітами та ін., то цей коефіцієнт може бути прийнятий на рівні 1,1...1,12.

Загальне значення показника K_p^i слід обов'язково погоджувати з місцевими органами влади, а його величина може коливатися у межах від 1,10 до 1,2 залежно від фактичної поточної рентабельності пасажирської компанії та не перевищувати P – економічно обґрунтований прибуток від перевезень пасажирів у внутрішньому сполученні, тис. грн.

За визначеними величинами собівартості одиниці видів послуг розраховуються собівартості видів послуг за тарифними поясами, для чого встановлюється залежність собівартості одиниці перевезень від відстані поїздки, яка пов'язана із наявністю витрат за початково-кінцевою операцією, що не залежать від відстані поїздки, та витрат на операцію руху, які прямо пропорційні відстані поїздки.

В роботі [2] встановлено залежність собівартості пасажирських перевезень за плацкартною (витрати компанії) та квитковою частинами (витрати Укрзалізниці або приміської компанії залежно від виду рухомого складу) від відстані поїздки та запропоновано визначати її за формулами (7) та (8):

$$c_{pl.i.L} = c_{pl.i} \cdot \left(1 + \beta_{pl} \cdot \left(\frac{\bar{L}}{L} - 1 \right) \right); \quad (7)$$

$$c_{kv.i.L} = c_{kv.i} \cdot \left(1 + \beta_{kv} \cdot \left(\frac{\bar{L}}{L} - 1 \right) \right), \quad (8)$$

де $c_{pl.i.L}$ – собівартість одиниці i -го виду послуг у частині витрат приміської пасажирської компанії при перевезенні на задану відстань (L), коп./10 пас-км;

β_{pl} – питома вага витрат на початково-кінцеву операцію у витратах приміської пасажирської компанії, частка;

$\bar{L}$ – середня дальність поїздки у внутрішньому (в нашому випадку приміському та регіональному) сполученні, км;

L – дальність поїздки, для якої встановлюється собівартість, км;

$c_{kv.i.L}$ – собівартість одиниці i -го виду послуг у частині витрат ДАК «УЗ» при перевезенні на задану відстань (L), коп./10 пас-км;

β_{kv} – питома вага витрат на початково-кінцеву операцію у витратах ДАК «УЗ», частка.

Питомі ваги початково-кінцевих операцій за плацкартною та квитковою частинами визначаються за формулами:

$$\beta_{pl} = \frac{E_{pko.pl}}{B_{ппк}^i}; \quad (9)$$

$$\beta_{kv} = \frac{E_{pko.kv}}{B_{пуз}^i}, \quad (10)$$

де $E_{pko.pl}$ – витрати за початково-кінцевою операцією i -го поїзду в складі витрат з пасажирських перевезень в частині витрат приміської компанії, грн;

$E_{pko.kv}$ – витрати за початково-кінцевою операцією i -го поїзду в складі витрат з пасажирських перевезень в частині витрат ДАК «УЗ» або приміської компанії залежно від типу рухомого складу, грн.

За формулою (11) визначаються собівартості одиниці видів послуг відповідно для приміської пасажирської компанії та ДАК «УЗ» для кожного з тарифних поясів. За дальність поїздки (L) приймаються середини тарифних поясів. За визначеними собівартостями розраховуються тарифи для кожного виду послуг та кожного тарифного поясу за формулою:

$$T_{i.L} = (c_{pl.i.L} + c_{kv.i.L}) \cdot L \cdot K_p^i \cdot 10^{-3}, \quad (11)$$

де $T_{i.L}$ – вартість перевезення одного пасажирів (тариф) за i -м видом послуг на відстань, яка потрапляє у межі тарифного поясу, середина якого дорівнює L , грн;

K_p^i – коефіцієнт рентабельності перевезень пасажирів у i -тому приміському поїзді, рази.

Отримані за формулою (11) тарифи не містять страхового збору та ПДВ.

Норматив рентабельності K_p^i встановлюється виходячи зі співвідношення величин економічно обґрунтованого прибутку від перевезень пасажирів у приміському та регіональному сполученнях для базового періоду (порядок його визначення наведено нижче) з величиною фактичних витрат з перевезень пасажирів у приміському та регіональному сполученнях у цьому періоді. При розрахунку безприбуткових тарифів норматив рентабельності K_p^i приймається рівним одиниці.

Визначення економічно обґрунтованого прибутку від перевезення пасажирів у приміському та регіональному сполученнях виконується за методикою, запропонованою Гненним О. М. в науково-дослідній роботі [2] шляхом його виділення із загального економічно обґрунтованого операційного прибутку підприємств залізничного транспорту. В свою чергу, останній визначається шляхом множення вартісної оцінки операційних активів підприємств залізничного транспорту за даними консолідованого балансу, що складається Укрзалізницею, на норму прибутку, що відповідає середньозваженій вартості капіталу цих підприємств. Загальний прибуток визначається за формулою:

$$P_g = B_a \cdot \bar{R} \cdot \frac{t_b}{12}, \quad (12)$$

де P_g – загальний розрахунковий операційний прибуток підприємств залізничного транспорту за базовий період, тис. грн;

B_a – середня балансова вартість операційних активів підприємств залізничного транспорту у базовому періоді, тис. грн;

$\bar{R}$ – норма прибутку, що відповідає середньозваженій вартості капіталу підприємств залізничного транспорту, частка;

t_b – тривалість базового періоду, міс.

Середня балансова вартість операційних активів підприємств залізничного транспорту у базовому періоді визначається на підставі даних консолідованого балансу Укрзалізниці шляхом зменшення середньої валюти балансу на середню вартість неопераційних активів. Середні показники рядків балансу визначаються як середньоарифметичні значення на поча-

ток і кінець базового періоду. Валюта балансу відповідає рядку 280 форми фінансової звітності № 1. До неопераційних активів включаються:

– незавершене будівництво (рядок 020);

– довгострокові біологічні активи (рядок 035);

– довгострокові фінансові інвестиції (сума рядків 040, 045);

– інвестиційна нерухомість (рядок 055);

– відстрочені податкові активи (рядок 060);

– поточні біологічні активи (рядок 110);

– поточні фінансові інвестиції (рядок 220).

Норма прибутку, що відповідає середньозваженій вартості капіталу підприємств залізничного транспорту, визначається за формулою:

$$\bar{R} = \frac{B_o \cdot R_o + B_l \cdot R_l}{B}, \quad (13)$$

де B_o – середній власний капітал (середнє за сумою рядків 380, 430 балансу), тис. грн;

R_o – норма доходу (вартість) власного капіталу до оподаткування, частка;

B_l – середній кредитний капітал (середнє за сумою рядків 480, 500, 510 балансу), тис. грн;

R_l – середня норма відсотку за кредитні ресурси, частка.

B – середня валюта балансу (середнє по рядку 640 балансу), тис. грн.

Норма доходу (вартість) власного капіталу до оподаткування визначається як сума безризикової норми доходу¹ та премії за галузевий ризик для сфери діяльності «Транспорт» за даними наказів Фонду державного майна України (діючий наказ від 04.06.2009 р. № 844).

Норма відсотку за кредит приймається за даними Національного банку України щодо середньої ставки відсотків за кредитами у національній валюті на кінець базового періоду.

Розрахунковий прибуток від перевезень виділяється пропорційно до відповідних операційних витрат та визначається за формулою:

$$P_{per} = P_g \cdot \frac{E_{per}}{E_g}, \quad (14)$$

де P_{per} – розрахунковий прибуток від перевезень, тис. грн;

E_{per} – загальні витрати з перевезень у базовому періоді (за даними калькуляції собівартості);

¹ У наказах Фонду державного майна України застосовується термін «умовно безризикова складова ставки капіталізації»

сті вантажних та пасажирських перевезень), тис. грн;

E_g – загальні операційні витрати у базовому періоді (сума рядків 040, 070, 080, 090 Звіту про фінансові результати відповідного періоду), тис. грн.

Розрахунковий прибуток від пасажирських перевезень у приміському та регіональному сполученнях визначається за формулою:

$$P = \frac{P_{per}}{\sum PL_{pr}} \cdot \sum HL, \quad (15)$$

де P – економічно обґрунтований прибуток від перевезень пасажирів у приміському та регіональному сполученнях, тис. грн;

$\sum HL$ – загальний пасажирооборот у базовому періоді у приміському та регіональному сполученнях, пас-км;

$\sum PL_{pr}$ – приведений вантажообіг у базовому періоді, прив. т-км.

Диференціація тарифів у різні періоди року та тижня. В даній дисертаційній роботі використано методику, запропоновану Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна [1]. З метою зменшення нерівномірності пасажирських перевезень у часі доцільно запровадити систему диференціації тарифів за періодами упродовж року.

Попит на послуги з перевезень пов'язаний з їх тарифами зворотною залежністю. Тому, для зменшення попиту у періоди пікових перевезень необхідно підвищувати плату за проїзд, а для його стимулювання у періодах спаду перевезень плату за проїзд необхідно зменшувати. Таким чином, коефіцієнти до тарифів, які підвищують їх рівень, необхідно використовувати у періодах, коли інтенсивність роботи залізничного транспорту з перевезення пасажирів вища за середню, а коефіцієнти, що зменшують рівень тарифів, – у періодах з меншою інтенсивністю пасажирських перевезень. За показник, що характеризує інтенсивність роботи транспорту, доцільно використовувати середньодобовий пасажирооборот. Такими чином, напрямок зміни тарифів задається індексами, які визначаються за формулою:

$$I_i = \frac{\sum HL_i / t_i}{\sum HL / T}, \quad (16)$$

де I_i – індекс добового пасажирообороту в i -му календарному періоді, разів;

$\sum HL_i$ – пасажирооборот у приміському та регіональному сполученнях у i -му календарному періоді, пас-км;

t_i – тривалість i -го календарного періоду, діб;

$\sum HL$ – загальний річний пасажирооборот у приміському та регіональному сполученнях, пас-км;

T – тривалість року, діб.

Якщо у i -му календарному періоді індекс I_i буде більший одиниці, до тарифів слід застосовувати підвищуючий коефіцієнт, а якщо I_i менше одиниці – слід використовувати понижуючий коефіцієнт. При цьому, чим більше I_i відрізняється від одиниці, тим у більшому ступені необхідно коригувати тарифи.

Оскільки диференціація тарифів за періодами упродовж року не ставить за мету отримання додаткового доходу, розрахунковий дохід з урахуванням застосування коефіцієнтів повинен дорівнювати доходу від перевезень, який буде отриманий без їх застосування. Ця умова виконується якщо середньозважений за доходами коефіцієнт до тарифів буде дорівнювати одиниці.

Аналогічно до коефіцієнтів диференціації тарифів упродовж року можуть бути визначені коефіцієнти диференціації тарифів за днями тижня.

Коефіцієнти до тарифів можуть бути диференційовані за типами вагонів, для чого проводиться окремий розрахунок для кожного типу вагону за викладеним вище порядком з диференціацією вихідних даних щодо пасажирообороту та доходів від перевезень пасажирів у внутрішньому сполученні за типами вагонів.

Висновки

На основі досліджень, проведених вище, можна зробити такі висновки:

1. В роботі запропоновано новий теоретико-методичний підхід до визначення тарифів окремого приміського пасажирського поїзду з урахуванням виду рухомого складу, категорії поїзда за швидкістю та рівнем комфорту і класності вагонів, що дозволило визначати його збитковість та надавати пропозиції стосовно зниження собівартості перевезень на певному напрямку руху.

2. Удосконалено диференціацію тарифів на перевезення пасажирів у приміському та регіональному сполученнях, яка на відміну від існуючої одночасно враховує:

- попит на перевезення пасажирів на певному напрямку руху;

- попит на перевезення пасажирів у різні періоди року та тижня;
- швидкість руху і комфортність приміського поїзду;
- перевезення пасажирів у місцевому сполученні в вагонах-трамваях та в міжрегіональному – у двосистемних поїздах.

3. Набули подальшого розвитку принципи побудови тарифів на перевезення пасажирів у приміському та регіональному сполученнях в умовах реформування приміського господарства та організації приватних компаній-операторів з урахуванням вартості послуг Державного акціонерного товариства «Українські залізниці» та інших сторонніх організацій, що дало змогу оперативно впливати на вартість пасажирських перевезень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бараш, Ю. С. Нові принципи формування витрат на перевезення пасажирів [Текст] / Ю. С. Бараш, О. П. Пінчук // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 37. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 245-248.
2. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка методики розрахунку тарифів на перевезення пасажирів залізничним транспортом та програмного забезпечення для розрахунку собівартості та тарифів» [Текст] / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010.

Надійшла до редколегії 12.05.2011.

Прийнята до друку 18.05.2011.

КОНЦЕПЦІЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЯК ОДНОГО З КЛЮЧОВИХ ФАКТОРІВ ТУРИСТИЧНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ МІСТА

Запропоновано нові напрямки розвитку дніпропетровського міського транспорту. Запропоновано побудову нової трамвайної лінії, виконано аналіз маршруту й проведено технічні та економічні розрахунки експлуатації.

Ключові слова: Дніпропетровськ, розвиток міського транспорту, трамвайна лінія, аналіз маршруту, технічні та економічні розрахунки експлуатації

Предложены новые направления развития днепропетровского городского транспорта. Предложено построение новой трамвайной линии, выполнен анализ маршрута и проведены технические и экономические расчеты эксплуатации.

Ключевые слова: Днепропетровск, развитие городского транспорта, трамвайная линия, анализ маршрута, технические и экономические расчеты эксплуатации

The new directions of urban transport development in Dnipropetrovsk are offered. The construction of a new tram line is proposed; its route is analyzed and the technical and economic operation calculations are conducted.

Keywords: Dnipropetrovsk, urban transport development, tram line, route analysis, technical and economic operation calculations

Сьогодні невиробничий сектор економіки, у тому числі і туристична галузь, продовжує займати провідні позиції у сфері народного господарства. Місто Дніпропетровськ є не тільки важливим промисловим і бізнес-центром країни, але й має усі запоруки для ефективного розвитку інфраструктури послуг, вектор якої необхідно направити на покращення туристичної привабливості міста і Придніпровського регіону в цілому. Виходячи з вищезазначеного, відповідають усілякі сумніви щодо актуальності даної роботи, адже вона полягає саме у необхідності удосконалення і оптимізації міського транспортного сектору як складової частини туристичного інтересу Дніпропетровська.

Наслідуючи досвід розробок щодо даної проблеми спеціалістів країн дальнього і ближнього зарубіжжя (країни СНД і Балтії, країни ЄС, США, Японія), а також аналізуючи їх недоліки, було розроблено декілька принципово нових для нашого регіону напрямків розвитку міського громадського транспорту:

- організація швидкісного кільцевого трамвайного сполучення, що охопить усе місто;
- відкриття швидкісного надземного (естакадного) рейкового маршруту «Аеропорт – Центр міста – Центральний залізничний вокзал – Центральний автомобільний вокзал»;
- спорудження гілки метрополітену до центральної частини міста як важлива задача реалізації даної концепції;

- запуск літнього рейкобусного руху на напрямку «ст. Нижньодніпровськ-Вузол – Набережна – ст. Дніпропетровськ-Південний»;
- відкриття додаткових сезонних видів транспорту: річкове таксі, нічні автобусні і трамвайні рейси, реставрація підвісної канатної дороги на острів Монастирський, пароплавні міжміські круїзи річкою Дніпро, мототаксі та «тук-туки» на мотошассі;
- запуск літнього трамвайного руху на шинному ході набережною (пл. Острівського – набережна – ж/м Перемога-6);
- започаткування різноманітних форм проїзних білетів (туристичні, універсальні, молодіжні, студентські, пільгові тощо), а також створення спеціальної контрольно-транспортної служби.

Наведені заходи допоможуть покращити транспортну ситуацію в місті, підвищити туристичну привабливість міста.

Основною темою проекту є організація руху за маршрутом Набережна Перемоги – площа Острівського. Даний маршрут був обраний як один з найбільш пасажиронапружених у місті через низький рівень транспортної інфраструктури. Для удосконалення руху пасажирів по напрямку було запропоновано трамвай, як один з самих перспективних міських видів транспорту, що останнім часом активно розвивається в провідних європейських містах, витісняючи собою інші. Розглянемо основні переваги трамвайного руху:

- туристів і жителів міста безпосередньо до дверей ресторанів, кафе, розважальних закладів, що знаходяться на набережній;
- підвищить комфортабельність перевезень та допоможе зняти навантаження з маршрутних таксі і тролейбусів, що рухаються набережною;
- беззаперечно підвищить туристичну привабливість міста серед вітчизняних і іноземних туристів.

Було проведено опитування жителів та гостей міста, як вони ставляться до прокладення нової трамвайної лінії по набережній. Результати опитування наведено на рис. 2.

На практиці конкурують дві несумісні системи: з напрямляючою рейкою – компаній «Бомбардьє» (англ. GLT, Guided Light Transit, легкий транспорт, що направляється) і «Транс-льор», і оптична система компанії «Irisbus» (група «Iveco») – «Сівіс» для автобусів та «Крісталіс» для тролейбусів.

Система «Бомбардье» допускає рух в ненаправляючому режимі. Останній вид використовується в Нансі, на околиці міста, а також в депо, де вагони рухаються, як звичайний тролейбус, і лише в'їжджаючи в обмежений центр міста, переходять у режим руху по направляючій рейці.

Двигун трамваю на шинах звичайно електричний, але іноді й дизельний. При електричній тязі живлення надходить від контактної мережі – двопровідної, як у тролейбуса (наприклад, в Нансі), або однопровідної, як у трамвая (наприклад, у Кані), де другим проводом мережі служить направляюча рейка.

Для експлуатації на лінії було обрано рухомий склад типу «Бомбардьє» – це трамвай на колісному ході, що для руху використовує одну направляючу рейку. Загальний вид рухомого складу зображений на рис. 3.

Цей вид розроблено у Франції, де він за короткий час здобув популярність та використовується в декількох містах як основний транспорт. Його перевагами є:

- малі габарити рухомого складу;

- порівняно зі звичайним трамваем значно менші капіталовкладення в інфраструктуру;
- низький рівень шуму;
- струм споживання: 600 В, постійна напруга, що дає можливість руху використовуючи звичайну тролейбусну лінію електромережі, завдяки чому може бути вирішена проблема переміщення рухомого складу у тролейбусне депо, де вони зможуть проходити ТО.

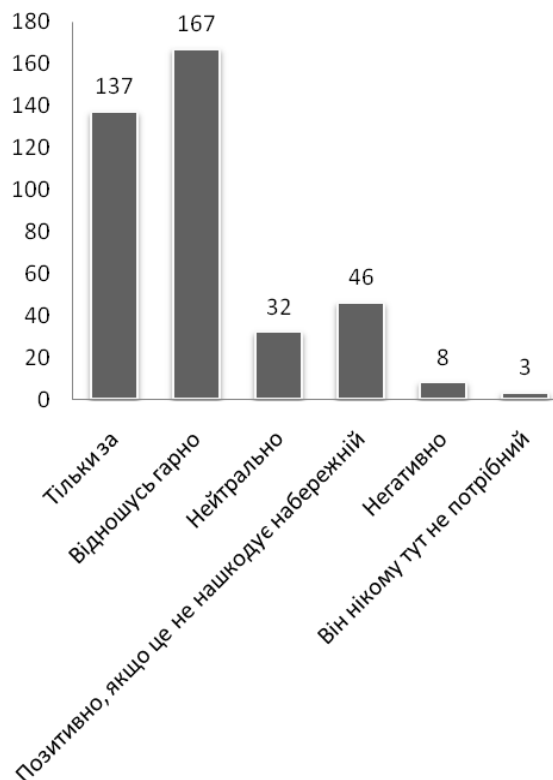


Рис. 2. Дані опитування жителів міста



Рис. 3. Трамвайні вагони фірми Lohr Industrie (Франція)

Технічні характеристики трансльору наступні:

- довжина: 24,5 м;
- ширина: 2,5 м;
- висота до даху: 3,38 м;

- ширина колії: 1,95 м (мається на увазі ширина колії автошасі, див рис. 4, 5);
- висота підлоги над рівнем шляху: 0,32 м;
- порожня вага: 27 тонн;
- максимальна вага: 38,5 тонн;
- максимальна швидкість: 70 км/год;
- кількість сидячих місць: 48...55, в залежності від конфігурації;
- кількість стоячих місць: 95...100;
- двигуни: два електродвигуна по 150 кВт.



Рис. 4. Зображення колісної пари візка трамвайного вагона

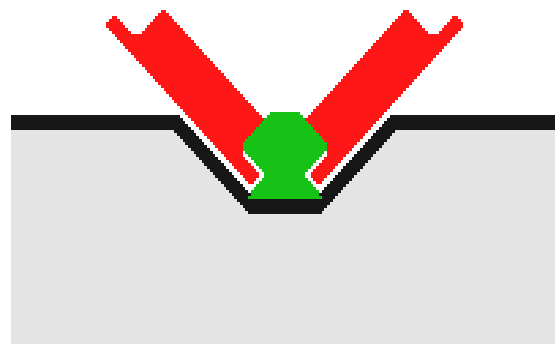


Рис. 5. Схема фіксації візка вагона до направляючої рейки

Для запропонованого маршруту довжиною 12,8 км, варіюючи кількість зупинок та їх тривалість, було розраховано маршрутну швидкість руху трамваю, і, як наслідок – середній час руху по ділянці. Результати розрахунку наведено в табл. 1.

На основі отриманих даних визначено необхідну кількість рухомого складу, що обертається на ділянці. Дані наведено в табл. 2.

Визначення середнього часу руху трамваю на дільниці

№ з/п	Кількість зупинок	Тривалість зупинки, хв	Час на розгін-уповільнення, хв	Маршрутна швидкість, км/год	Час ходу, хв	Середній час ходу, хв
1	15	1	0,5	24,2	32,2	34,88
2	20	0,8	0,5	21,8	35,7	
3	15	0,8	0,5	26,7	29,2	
4	25	0,8	0,5	18,5	42,2	

Таблиця 2

Розрахунок кількості рухомого складу, що обертається на дільниці

Інтервал руху, хв	15	10	20	5	35
Тривалість оберт, хв	70	70	70	70	70
Необхідний експлуатаційний парк, шт.	5	7	4	14	2

Для подальших розрахунків було прийнято варіант з інтервалом руху 15 хв, та необхідними при цьому 5 рухомими одиницями.

На основі розрахунків та після консультації з французькими спеціалістами фірми Lohr Industrie (Франція), було визначено наступні характеристики лінії:

- середній розрахований коефіцієнт населеності становить 0,45 (з урахуванням руху в години «пік»);
- середня населеність становить 68 пас/трансльор;
- кількість перевезених пасажирів за 1 оберт: 136 пас/трансльор;
- добовий пасажиропотік за 1 добу на лінії: 8679 пас/добу;
- річний дохід від перевезень при вартості квитка 3 грн: 9,503 млн грн;
- приблизні річні експлуатаційні витрати: 3,5 млн грн/рік;
- можливий річний прибуток: 6,003 млн грн;
- приблизні капітальні вкладення в проект становлять 60 млн грн (за прикладом міста Ярославль, Росія);
- приблизний термін окупності становить 10...11 років.

Реалізація даної концепції потребує значних капітальних вкладень і експлуатаційних витрат на поточне утримання постійних пристроїв і споруд. Тому першочерговою задачею є створення сприятливої і гнучкої інвестиційно-при-

ваблюючої фінансової політики з метою інтеграції до проекту внутрішнього і зовнішнього капіталів. Також в якості джерела надходження коштів запропоновано перехресне фінансування з боку приватного сектору економіки та держави (в подальшому – створення державно-приватних форм власності на об'єкти міського транспорту).

Результатом роботи даних інновацій стануть:

- поповнення міського бюджету за рахунок прибутку від функціонування оновленої транспортної інфраструктури і перспективного збільшення пасажиропотоку;
- зростання туристичної привабливості міста;
- підвищення престижу Дніпропетровська і його вихід на один рівень з головними європейськими транспортними центрами;
- Дніпропетровськ стане точкою відліку і зразком для модернізації внутрішньоміського громадського транспорту інших міст країни.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Офіційний сайт компанії Lohr Industrie (Франція) [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://www.lohr.fr/transport-public_gb.htm
2. Andre, J. L. Regard technique sur le tramway sur pneus Translohr [Text] / J. L. Andre, J. F. Argence // T. E. C. – 2004. – v. 184. – P. 30-38.
3. Orselli, J. Bilans économiques des tramways sur rails et sur pneus [Text] / J. Orselli // Transports. – 2005. – no. 430. – P. 96-104.
4. Schenk, B. A. Trams 2007 [Text] / B. A. Schenk, M. R. Van den Toorn. – Uitgeverij Alk bv (Нідерланди). – ISBN 90-6013-466-4.

Надійшла до редколегії 25.10.2010.

Прийнята до друку 29.10.2010.

ІНСТИТУЦІОНАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ В УКРАЇНІ

Запропоновано форму та зміст побудови системи управління підприємством, яке бажає отримати дозвіл до вступу на ринок транспортних послуг.

Ключові слова: транспортні послуги, система управління транспортним підприємством

Предложены форма и содержание построения системы управления предприятием, которое желает получить разрешение вступить на рынок транспортных услуг.

Ключевые слова: транспортные услуги, система управления транспортным предприятием

The manner and matter of construction of control system for an enterprise that wishes to get access to the market of transport services are offered.

Keywords: transport services, control system for transport enterprise

Постановка проблеми

22 жовтня 2000 року набув чинності Закон України «Про ліцензування певних видів господарської діяльності» [1]. З введенням цього закону суттєво змінені методи державного регулювання господарської діяльності підприємств у галузі транспорту незалежно від форм власності та підпорядкування. Згідно із зазначеним законом транспортне підприємство повинне виконувати власну діяльність у сфері надання послуг з перевезення пасажирів та вантажів, багажу відповідно до ліцензійних умов виконання цієї діяльності. Транспортні підприємства, що потрапляють на ринок транспортних послуг у якості виконавця, маючи різноманітні системи управління підприємством, повинні надавати транспортні послуги з обов'язковим дотриманням відповідних показників безпеки та якості [2].

Цього можливо досягнути у разі організації роботи такого підприємства відповідно до інституціоналізованої системи управління транспортним підприємством (ІСУТП), в якій були би встановлені відповідні показники безпеки та якості, а також визначені кваліфікаційні, технічні, технологічні та інші вимоги до сфер діяльності підприємства. У теперішній час відсутні рекомендації, щодо побудови ІСУТП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні побудова та організація роботи транспортних підприємств здійснюється відповідно до систем управління, які побудувались евристичним шляхом та змінювались в залежності від розвитку транспортного підприємства. Показники якості поліпшувались транспортним

підприємством одночасно з появою конкурентів на ринку транспортних послуг. Показникам безпеки приділяли увагу, коли траплялася відповідна подія, або деякі органи з перевірки встановлювали порушення відповідних норм законодавства.

Мета статті

Дана публікація має за мету надати методичні рекомендації щодо форми та змісту нормативного документу, який регламентує побудову ІСУТП.

Матеріали і результати дослідження

Суб'єктам господарювання при оформленні документів на отримання ліцензії необхідно керуватися Законом України «Про ліцензування відповідних видів господарської діяльності» [1].

Для видів господарської діяльності, пов'язаних з наданням транспортних послуг, необхідно надати додаткові документи, перелік яких визначено постановою Кабінету Міністрів України від 04.07.2001р. №756 «Про затвердження переліку документів, які надаються до заяви про видачу ліцензії для окремого виду господарської діяльності» [2]. Цей перелік повинен бути вичерпний і повинен характеризувати транспортне підприємство, як підприємство, яке спроможне надавати якісні та безпечні транспортні послуги.

До процедур, які потребують удосконалення, з метою отримання ліцензії підприємством, пропонуємо включити систему управління транспортним підприємством ІСУТП. Вона повинна бути задокументована відповідним чи-

ном, мати відповідний зміст, затверджена керівництвом та введена в дію на цьому підприємстві.

У цей час існує декілька методів побудови ІСУТП.

Евристичний метод – метод, при якому транспортне підприємство будує систему управління транспортним підприємством (СУТП) у залежності від знань, рекомендацій або вказівок, які склались на цей час у цій галузі.

Система, побудована за таким методом, не є систематизованою і має форму рекомендацій або керівництва. Це зумовлено тим, що процес надання послуги наводиться безсистемно – наведено окремі показники якості та безпеки, не визначено процедуру перевірки власної діяльності.

Рекомендації згідно стандартів серії ISO 9000 мають загальний характер і побудувати систему управління транспортним підприємством за таким методом дуже важко: відсутні рекомендації стосовно форми та змісту документу у цілому, стосовно переліку показників безпеки та якості, відсутні поради щодо змісту процесу надання послуг та процедур перевірки їх якості та безпеки [5].

Більшість державних стандартів національної системи стандартів детально надає поради у частині організації та виробництва різноманітних виробів. Процесам виконання послуг взагалі не надаються будь-які рекомендації як у частині організації виконання послуг, так і у частині визначення переліку показників безпеки та якості.

Найбільш перспективним методом інституціоналізації системи управління транспортним підприємством є метод, який запропоновано у галузі залізничного транспорту у стандартах Міністерства транспорту України ГСТУ 32.0.10.026-97 та ГСТУ 32.0.10.027-97, але застосування цих стандартів поширюється тільки на галузь залізничного транспорту. У цей час ці стандарти є застарілими і потребують суттєвого доопрацювання.

Враховуючи досвід у цій галузі дослідження, ІСУТП повинна мати наступні структурні елементи: вступну частину (галузь застосування); нормативні посилання; основну частину; додатки.

У вступній частині ІСУТП наводять назву і умовне позначення послуги, її призначення та галузь використання на транспорті, умови надання послуги, склад та порядок використання ІСУТП суб'єктами підприємницької діяльності

(юридичними та фізичними особами), які надають послуги на території України, незалежно від держави розміщення цих суб'єктів, та за її межами, для суб'єктів підприємницької діяльності, розташованих в Україні.

Далі наводять назви основних підприємств-споживачів. Наприкінці вступної частини розміщують приклад запису позначення послуги під час її замовлення в документації іншої послуги, де вона може бути застосована, в якому визначають: назву послуги; умовне позначення послуги; позначення ІСУТП.

Після прикладу позначення послуги, у випадку використання під час її розроблення патентів (винаходів), наводять номер і дату реєстрації патентів (авторських свідоцтв).

Якщо послуга підлягає сертифікації, у вступній частині СУТП вказують, що система придатна для цілей сертифікації у системі УкрСЕПРО.

У розділі нормативних посилань ІСУТП наводять перелік нормативних документів, які використовуються, в тому числі Закони України, Постанови КМУ, накази органів виконавчої влади, зареєстровані у Міністерстві юстиції, стандарти, державні класифікатори, ДСН, СНіП, ДСанПіН, НПАОП та інше.

Основна частина ІСУТП повинна мати такі підрозділи: технічні вимоги; вимоги безпеки та охорони навколишнього природного середовища під час надання послуг з перевезення вантажів; правила приймання процесу надання послуг з перевезення вантажів; методи контролю процесу надання послуг з перевезення вантажів; вказівки щодо процесу надання послуг з перевезення вантажів; гарантії підприємства.

Склад і зміст основної частини ІСУТП визначає розробник у залежності від характеру послуги. У разі необхідності ІСУТП можливо доповнювати іншими розділами або не включати окремі розділи.

Зміст розділу «Технічні вимоги» ІСУТП має такі підрозділи: структура послуги; організаційна структура підприємства; зміст процесу надання послуги.

На початку розділу повинні бути наведені відомості про нормативні документи: нормативно-правові акти, відомчі нормативно-технічні документи, вимогам яких повинен відповідати процес надання послуги.

У підрозділі «Структура послуги» повинна бути наведена структура послуги – «дерево послуги», в якому вказується послуга (комплекс послуг), яка надається під час перевезення ван-

тажів, та послуги, суміжні з цією послугою (комплексом послуг).

У підрозділі «Організаційна структура підприємства» повинна бути наведена структура підприємства, в якому необхідно виділити підрозділи, які відповідають за надання послуги (комплексу послуг) з перевезення вантажів.

У підрозділі «Зміст процесу надання послуги» повинні бути наведені методи надання послуг, що використовуються в процесі надання послуги.

Кожен(на) процес (робота) повинен (повинна) містити окремі етапи. Кількість етапів, на які необхідно поділити процес (роботу), визначає розробник. Обов'язковими етапами є: надання інформації про послугу, що пропонується споживачеві; прийняття замовлення; підготовка до виконання і надання послуги; прийняття платежів (за необхідності, виписування рахунків).

Кожен(на) процес (робота) повинен (повинна) включати:

- чіткий опис характеристик надання послуг, від яких залежить рівень їх виконання;
- встановлені норми для кожної характеристики надання послуги, від якої безпосередньо залежить рівень її виконання;
- вимоги до ресурсів з детальним зазначенням типів і кількості обладнання та допоміжних засобів, необхідних для виконання послуги;
- інформацію про необхідну чисельність і кваліфікацію персоналу за фахом відповідно до ДК 003, строки підвищення кваліфікації з отриманням відповідного свідоцтва;
- інформацію про відповідальність субпідрядників за надання послуги, що ними надається (наявність вхідного контролю).

Вимоги до послуги повинні бути чітко встановлені у вигляді характеристик, що підлягають спостереженню і допускають оцінювання їх споживачем.

Пов'язані з наданням послуг процеси також вимагають опису за допомогою характеристик, спостереження яких для споживача може бути не завжди можливо, але які безпосередньо визначають рівень надання послуги.

Характеристика послуги чи її надання може бути кількісною (піддається вимірюванню) або якісною (піддається порівнянню) в залежності від того як і хто дає їй оцінку: організація, яка надає послуги, чи споживач.

Обидва різновиди характеристик повинні допускати їх оцінювання організацією, яка на-

дає послуги, на відповідність прийнятим нормам.

До характеристик, які можуть зазначатися в нормативних документах, відносяться:

- потужності, можливості, чисельність персоналу та кількість матеріалів;
- тривалість очікування та надання послуги, технологічного циклу послуги;
- гігієнічний стан, безпека, безвідмовність та гарантійні терміни на прилади, устаткування, транспортні засоби.
- чуйність і ввічливість персоналу, комфортність та естетичність оточення, компетентність, надійність, точність, повнота, відповідність сучасному рівню, достовірність та ефективність контактів.

Окремі роботи (процеси) або їх етапи можуть бути визначені посиланням на діючі відомчі нормативно-технічні документи або наведені у ІСУТП, згідно з цими документами.

У розділі «Вимоги безпеки та охорони навколишнього природного середовища під час надання послуг з перевезення пасажирів, вантажів та багажу» ІСУТП повинні бути наведені вимоги, що забезпечують безпеку життя та здоров'я персоналу, клієнтів та майна у процесі надання послуг з перевезення вантажів, а також вимоги з охорони навколишнього природного середовища і запобігання аваріям та техногенним катастрофам.

До складу цих вимог у загальному випадку включають вимоги до:

- безпеки елементів конструкцій, приладів і устаткування транспортних засобів;
- засобів захисту та їх розміщення, що входять до складу транспортного засобу, який переміщує вантаж;
- засобів з'єднання конструкції у транспортних засобах або посилання на відповідний нормативний документ;
- електробезпеки у транспортних засобах, службових приміщеннях та приміщеннях вокзалу;
- допустимих рівнів небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що створюються під час надання послуг з перевезення вантажів, включаючи хімічні та біологічні;
- запобігання, вилучення, знищення, локалізації небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що створюються під час надання послуг з перевезення вантажів (шум, вібрація, світлова дія, виділення шкідливих та отруйних речовин та інше);
- пожежонебезпеки та вибухонебезпеки;

- радіоперешкод (за наявністю в складі транспортних засобів або приміщеннях високо-частотних пристроїв, мікрохвильових печей та тиристорних перетворювачів);

- захисту від низьких та високих температур елементів конструкцій, приладів і устаткування у транспортних засобах;

- організації робочих місць обслуговуючого персоналу;

- написів та знаків безпеки для обслуговуючого персоналу та вантажів.

Структуру розділу необхідно розбити на підрозділи відповідно до кількості елементів послуг, в яких необхідно навести окремі вимоги до безпеки та охорони навколишнього природного середовища під час надання послуг з перевезення вантажів.

Розділ «Вимоги безпеки та охорони навколишнього природного середовища під час надання послуг з перевезення пасажирів, вантажів та багажу» є обов'язковим для будь-якої послуги. Винятком можуть бути найпростіші послуги, які не містять процеси та виробы, необхідні для виконання зазначеної діяльності, від яких не залежить безпека життя та здоров'я персоналу, клієнтів та майна у процесі надання послуг з перевезення вантажів.

У розділі «Правила приймання процесу надання послуг з перевезення пасажирів, вантажів та багажу» наводиться порядок здійснення самооцінки або приймання контролюючими органами процесу надання послуг(и) з перевезення пасажирів, вантажів та багажу.

У розділі залежно від процесу надання послуг зазначаються види випробувань (попередні, приймальні, приймально-здавальні, кваліфікаційні, періодичні, типові та сертифікаційні) послуги в цілому або її складових елементів, включаючи вхідний контроль постачальників послуг або виробів (транспортних засобів, продуктів, комплектуючих виробів та інше), необхідних для виконання послуги.

У розділі, за необхідності, указують порядок відбору продукції, яка використовується для надання послуги, та її кількість, порядок використання (зберігання) відібраної продукції. Для кожної категорії приймання зазначається окремий порядок і послідовність приймання із вказівкою характеристик, визначення яких обов'язково виконується.

У розділі вказують порядок оформлення результатів приймання послуг(и), у відповідності до вимог, які наведені у розділі «Технічні вимоги». За необхідності наводяться зразки свідоцтв про приймання процесу надання по-

слуг(и) в цілому та її елементів (в першу чергу – показників безпеки).

Правила приймання повинні давати можливість проведення випробувань у декілька етапів і в різних місцях.

У розділі повинні бути названі підприємства або структурні підрозділи суб'єкта господарювання, що відповідають за організацію проведення випробувань та забезпечують необхідними для випробувань засобами вимірювання та обслуговуючим персоналом для проведення випробувань елементів конструкцій, приладів і устаткування транспортних засобів, необхідних для надання послуг. Також, за необхідності, визначають санкції за невиконання цих вимог.

Перелік видів випробувань таких як попередні, приймальні, приймально-здавальні, кваліфікаційні, періодичні та типові є обов'язковим. Порядок їх проведення наводять у ІСУТП.

Попередні випробування підприємство проводить для визнання його готовності для виконання взятих на себе обов'язків під час надання послуг(и) з перевезення вантажів.

Приймальні випробування підприємство проводить перед початком своєї діяльності, для підтвердження готовності надавати послуги відповідно до вимог, наведених у ІСУТП. Приймальні випробування виконує підприємство із залученням фахівців Мінінфраструктури або його підприємств. Головує на цих випробуваннях керівництво відповідного підрозділу Мінінфраструктури. Підприємства, які не входять до структури Мінінфраструктури, повинні теж проводити приймальні випробування.

Приймально-здавальні, кваліфікаційні, періодичні та типові випробування проводять усі суб'єкти підприємницької діяльності незалежно від їх підпорядкованості.

Для визначення порядку проведення приймально-здавальних випробувань під час надання послуг, підприємства можуть посилатись на діючі нормативні документи, в яких визначений порядок у цілому або окремий порядок щодо готовності надання зазначених послуг обслуговуючим персоналом, наприклад, готовність вантажного поїзду до рейсу.

Процедура проведення сертифікаційних випробувань визначається органом з сертифікації з відповідною галуззю акредитації.

Порядок проведення сертифікаційних випробувань в ІСУТП не наводять.

У розділі «Методи контролю процесу надання послуг з перевезення пасажирів, вантажів та багажу» визначають методи та засоби контролю усіх параметрів, характеристик, встанов-

лених в розділі «Технічні вимоги» та «Вимоги безпеки та охорони навколишнього природного середовища під час надання послуг з перевезення пасажирів, вантажів та багажу» в послідовності викладання пунктів цих розділів.

Для визначення методів та засобів контролю в розділі повинно бути надано:

- позначення пунктів або підпунктів розділів «Технічні вимоги» та «Вимоги безпеки та охорони навколишнього природного середовища під час надання послуг з перевезення пасажирів, вантажів та багажу», в яких вони зазначені;

- назву обладнання, стендів і та інше, що застосовуються для контролю (випробування, аналізу, вимірювання) з позначенням їх повної назви, класу точності, похибки, границь вимірювання та документа на постачання (стандарт або ТУ);

- матеріали та різноманітні продукти, що застосовуються для контролю.

При цьому засоби вимірювань вибираються з числа дозволених для застосування, виготовлених централізовано спеціалізованими підприємствами або за спеціальними замовленнями і атестовані у встановленому порядку.

Під час застосування засобів вимірювання, обладнання та інструменту, що спеціально призначаються для контролю конкретної послуги, в додатку до ІСУТП вказують нормативні документи, які регламентують їх виготовлення.

Якщо методи контролю декількох параметрів збігаються, то методику та інші дані стосовно контролю, наводять один раз після перерахування позначень пунктів або дають посилання на застосовану методику за кожним параметром.

Допускається розробляти окремі методики (типові, робочі), щодо реалізації уточнення методів контролю (випробувань, вимірювань), які зазначені в ІСУТП.

У методиках контролю повинні бути зазначені послідовність проведення операцій, їх опис, а також порядок оформлення одержаних результатів. Якщо в процесі контролю проведення аналогічних операцій виконують за умов експлуатації, то методики їх виконання повинні збігатися з обумовленими в експлуатаційній документації, на яку допускається робити посилання.

Викладаючи вимоги до оброблення результатів, наводять розрахункові формули, та, за необхідності, указують точність обчислень та міру округлення одержаних даних, а також до-

пущення розбіжностей при паралельних розрахунках.

Для окремих техніко-економічних показників, що визначаються теоретично за допомогою розрахункових формул, допускається посилення на документи, в яких наведені розрахунки цих показників (наприклад тарифи на перевезення вантажів, навантаження та вивантаження вантажів).

Методи і засоби вимірювань, обладнання і матеріали, які використовуються під час контролю, не зазначаються в ІСУТП, якщо вони встановлені в державних або галузевих стандартах, відомчих нормативних документах, інструкціях з перевірки зазначених послуг.

У розділі «Вказівки щодо здійснення процесу надання послуг з перевезення пасажирів, вантажів та багажу» наводять вказівки щодо встановлення, монтажу, налагоджування, застосування, обслуговування, ремонту обладнання, яке використовується під час надання послуг. Наприклад, вказують термін виконання навантаження-вивантаження вантажу, ремонту електрообладнання, сантехнічного обладнання, засобів зв'язку та іншого обладнання, яке розташовується на вантажно-розвантажних майданчиках та інших місцях, де надаються послуги, які пов'язані з перевезенням вантажів.

У розділі повинні бути наведені умови, за яких надаються послуги, наприклад, вимоги до залучення спеціалізованих організацій щодо захисту працівників, взаємодій з органами охорони порядку, з органами виконавчої влади та інше.

У розділі повинні бути наведені типові договори між клієнтами та організаціями, які надають послуги щодо експлуатації необхідного обладнання.

У разі викидів у природне середовище забруднюючих речовин, у розділі повинні бути наведені вказівки щодо їх вилучення, утилізації, нейтралізації та інше.

Якщо на комплекс зазначених послуг або окрему послугу є інструкція з експлуатації обладнання, яке використовується під час надання послуг, то у СУТП наводять посилання на цей документ.

У розділі ІСУТП «Гарантії підприємства» встановлюють гарантійні терміни, їх види та правила обчислення відповідно до вимог, зазначених у договорі, укладеному між замовником та виконавцем послуг з перевезення пасажирів, вантажів та багажу.

Для надання офіційності ІСУТП бажано оформлювати у вигляді технічних умов на надання послуг згідно з вимогами ДСТУ 1.3:2004 [4].

Висновки

1. Запропоновано форму та зміст побудови ІСУТП транспортного підприємства, яке бажає отримати дозвіл до вступу на ринок транспортних послуг.

2. Запропонована ІСУТП дозволяє встановити однаковий підхід до оцінки спроможності суб'єктів господарювання, які мають різну форму власності, оснащеність та чисельність персоналу, забезпечувати відповідні умови щодо безпеки та якості процесу надання транспортних послуг при вступу на ринок транспортних послуг.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України «Про ліцензування певних видів господарської діяльності» від 01.06.2000 р. № 1775-ІІІ [Текст].
2. Пост. Кабінету Міністрів України від 04.07.2001 № 756 «Про затвердження переліку документів, які надаються до заяви про видачу ліцензії для окремого виду господарської діяльності» [Текст].

3. Ліцензійні умови провадження господарської діяльності щодо надання послуг з перевезення пасажирів, вантажів залізничним транспортом [Текст] : Затв.: Наказ Держ. комітету України з питань регуляторної політики та підприємництва та Міністерства транспорту України від 08.06.2001 № 85/363; зареєстр. в Міністерстві юстиції України 23.06.2001 за № 540/5731.
4. ДСТУ 1.3:2004 Національна стандартизація. Правила побудови, викладання, оформлення, погодження, прийняття та позначення технічних умов [Текст].
5. ДСТУ ISO 9004-2-96 Управління якістю та елементи системи якості. Частина 2. Настанови щодо послуг [Текст].
6. ГСТУ 32.0.10.026-97 Стандартизація та сертифікація на залізничному транспорті. Типова побудова технічних умов на надання послуг з перевезення пасажирів залізничним транспортом України [Текст].
7. ГСТУ 32.0.10.027-97 Стандартизація та сертифікація на залізничному транспорті. Типова побудова технічних умов на надання послуг з перевезення вантажів залізничним транспортом України [Текст].

Надійшла до редколегії 24.05.2011.

Прийнята до друку 27.05.2011.

СУЧАСНІ ІНСТРУМЕНТИ МАРКЕТИНГУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У РИНКОВИХ УМОВАХ УКРАЇНИ

В статті розглядається питання пошуку шляхів використання інструментів маркетингу для вирішення проблем розвитку економіки залізничного транспорту та функціонування даної галузі в ринкових умовах.

Ключові слова: маркетинг, конкурентоспроможність, вантажні перевезення, інструменти маркетингу, аналіз попиту, якість транспортного обслуговування

В статье рассматриваются вопросы поиска методов использования инструментов маркетинга для решения проблем развития экономики железнодорожного транспорта и функционирования данной отрасли в рыночных условиях.

Ключевые слова: маркетинг, конкурентоспособность, грузовые перевозки, инструменты маркетинга, анализ спроса, качество транспортного обслуживания

In the article the issue on searching methods of use of marketing tools for resolving the railway transport development problems and functioning this branch in the market conditions is considered.

Keywords: marketing, competitiveness, freight transportations, marketing instruments, analysis of demand, quality of transport service

Вступ

Докорінні зміни економіки країни і світу вимагають пристосування різноманітних галузей народного господарства до нових тенденцій та законів розвитку ринку. Економіка залізничного транспорту не є виключенням. Природно так склалося, що дана галузь є однією з важливих пріоритетних ланок економіки України, що забезпечує її внутрішні та зовнішні транспортно-економічні зв'язки. Безумовно, її стабільне та ефективне функціонування є необхідною умовою для забезпечення рішення соціально-економічних проблем, національної безпеки, цілісності країни.

В сучасних умовах розвитку держави важливе значення має створення ефективного функціонування економіки транспортної галузі та забезпечення конкурентного середовища залізничного транспорту в умовах його реформування. У зв'язку з цим необхідно створити умови гармонізації правової системи щодо створення відповідного конкурентного простору для даної галузі. Таке перетворення вимагає раціонального використання різноманітних інструментів та механізмів, серед яких вагоме місце займає механізм управління маркетингом. Досвід зарубіжних країн показує їх активність та ефективність у використанні сучасних інструментів при реформуванні транспортного комплексу [6, с. 3]. Відомо, що маркетингові принципи, інструменти та ринкові закони дозволяють ефективно функціонувати економіці

залізничного транспорту в сучасних ринкових умовах.

Понад 100 років минуло відтоді, як був сформований і введений в експлуатацію залізничний транспорт України. Однак сучасний кризовий стан економіки вимагає докорінних змін. Нагальною проблемою ефективного управління залізничним транспортом залишається визначення його конкурентоспроможності. Тенденції розвитку світової економіки мають величезний вплив на економіку України, що призвело до загострення конкуренції в самій транспортній галузі. Це є природно, так як транспортний ринок віддзеркалює зміни в господарській діяльності економіки в цілому, особливо під час кризи. Це і є першочерговим завданням для створення та збереження раціонального використання залізниць. Другою причиною розгляду даного питання є те, що у зв'язку із реформуванням залізничного транспорту України концепція передбачає створення вертикально-інтегрованої структури управління у складі ДП «Укрзалізниця»: департаментів локомотивного господарства, вагонного господарств і пасажирських перевезень з одночасною ліквідацією територіальних залізниць. Надалі передбачається до 2015 року утворити корпоративну форму управління залізницями, перетворивши ДП на ДАК зі збереженням за Укрзалізницею статусу національного перевізника [1, с. 2]. Використання транзитного потенціалу держави також є важливим для формування конкурентоспроможності залізниць.

Постановка завдання

Відтак, одним з найважливіших завдань сучасної вітчизняної економічної науки є пошук шляхів використання інструментів маркетингу для вирішення проблем розвитку економіки залізничного транспорту та функціонування даної галузі в ринкових умовах.

Результати

Вирішення стратегічних задач реформи неможливе без використання сучасних теоретичних моделей ефективного управління [3, с. 51]. А саме це вимагає підвищення соціально-економічної привабливості галузі у сфері транспортного комплексу, стимулювання продуктивності праці, введення в дію інтермодальних перевезень вантажів, організацію додаткових послуг для пасажирів, зміни принципів соціальної підтримки і мотивації праці, розвиток корпоративної культури.

Основними заходами маркетингу Укрзалізниці повинні стати:

1. Формування попиту на експортні, імпорتنі та внутрішні перевезення вантажів (аналіз обсягів перевезення основних видів вантажів у внутрішньому сполученні та у експортно-імпортному сполученні). Безумовно, попит є одним з основних кроків удосконалення системи маркетингу, адже попит породжує пропозицію, що у свою чергу є каталізатором для підвищення валових доходів Укрзалізниці. Для аналізу попиту та перспектив розвитку вантажних перевезень характерно застосувати Матрицю БКГ (Бостонська консалтингова група) [5, с.304].

Механізм її полягає у визначенні частки ринку, де знаходиться товар чи послуга, що аналізується. Метод БКГ базується на одній з концепцій мікроекономічного аналізу – «кривій досвіду». Згідно з цією концепцією доходи залізничного транспорту залежать від частки ринку, яку він контролює (більша відносна частка ринку гарантує вищий дохід).

Взаємозв'язок між витратами та максимізацією прибутку лежить в основі розробленого БКГ методу, який дає змогу оцінити портфель продукції та зробити висновки щодо доцільності його зміни. Метод БКГ аналізує грошовий потік організації, який створюється або споживається окремими її підрозділами. Для вантажного руху доцільним вважається такий розподіл:

* Вантажний рух у межах країни – «Грошові мішки» - «Дохідні перевезення» - стабіль-

ність та велика частка ринку. Це сегменти є «генераторами» прибутку. Вони здатні дати більше коштів, ніж це потрібно для підтримання власної частки ринку, тому їх можна використати для підтримання інших складових матриці БКГ, в першу чергу, для розроблення нових вантажних перевезень. Загальна орієнтація – утвердження лідерства на ринку.

* Інтермодальні перевезення нового покоління (контейнерні, бімодальні перевезення) – «Знаки питання» - «Перспективні перевезення». Для цього сегменту характерно швидке зростання та мала частка ринку. Дані вантажні перевезення переважно відповідають фазі впровадження ЖЦП (життєвого циклу послуг), тому вимагає значних коштів на підтримання росту. Вони перебуває у менш вигідному положенні, ніж продукція пріоритетного конкурента, але все ж має шанс на успіх, тому що ринок розширюється. Якщо цим товарам не надати фінансової підтримки за рахунок інших видів вантажних перевезень, то вони, проходячи фази ЖЦП, потраплять до категорії «собак». Водночас існує стратегічна альтернатива: інвестування (збільшення частки ринку та перехід у «зірки») чи вихід з ринку. Саме це є важливим питанням сьогодення, тому що майбутнє галузі за бімодальними технологіями перевезень, що є ключем до нових сегментів транспортного ринку.

* Вантажний рух у міжнародному сполученні – «Зірки» - «Значні перевезення» (швидке зростання та велика частка ринку) – це вантажні перевезення на швидко зростаючому ринку. Вони вимагають значних коштів для підтримання росту. Грошовий потік від цих перевезень незначний, тому що економія від масштабів випуску та нагромадженого досвіду нівелюється потребою у значних капіталовкладеннях для підтримки росту ринку. Якщо ж інвестиції скоротити, то можуть погіршитися довгострокові перспективи самих перевезень, тобто відбудеться їх перехід у наступну категорію, яка приносить основну масу прибутку. Стратегічна альтернатива цього сегменту – розширювати або утримувати лідерство на ринку. В рамках цього питання важливо розглянути перспективу використання транзитного потенціалу України та ефективного використання транспортних коридорів. Адже створення транспортних коридорів та входження України до міжнародної транспортної системи визнано пріоритетним напрямом розвитку транспортно-дорожнього комплексу (ТДК) держави [2, с. 2].

* Вантажні перевезення у приміському сполученні – «Собаки» - «Специфічні перевезення» (повільне зростання та мала частка ринку) – це перевезення залізничним транспортом, яке перебуває у найгіршому становищі, тому доцільно позбавитися їх. Однак організації в деяких випадках зберігають ці види продукції в своїй номенклатурі. Цільові ринки збуту, які певною мірою захищені від різких коливань попиту та значних нововведень, і здатні істотно змінити пріоритети покупців, мають змогу підтримувати конкурентоспроможність продукції навіть за умов відносно малої частки ринку. На сьогодні автомобільний транспорт залишається одним із найбільших конкурентів в даному сегменті вантажних перевезень. Ця догма також займає чільне місце у транспортному просторі залізничних перевезень. Вантажні перевезення у приміському сполученні хоч і дають малий дохід для галузі, проте потрібні для розвитку промислових районів.

2. Підвищення рівня якості обслуговування користувачів транспортних послуг. Під якістю транспортної послуги розуміють сукупність властивостей та ознак, що характеризують її направленість, особливості, корисність та здатність задовольнити відповідні запити користувачів у переміщенні. Для характеристики вантажних перевезень основними показниками якості транспортного обслуговування вантажовласників мають бути:

- швидкість та строки доставки вантажів (K_{cd});
- схоронність перевезених вантажів (K_{cs});
- своєчасність перевезень або ритмічність та рівномірність перевезення вантажів (K_{cp});
- комплексність та повнота транспортного обслуговування (K_{com});
- безпечний транспортний рух (K_{bd});
- екологічність перевезення вантажів (K_{ek});
- повнота задоволення попиту на перевезення (K_{mo}).

Усі ці показники якості зведено в один комплексний показник K_k (середній рівень якості), що має назву «колесо якості» [4, с. 165].

Виконуючи всі умови щодо переміщення вантажів та раціонально оперуючи «колесом якості», вирішуємо одне з найголовніших питань – задоволення користувача і отримання для даної галузі прибутку. Однак, це може бути досягнуто лише завдяки вдосконаленню техніки та технології вантажних перевезень та впровадження сучасних маркетингових інструментів.

3. Формування попиту на транзитні перевезення (розробка та систематична актуалізація логістичних схем транспортування основних транзитних вантажів, проведення аналізу та підготовка пропозицій щодо удосконалення тарифної політики з метою підвищення ефективності роботи транспортної системи України в сегменті транзитних перевезень, підготовка пропозицій та проведення наради експертів стосовно розробки Тарифної політики СНД на 2012 фрахтовий рік, організація перевезень контейнерів та контейлерів у складі поїздів «Вікінг» та «ZUBR» по маршруту Балтійське море – Чорне море).

4. Організація ефективної рекламної кампанії передбачає використання таких маркетингових комунікацій:

- іміджева реклама та PR (підготовка та видання іміджевого рекламного проспекту про переваги міжнародних перевезень вантажів, які здійснюються територією України залізничним транспортом, підготовка та видання іміджевих регіональних рекламних буклетів щодо конкурентних умов перевезення вантажів залізничним транспортом, розміщення іміджевої реклами про переваги перевезення вантажів залізничним транспортом України на телебаченні, в спеціальних виданнях;

- комп'ютерна реклама (інформування на Веб-сайті УЗ та Веб-сайтах залізниць, розміщення «гарячої» інформації на різноманітних популярних сайтах, створення свого власного активного банеру);

- участь у міжнародних виставках. Цей захід означає позиціонувати галузь на світовому просторі (наприклад: участь у міжнародних конференціях, тендерах, форумах);

- індивідуальне просування транспортних послуг транспортно-експедиційними підприємствами.

5. Підвищення рівня кваліфікації фахівців на залізницях (організація спілок підвищення кваліфікації, різноманітних курсів, актуальним зараз є організація курсів з іноземних мов, що буде дуже необхідним для проведення Міжнародного чемпіонату Євро-2012). Це положення має включати в себе: організацію змагань та підведення підсумків з питань виконання планових експлуатаційних показників та якісного обслуговування користувачів послуг залізничного транспорту у відповідності з розробленим та затвердженим Положенням на звання, а саме:

- кращої дирекції залізничних перевезень;
- кращої товарної контори;

- переможця по професії.

Таким чином, вирішення проблем ефективного управління економікою залізничного транспорту та підвищення рівня конкурентоспроможності вантажних перевезень Укрзалізницею передбачає використання сучасних інструментів маркетингу, що буде сприяти формуванню та розвитку транспортної галузі в сучасних ринкових умовах.

БІБЛЮГРАФИЧНИЙ СПИСОК

1. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту України на 2010-2015 роки [Текст], 2009.
2. Транспортна політика України та її наближення до норм Європейського союзу. Аналітично-дорадчий центр Блакитної стрічки [Текст]. – К., 2010.
3. Ансофф, И. Стратегическое управление [Текст] / И. Ансофф : [пер. с англ.]. – М.: Экономика, 1989.
4. Абрамов, А. П. Маркетинг на транспорте [Текст] : учеб. для вузов / А. П. Абрамов, В. Г. Галабурда, Е. А. Иванова; под общ. ред. д.э.н., проф. В. Г. Галабурды. – М.: Желдориздат. 2001. – 329 с.
5. Маркетинг [Текст] : підр. / В. Руделіус [та ін.]; ред.-упор. О. І. Сидоренко, Л. С. Макарова. – 3-тє вид. – К.: Навчально-методичний центр «Консорціум із вдосконалення менеджмент-освіти в Україні», 2008. – 648 с.
6. О реформировании железнодорожного транспорта в государствах Содружества [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://rian.ru/politics/20011022/2820.html>

Надійшла до редколегії 12.05.2011.

Прийнята до друку 17.05.2011.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ НА ОСНОВІ УЗАГАЛЬНЕНОГО ЛОГІСТИЧНОГО ВІДОБРАЖЕННЯ

В роботі наведено результати дослідження та оперативного прогнозування властивостей часових рядів, отриманих з використанням моделі узагальненого логістичного відображення.

Ключові слова: прогнозування властивостей вагонопотоків, методи оперативного прогнозування, аналіз часових рядів, узагальнене логістичне відображення

В работе представлены результаты исследования и оперативного прогнозирования свойств временных рядов, полученных с использованием модели обобщенного логистического отображения.

Ключевые слова: прогнозирование свойств вагонопотоков, методы оперативного прогнозирования, анализ временных рядов, обобщенное логистическое отображение

The results of research and operational forecasting the properties of economic time series derived from models of the generalized logistic map are presented.

Keywords: forecasting of wagon stream properties, operational forecasting methods, time series analysis, generalized logistic map

Проблеми прогнозування недетермінованих економічних процесів, представлених за допомогою часових рядів

Рішення задач прогнозування і планування параметрів економічних, а також багатьох інших процесів, було і залишається актуальним і важливим для ефективної організації діяльності в різних сферах. На практиці вирішення цих завдань відбувається в умовах неповної інформації, а також при невизначеності, пов'язаній зі специфікою тих або ж інших виробничо-економічних, технологічних процесів, при відсутності достатньо повних відповідних моделей [1, 2]. З урахуванням зазначених особливостей і невизначеностей одним із загальних підходів до аналізу та прогнозування властивостей таких процесів є розгляд їх часових рядів [2, 3]. Завдання оперативного прогнозування на основі часових рядів спостережень параметрів процесів широко використовується для організації ефективного прогнозування, планування та управління [3, 4]. Останнім часом все більше уваги приділяється питанням щодо урахування фрактальних властивостей процесів, застосуванню методів хаотичної динаміки [4, 5], які дозволяють виявити і врахувати при прогнозуванні нову, раніше не використовувану при статистичній обробці, інформацію стосовно властивостей досліджуваних процесах. Математичні моделі та методи хаотичної динаміки все більше використовуються при вирішенні завдань аналізу та прогнозування економічних систем [2 – 4]. Серед таких методів аналізу ча-

сових рядів виділимо R/S -аналіз Херста [4, 5, 7], за допомогою якого вдається встановити деякі додаткові властивості щодо тенденцій і параметрів недетермінованих процесів.

Прикладом іншого методу хаотичної динаміки, дослідженню властивостей якого присвячена наша стаття, є нелінійне логістичне відображення [6, 7], яке є детермінованим, але в [7] та інших дослідженнях показано, що нелінійні моделі при певних значеннях параметрів можуть мати «хаотичну» поведінку. В роботі [9] модель узагальненого логістичного відображення запропоновано використовувати для оперативного прогнозування значень рівнів часових рядів, що характеризують властивості потоків вагонів залізничного транспорту. У статті наведено комплекс досліджень, які розкривають можливості цього нового методу, призначеного для оперативного прогнозування, а також виконано порівняльний аналіз з іншими загальноприйнятими моделями прогнозування рівнів часових рядів, встановлюються властивості адекватності узагальнених логістичних моделей для недетермінованих процесів.

Метод прогнозування часових рядів на основі логістичного відображення

Оперативне прогнозування на основі часових рядів спостережень представляє важливе завдання для ефективного планування та управління багатьма економічними процесами [1 – 5], при цьому часто вони мають складну поведінку, що схожа на «хаотичну». Існують моделі хаотичної динаміки, які все більше за-

стосовуються в управлінні економічними системами. Розвитку цих досліджень і присвячена ця робота.

Прогнозування наступних значень рівнів часових рядів будемо виконувати на основі моделі узагальненого логістичного відображення (УЛВ), що задається таким рекурентним співвідношенням [6, 7]:

$$x_{n+1} = \lambda x_n^{\alpha} (N - x_n^{\beta}), \quad (1)$$

де λ , α і β параметри моделі, які розраховують методом найменших квадратів (МНК);

N – максимальне значення рівнів ряду.

Відображення (1) є одновимірним нелінійним і використовує лише попередній рівень ряду. Відповідно [1, 2] та інших досліджень навіть прості нелінійні моделі, для деяких значень параметрів мають при достатній кількості рівнів ряду хаотичне поведіння, яке здається випадковим. Разом з тим у детермінованих нелінійних моделях така хаотична поведінка породжується саме нелінійністю. Для наших завдань на практиці встановити довжину моделі ряду (1), з якої почнеться «хаотична поведінка», не можливо. Тому прогнозування виконується на основі узагальнення результатів розрахунків для кількох моделей виду (1), параметри кожної з яких розраховують методом МНК для фрагментів часових рядів різної довжини (і є суттєво відмінні). Побудова прогнозу, у нашому дослідженні оперативного, відбувається рекурентно. Для прогнозування на основі відображення (1) на 1 або 2 кроки виконується наступна послідовність операцій (які утворюють узагальнений алгоритм).

Для побудови моделі виду (1) використовувалися 15, 10 та 5 попередніх значень ряду. За МНК проводився пошук таких значень λ , α і β , щоб мінімізувати квадрат похибки.

У відповідності до вибраної кількості попередніх значень ряду визначається N і проводиться розрахунок параметрів (λ , α і β).

Проводиться побудова прогнозу на наступний період за знайденими параметрами – визначення наступного рівня ряду (або двох).

На основі прогнозів для 15, 10 і 5 попередніх значень ряду, знаходимо середнє значення результатів моделей із 15 і 10, та 5 рівнів, так само і для 10 і 15 рівнів.

Знаходиться середнє значення для початкового ряду і його абсолютне відхилення від середнього.

Додається абсолютне відхилення до середніх значень моделей із 15 і 10, та 5, так само і

для моделей із 10 і 15 попередніх рівнів ряду. При цьому отримуємо Прогноз № 1 та Прогноз № 2, відповідно на один і два кроки уперед.

У табл. 1 подано результати числових розрахунків щодо побудови оперативного прогнозу, а також відносні похибки величин прогнозів, указані у відсотках. Останні два рядки безпосередньо представляють значення оперативного прогнозу, відповідно на один та два кроки. Саме вони (два останні рядки 02.02.10 і 03.02.10) являють мету попередніх розрахунків і є прийнятними для практичного застосування методу. На рис. 1 подано графіки цих процесів оперативного прогнозування часових рядів на основі УЛВ, (1). Необхідно відзначити, що запропонований метод розрахований у першу чергу на оперативне прогнозування, тому досить значні розбіжності між рівнями вихідного ряду та значеннями, отриманими із моделі УЛВ для деяких внутрішніх рівнів, не характеризують точність методу у цілому. Вони лише демонструють можливості моделі УЛВ (1) щодо покрокового представлення дуже складного процесу, описаного за допомогою часового ряду («Кількість вагонів», табл. 1). Графіки (табличні значення) рис. 1 прогнозних оцінок рівнів ряду отримують шляхом послідовного виконання наведених вище кроків алгоритму моделі УЛВ для попередніх і останнього фактичного значення рівня ряду. При цьому, зрозуміло, будуть змінюватися параметри моделі УЛВ для наступного етапу оперативного прогнозу.

В дослідженнях були з'ясовані значні можливості застосування запропонованого методу використання УЛВ для побудови у нашому випадку оперативного прогнозу параметрів вагонопотоку, а також його практичного застосування для планування (тут роботи залізниць). Щоб дати більш достовірну оцінку методу УЛВ зупинимось на загальних питаннях аналізу властивостей вихідних часових рядів, для яких виконується прогнозування, хоча із рис. 1 та наступних у цілому зрозуміла складність завдань прогнозування відповідних процесів. Розглянемо ці питання більш докладно.

Важливе значення для прогнозування має виконання вимог до початкової інформації (інтервали між сусідніми рівнями ряду, зіставність рівнів ряду, наявність аномальних значень, а також присутність у даних тенденції та ін. ([2, 6, 7])). Для виявлення аномальних рівнів часових рядів можна використовувати метод Ірвіна [2, 8]. Метод полягає у використанні наступного рівняння:

$$\lambda_t = |y_t - y_{t-1}| / \sigma_y, \quad t = 1, n, \quad (2)$$

де σ_y – середнє квадратичне відхилення часового ряду $y_1, y_2, \dots, y_t, \dots, y_n$:

$$\sigma_y = \sqrt{\left[\sum (y_i - \bar{y})^2 \right] / (n-1)}, \quad \bar{y} = \sum y_i / n. \quad (3)$$

Таблиця 1

Результати оперативного прогнозування параметрів часових рядів на основі логістичного відображення

Дата	Кількість вагонів	Середнє (5, 10 и 15)	Середнє (5 и 10)	Прогноз № 1	Прогноз № 2	Похибка прогнозу № 1	Похибка прогнозу № 2
12.01.10	3 059						
13.01.10	3 577	2 916	2 851	3 363	3 298	5,98 %	7,79 %
14.01.10	3 232	2 760	2 658	2 862	2 761	11,45 %	14,59 %
15.01.10	3 100	2 859	2 781	2 889	2 810	6,81 %	9,34 %
16.01.10	3 465	2 902	2 834	3 237	3 169	6,57 %	8,54 %
17.01.10	3 468	2 790	2 696	3 129	3 034	9,79 %	12,51 %
18.01.10	3 388	2 789	2 695	3 048	2 953	10,04 %	12,84 %
19.01.10	2 782	2 812	2 723	3 160	3 070	13,58 %	10,36 %
20.01.10	3 103	3 018	2 979	3 045	3 006	1,87 %	3,13 %
21.01.10	2 674	2 901	2 833	3 357	3 288	25,53 %	22,97 %
22.01.10	3 441	3 063	3 035	3 374	3 347	1,94 %	2,75 %
23.01.10	2 907	2 797	2 704	3 020	2 927	3,87 %	0,68 %
24.01.10	3 716	2 970	2 919	3 556	3 505	4,29 %	5,68 %
25.01.10	3 412	2 724	2 614	3 006	2 897	11,89 %	15,10 %
26.01.10	2 625	2 805	2 714	3 310	3 219	26,09 %	22,62 %
27.01.10	3 199	3 084	3 062	3 153	3 131	1,42 %	2,12 %
28.01.10	2 774	2 870	2 794	3 225	3 149	16,27 %	13,53 %
29.01.10	2 849	3 021	2 983	3 302	3 264	15,91 %	14,56 %
30.01.10	2 523	2 992	2 946	3 599	3 553	42,63 %	40,82 %
31.01.10	3 299	3 130	3 120	3 300	3 290	0,02 %	0,28 %
02.02.10	2 817	2 839	2 755	3 151	3 068	11,86 %	8,91 %
03.02.10	3 356	3 005	2 970	3 231	3 196	3,71 %	4,76 %

Розрахункові значення $\lambda_2, \lambda_3 \dots$ порівнюються з табличними значеннями критерію Ірвіна, і якщо виявляються більше табличних, то відповідне значення, рівня ряду вважається аномальним.

У [8] подано таблицю значень критерію Ірвіна для різних рівнів значущості α . Питання щодо виникнення та усунення аномальних рівнів часових рядів, як правило, вирішуються окремо.

Перевірка гіпотези існування тенденції часових рядів являє важливий етап їх досліджен-

ня, тому що в них не завжди простежується присутність тренда. Перевірка цієї гіпотези за критерієм «висхідних і низхідних» серій виконується за наступною схемою [8]. Нехай даний часовий ряд:

$$y_1, y_2, \dots, y_t, \dots, y_n, \quad (4)$$

де $t = 1, \dots, n$.

Відповідно до критерію «висхідних і низхідних» серій виконуються такі розрахунки.

1. Визначається послідовність знаків у ряді:
+, якщо $y_{t+1} - y_t > 0$; -, якщо $y_{t+1} - y_t < 0$.

2. Підраховується число серій $v(n)$ – послідовності підряд розташованих плюсів або мінусів.

3. Визначається протяжність найдовшої серії $l_{\max}(n)$.

4. Знаходиться табличне значення $l(n)$.

5. З довірчою вірогідністю 0,95 гіпотеза про відсутність тренда відкидається, якщо порушується хоч би одна з наступних нерівностей,

$$v(n) > \left[(2n-1)/3 - 1,96\sqrt{(16n-29)/90} \right],$$

$$l_{\max}(n) \leq l(n), \quad (5)$$

де квадратні дужки нерівності означають цілу частину числа.

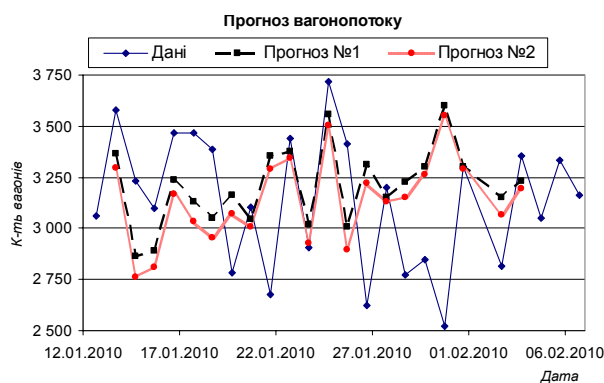


Рис. 1. Графіки прогнозування рівнів часових рядів на основі методу логістичного відображення

Відзначимо, що для представленого у цій роботі прикладу, табл. 1, далі табл. 2, з довірчою вірогідністю 0,95 тенденція у рівнях ряду відсутня: обидві нерівності (5) виконуються,

$$v(n) > \left[(2n-1)/3 - 1,96\sqrt{(16n-29)/90} \right]; \quad 25 > 17;$$

$$l_{\max}(n) \leq l(n); \quad 3 < 6.$$

У зв'язку із наведеною оцінкою властивостей досліджуваного часового ряду отримані у табл. 1 прогнозні оцінки його рівнів можна вважати достатніми для практики.

Порівняльний аналіз результатів прогнозування рівнів часових рядів на основі лінійної, квадратичної моделей та ковзної середньої

Розглянемо питання порівняльного аналізу можливостей прогнозування рівнів часових рядів на основі лінійної, квадратичної моделей та ковзної середньої, коли використовуються три (МА(3) або КС(3)) чи п'ять рівнів (МА(5) або КС(5)). Відповідні вихідні дані, коли по суті «тренду не-

має», та результати прогнозування на основі цих моделей дані у табл. 2 та на рис. 2 – 4. Для кожної із перелічених моделей процесу, побудованих на основі методу найменших квадратів, було виконано перевірку адекватності на основі методики [1, 5, 8]. Застосування критерію Дарбіна-Уотсона підтвердило неадекватність цих моделей. Разом з тим запропонована модель УЛВ на основі (1), досліджена тим же методом, виявилась адекватною.

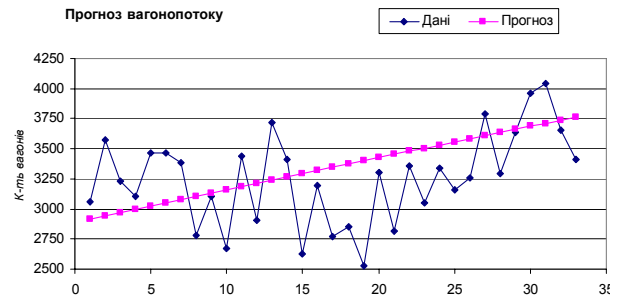


Рис. 2. Прогноз обсягів вагонопотоку на основі квадратичної моделі

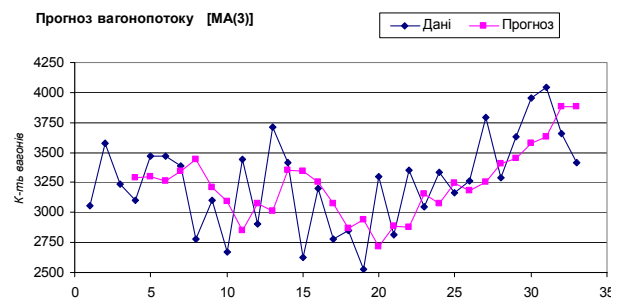


Рис. 3. Прогноз обсягів вагонопотоку на основі ковзної середньої для МА(3)

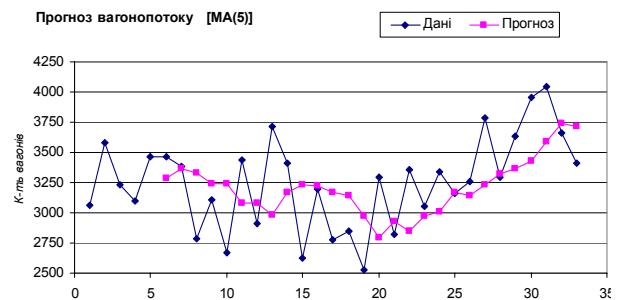


Рис. 4. Прогноз обсягів вагонопотоку на основі ковзної середньої для МА(5)

Наведений приклад аналізу та прогнозування часових рядів приводить до такого висновку. За рахунок запропонованого методу підбору параметрів моделей детермінованого хаотичного процесу (1) вдалося отримати таку послідовність прогнозованих рівнів ряду, яка дозволяє вважати модельні значення адекватними відповідно вихідного часового ряду. При цьому оперативні прогнозні значення рівнів часового ряду на один та два кроки мають похибку, що не перевищує 12 %, табл. 1.

**Прогнозування рівнів часових рядів на основі лінійної,
квадратичної моделей та ковзної середньої**

Дані	Похибка (%)	Лінійна	Похибка (%)	Квадратична	Похибка (%)	КС(3)	Похибка (%)	КС (5)
3059		2934	4,10	2916	4,68			
3577		2959	17,27	2943	17,71			
3232		2985	7,64	2971	8,08			
3100		3011	2,88	2998	3,28	3289	6,11	
3465		3036	12,37	3026	12,68	3303	4,68	
3468	5,23	3062	11,71	3053	11,97	3266	5,8	3287
3388	0,58	3088	8,87	3080	9,09	3344	1,29	3368
2782	19,72	3113	11,90	3107	11,68	3440	23,66	3331
3103	4,43	3139	1,15	3134	1,00	3213	3,53	3241
2674	21,21	3164	18,34	3161	18,22	3091	15,59	3241
3163	0,28	3549	12,20	3558	12,48	3248	2,68	3172
3261	3,57	3575	9,62	3584	9,89	3183	2,38	3145
3790	14,69	3600	5,01	3609	4,76	3253	14,16	3233
3293	0,83	3626	10,11	3635	10,39	3405	3,39	3320
3635	7,33	3651	0,45	3661	0,71	3448	5,14	3369
3957	13,36	3677	7,07	3687	6,84	3573	9,71	3428
4043	11,27	3703	8,42	3712	8,18	3628	10,26	3587
3658	2,34	3728	1,92	3738	2,18	3878	6,02	3744
3413	8,91	3754	9,99	3763	10,26	3886	13,86	3717
4446	15,85	3780	14,99	3788	14,79	3705	16,67	3741

Висновки

У роботі досліджено можливості оперативного прогнозування недетермінованих процесів, поданих часовими рядами, на основі моделі узагальненого логістичного відображення. Запропоновано рекурентну процедуру розрахунку прогнозних оцінок рівнів часових рядів. Порівняльний аналіз результатів прогнозування на основі запропонованої моделі показав, що вона є адекватною і має переваги перед декількома загальноприйнятими моделями. Оцінки похибок оперативних прогнозів, розрахованих на основі запропонованої моделі, свідчать про її практичну придатність.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- Андерсен, Т. Статистический анализ временных рядов [Текст] / Т. Андерсен. – М.: Мир, 1976. – 680 с.
- Иванов, В. В. Анализ временных рядов и прогнозирование экономических показателей [Текст] / В. В. Иванов. – Х.: ХНУ, 1999. – 230 с.
- Ширяев, А. Н. Основы стохастической финансовой математики [Текст] / А. Н. Ширяев. – Т. 1. Факты. Модели. – М.: ФАЗИС, 1998. – 512 с.
- Петерс, Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории хаоса в инвестициях и экономике [Текст] / Э. Петерс. – М.: Интернет-трейдинг, 2004. – 304 с.
- Сергеева, Л. Н. Моделирование поведения экономических систем методами нелинейной динамики (теории хаоса) [Текст] / Л. Н. Сергеева. – Запорожье: Запорожский гос. ун-т, 2002. – 227 с.
- Безручко, Б. П. Математическое моделирование и хаотические временные ряды [Текст] / Б. П. Безручко, Д. А. Смирнов. – Саратов: Гос. УНЦ «Колледж», 2005. – 320 с.
- Шарапов, О. Д. Економічна кібернетика [Текст] : навч. посібник / О. Д. Шарапов, В. Д. Дербенцев, Д. Є. Семьонов. – К.: КНЕУ, 2004. – 231 с.
- Моделі і методи соціально-економічного прогнозування [Текст] : підручник / В. М. Геєць [та ін.]. – Х.: Видавн. дім «ІНЖЕК», 2005. – 396 с.
- Скалозуб, В. В. Метод прогнозування часових рядів на основі логістичного відображення [Текст] / В. В. Скалозуб, І. В. Клименко // Тез. докл. V Межд. науч.-практ. конф. «Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании». – Д., 2011. – С. 67-68.

Надійшла до редколегії 11.05.2011.

Прийнята до друку 19.05.2011.

Р. Б. СОКОЛЬСЬКА, В. Д. ЗЕЛІКМАН (НМетАУ, Дніпропетровськ),
Є. Ю ЗАХАРОВА (ВАТ «Дніпропетровський агрегатний завод»)

УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛІКУ МАЛОЦІННИХ І ШВИДКОЗНОШУВАНИХ ПРЕДМЕТІВ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Запропоновано методичний підхід до обліку руху і використання малоцінних і швидкозношуваних предметів для промислового підприємства, удосконалено інформаційне та організаційне забезпечення контролю і планування витрат.

Ключові слова: малоцінні та швидкозношувані предмети для промислового підприємства, облік руху і використання, забезпечення контролю і планування витрат

Предложен методический подход к учету движения и использования малоценных и быстроизнашивающихся предметов для промышленного предприятия, усовершенствовано информационное и организационное обеспечение контроля и планирования затрат.

Ключевые слова: малоценные и быстроизнашивающиеся предметы для промышленного предприятия, учет движения и использования, обеспечение контроля и планирования затрат

The methodical approach for accounting of movement and use the low-valuable and quick-wear objects for an industrial enterprise is offered and the informative and organizational providing of controlling and planning expenses is improved.

Keywords: low-valuable and quick-wear objects for industrial enterprise, accounting of movement and use, providing of controlling and planning expenses

Постановка проблеми

В сучасних умовах ринкової економіки, підприємству, щоб бути прибутковим та конкурентоздатним, необхідно ретельно планувати свої витрати. На підставі плану виробництва продукції підприємства повинен розроблятися чіткий план використання інструменту, спеціальної оснастки та спеціального одягу, тобто малоцінних і швидкозношуваних предметів, які є необхідною складовою виробничого процесу. Крім того, для нормального функціонування підрозділів підприємства потрібні такі активи, як меблі, канцелярські товари, господарський інвентар, офісне обладнання. Тому дуже важливо, щоб на підприємстві був організований ефективний облік малоцінних і швидкозношуваних предметів (МШП), який би дозволяв правильно оцінювати їх вартість, вести контроль за їх надходженням, експлуатацією та вибуттям.

Аналіз останніх досліджень та публікацій стосовно предметної області, яка досліджується, показав, що на більшості підприємств не приділяється достатньо уваги контролю за витратами на малоцінні і швидкозношувані предмети та плануванню цих витрат [1, 2]. Зокрема, аналіз ведення обліку МШП на промислових підприємствах [3, 4] показує, що:

- рахунок 221 «Малоцінні і швидкозношувані предмети» та 117 «Інші необоротні матеріальні активи» не мають достатньої кількості

аналітичних рахунків;

- підприємства не планують витрати по малоцінним і швидкозношуваним предметам;

- відсутній зведений документ з руху МШП, який би дозволив покращити аналіз, контроль та планування малоцінних і швидкозношуваних предметів.

Таким чином, сучасний стан питання обліку руху і використання малоцінних і швидкозношуваних предметів обумовлює необхідність проведення додаткових досліджень.

Метою дослідження є розробка методичного підходу, інформаційного та організаційного забезпечення обліку і планування витрат на малоцінні і швидкозношувані предмети в умовах промислового підприємства.

Викладення основного матеріалу

На підставі виявлених недоліків доцільно ввести до синтетичного рахунку 221 «Малоцінні і швидкозношувані предмети» наступні аналітичні рахунки:

- 221.1 «Центральний інструментальний склад»;

- 221.2 «Спеціальний одяг»;

- 221.3 «Господарський інвентар»;

- 221.4 «Офісне обладнання і канцтовари»;

- 221.5 «Інші малоцінні і швидкозношувані предмети».

Крім того, до синтетичного рахунку 117 «Інші необоротні матеріальні активи» також доцільно ввести наступні аналітичні рахунки:

- 117.1 «Спеціальний одяг»;
- 117.2 «Придбаний інструмент»;
- 117.3 «Господарський інвентар»;
- 117.4 «Змінне обладнання»;
- 117.5 «Офісне обладнання і канцтовари»;
- 117.6 «Інші малоцінні і швидкозношувані предмети».

Запропоновані аналітичні рахунки дадуть змогу поділити малоцінні предмети на групи, що спрощує аналітичну роботу.

У комп'ютерній програмі «1-С: Бухгалтерія», яка застосовується для ведення бухгалтерського обліку на більшості підприємств, передбачене формування оборотних відомостей з обліку МШП за рахунками, складами та підрозділами підприємства. Поділ на запропоновані аналітичні рахунки дасть змогу формувати оборотні відомості за аналітичними рахунками, що позбавить необхідності великої рутинної роботи з відбору необхідної інформації.

Наприклад, якщо бухгалтеру чи економісту потрібно проаналізувати інформацію щодо господарського інвентарю за певний період, то для отримання цієї інформації не буде потреби у пошуку в оборотних відомостях потрібних даних, а треба буде тільки сформувати оборотні відомості за аналітичними рахунками 221.3 та 117.3, де буде представлена інформація тільки по господарському інвентарю.

Також доцільним є введення електронного документу «Аналітична відомість з наявності та руху малоцінних і швидкозношуваних предметів за період», яка буде складатися на підставі існуючих та запропонованих аналітичних рахунків з обліку МШП. Дана аналітична відомість буде призначена для аналітичної роботи з інформацією про наявність та рух малоцінних і швидкозношуваних предметів і має включати в себе наступні дані: група МШП, аналітичний рахунок, на якому обліковується даний вид малоцінних і швидкозношуваних предметів, найменування та марка, підрозділ, в якому МШП використовується, залишок на початок періоду, надходження, передача в експлуатацію, списання, залишок на кінець періоду у кількісному та грошовому вимірі.

Запропонована аналітична відомість передбачає поділ усіх МШП на групи, що дозволить проводити більш ефективну роботу з відомістю та позбавить необхідності аналітичної роботи над декількома відомостями з обліку МШП. Також у даній аналітичній відомості усі мало-

цінні і швидкозношувані предмети представлені за аналітичними рахунками, що дозволяє відразу побачити, відносяться МШП до складу оборотних чи до необоротних активів підприємства. Залишок на початок та на кінець періоду у відомості показує наявність МШП на складах підприємства на даний момент, що дозволить володіти інформацією про наявність ресурсів.

Все це дасть можливість плановому відділу підприємства оцінити необхідність залучення коштів на закупівлю та виробництво тих чи інших малоцінних і швидкозношуваних предметів, виявляти випадки так званих «надлишкових витрат» на закупівлю або виготовлення МШП.

Інформація про надходження, вибуття, та передачу в експлуатацію МШП у аналітичній відомості, дозволить відстежити рух малоцінних і швидкозношуваних предметів на підприємстві. При виникненні будь яких суперечливих питань з надходження, вибуття, передачі в експлуатацію МШП аналітична відомість дасть можливість швидкого пошуку інформації щодо малоцінного матеріалу, по якому виникло суперечливе питання. Також дана відомість дозволить аналізувати економічному відділу умовно-постійну величину витрат на ті чи інші малоцінні матеріали, що надає змогу більш раціонально планувати ці витрати.

Слід відзначити, що на більшості підприємств планування витрат на МШП не здійснюється. Закупівля малоцінних і швидкозношуваних предметів відбувається на підставі заявок підрозділів підприємства та підписаних керівником підприємства рахунків на оплату МШП. Але планування витрат на малоцінні і швидкозношувані предмети є необхідним. Доцільним уявляється попереднє планування витрат на закупівлю МШП, котре буде здійснюватися самим підрозділом підприємства, який потребує цих матеріалів. Наприклад, економічний відділ розробляє план випуску продукції, затверджує його у керівника, а потім віддає його у цехи. У цехах на підставі плану випуску продукції розробляється план використання інструменту, тобто найменування та кількість інструментів, які будуть потрібні для виконання даного плану випуску продукції. Цей план оформлюється у вигляді заявки цеху на закупівлю або виготовлення інструменту, яка, в свою чергу, передається до економічного відділу.

Економічний відділ за допомогою запропонованої аналітичної відомості обробляє інформацію щодо витрат на інструменти за попередній період, їх наявність на складах та в екс-

плату за нього у теперішній час, після чого розраховує планові витрати на інструмент за допомогою одного з трьох методів:

- статистичного;
- методу розрахунку за нормами оснастки;
- методу розрахунку за нормами витрат.

При статистичному методі розрахунок має здійснюватись наступним чином: за даними попереднього періоду визначаються фактичні витрати на інструмент, і визначена таким чином кількість корегується на виробничу програму поточного періоду.

При застосуванні методу розрахунку за нормами оснастки кількість інструменту, який повинен знаходитися на робочому місці на протязі певного періоду, помножується на кількість робітників, які застосовують цей інструмент одночасно, та ділиться на термін експлуатації цього інструменту.

При застосуванні методу розрахунку за нормами витрат, кількість інструменту, який витрачається при виробництві однієї деталі, помножується на кількість одиниць продукції, яка підлягає випуску на протязі певного періоду [5, 6].

Після розрахунку планових витрат на інструмент та аналізу наявності необхідного інструменту на складах та в цехах підприємства економічний відділ складає план закупок або виготовлення необхідного інструменту, який передає на затвердження директору підприємства.

Після затвердження плану у керівника підприємства, економічний відділ передає план закупок або виготовлення інструменту інструментальному відділу для виконання цього плану. Цей механізм планування може застосовуватись не тільки для витрат на інструмент, а також і на інші малоцінні і швидкозношувані предмети.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином, використання запропонованого методичного підходу до обліку використання малоцінних і швидкозношуваних предметів та планування витрат на їх придбання і виготовлення дозволить покращити систему управління витратами на промисловому підприємстві, що, у свою чергу, дасть змогу підвищити його конкурентоспроможність та прибутковість.

Предметом подальшого дослідження має стати визначення особливостей застосування запропонованого методичного підходу на підприємствах, що відносяться до різних видів економічної діяльності.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Заруба, І. Малоцінні та швидкозношувані предмети: особливості обліку [Текст] / І. Заруба // Все про бухгалтерський облік. – 2008. – № 108 (19.11.2008). – С. 6-8.
2. Войтенко, Т. Учетная политика-2010: главное [Текст] / Т. Войтенко // Налоги и бухгалтерский учет. – 2010. – № 1-2. – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://nibu.factor.ua/golden/doc.html?id=12039>
3. Пісочний, С. Малоцінка на підприємстві [Текст] / С. Пісочний // Все про бухгалтерський облік. – 2010. – № 24 (15.03.2010). – С. 6-8.
4. Зелікман, В. Д. Удосконалення системи обліку малоцінних і швидкозношуваних предметів в умовах металургійного підприємства [Текст] / В. Д. Зелікман, Л. Є. Карнобацька // Materiály IV mezinárodní vědecko-praktická konference «Věda: teorie a praxe - 2008». – Díl 2. Ekonomické vědy: Praha. Publ. House «Education and Science» s.r.o. – 80 stran. – S. 48-50.
5. Золотухін, О. Облік інструментів [Текст] / О. Золотухін // Главбух. – 2010. – № 8. – С. 37-46.
6. Озерова, О. Особливості обліку канцелярських товарів [Текст] / О. Озерова // Главбух. – 2010. – № 8. – С. 48-54.

Надійшла до редколегії 28.02.2011.

Прийнята до друку 03.03.2011.

ЕВОЛЮЦІЯ ПОНЯТТЯ СТРАХУВАННЯ

У статті показано еволюцію поняття страхування від найраніших форм до сучасних. Показано розвиток страхування в Україні. В табличній формі наведено огляд трансформації поняття страхування.

Ключові слова: еволюція поняття страхування, огляд трансформації поняття страхування, розвиток страхування, Україна

В статье показана эволюция понятия страхования от ранних форм до современных. Показано развитие страхования в Украине. В табличной форме приведен обзор трансформации понятия страхования.

Ключевые слова: эволюция понятия страхования, обзор трансформации понятия страхования, развитие страхования, Украина

In the article the evolution of the concept of insurance from the earliest forms to contemporary ones is shown. The development of insurance in Ukraine is demonstrated. A review of transformation of the insurance concept is presented in tabular form.

Keywords: evolution of insurance concept, review of transformation of insurance concept, development of insurance, Ukraine

Вступ

Світова практика не виробила більш економічного, раціонального і доступного способу захисту економічних інтересів підприємств як страхування. Поряд з іншими інструментами регулювання ринкових взаємовідносин страхування покликане забезпечити стабільність виробництва і споживання.

Результат

Страхування – найдавніша категорія суспільних відносин. Виникнувши у період розпаду первіснообщинного ладу, воно поступово стало супутником суспільного виробництва. Спочатку страхування було тісно пов'язане зі словом «страх». Власники майна відчували страх за його збереження, за можливість знищення або втрати у зв'язку зі стихійним лихом, підпалом, крадіжками та іншими непередбаченими небезпеками, що супроводжують людське життя [1]. В умовах сучасного суспільства з розвинутою економікою практично не існує матеріальних об'єктів та інтересів, не захищених страхуванням.

Для найраніших форм страхування характерним було взаємне страхування, в основі якого закладена ідея колективної взаємодопомоги. Приклади таких форм страхування можна знайти у Вавилонії, законах царя Хаммурапі (близько 1760 року до н.е.).

В Древній Греції і Римської імперії також можна знайти приклади страхування, засновані на принципах взаємного страхування. Як класичний приклад в літературі наводиться страхування в Древньому Римі, де поступово склалися постійні організації (колегії, союзи) по

професійному (торговці, ремісники, військові або релігійній ознаці зі своїм статутами. Прикладом може служити Статут ланувійської колегії, яка була заснована в 133 році до н.е.

Схожі з сучасними страховими компаніями були союзи селян для взаємного забезпечення на випадок пожеж або відмінки худоби, такі, що вперше з'явилися в Ісландії в XII столітті. Але найбільш популярним в Європі було морське страхування. Відомо, що вже в 1300 році, в Бельгії, практикувалися прямі оплати морських ризиків за страхову премію. У наступному столітті були встановлені страхові тарифи на регулярні плавання з Лондона на континент і назад. Розвивалося страхове законодавство.

Ще в 1234 році декретом папи Григорія IX забороняються всі операції, пов'язані з лихварством. Відповідно до принципів Священного Писання забороняючи і обмежуючи лихварство, церква могла сильно утруднити розвиток морської торгівлі. Але в той же час такі дії церкви сприяли становленню ефективної системи захисту від ризику – появи страхового договору. Так торговці і банкіри прагнучи обійти таку заборону укладали договір, в якому обмовлялася ціна продажу і покупки товару в порту відвантаження і порту призначення. Різниця між ціною повторної покупки і продажу, було нічим іншим, як ціною ризику і замінювала відсоток по позиції. Через такі схеми торговці, мореплавці і позичальники сприяли народженню страхового договору.

У 1601 році при парламенті Англії була створена комісія з дозволу спірних питань контрактів морського страхування.

Істотним поштовхом до розвитку страхування майна від вогню з'явилася Велика Лон-

донська пожежа 1666 років, що знищив 13200 будівель в центрі Лондона. Прийнято вважати, що страхування життя також зародилося у Великобританії в 1762 році. До кінця XVIII століття в Західній Європі налічувалося вже близько 100 різних видів майнового і особистого страхування.

Найдавнішим способом страхового захисту в Україні, як і в усьому світі, було взаємне страхування.

В Україну класичне страхування прийшло із Західної Європи ще в XVIII ст. З виникненням філій англійських страхових компаній. У 1857 р. в Одесі було створено Російське товариство пароплавства і торгівлі, величина страхового капіталу якого становила один мільйон рублів. Цей фонд застосовували при страхуванні суден.

У містах діяли товариства взаємного страхування від вогню. Одне з таких товариств було утворено в Полтаві у 1863 р. Згодом такі самі товариства з'явилися в Києві, Одесі та Харкові, їхня діяльність обмежувалася територією відповідного міста. Ці товариства обслуговували ризики здебільшого великих домовласників, купців і фабрикантив.

У другій половині XIX ст. спектр страхових послуг був досить широким, але найпопулярнішим і надалі залишалося страхування від вогню. Страхові товариства приймали заяви на страхування будівель, тварин, меблів, вантажів. Набуло поширення страхування життя.

У 1909 р. було затверджено статут Харківського Товариства страхування від вогню майна гірничих і гірничозаводських підприємств.

Цікавою є історія розвитку страхових відносин на землях Західної України, де почали свою діяльність перші національні страхові товариства «Дністер» та «Карпатія».

Рішення про відкриття «Дністра» як кооперативного товариства взаємного страхування було прийняте 9 грудня 1891 р. Але перші страхові операції «Дністер» почав проводити аж після 15 вересня 1892 р.

Страхове товариство «Дністер» за статутом було господарським об'єднанням взаємного типу, особливістю яких, як відомо, є обов'язкове дотримання його учасниками принципу солідаризму, тобто рівності інтересів.

1 липня 1911 р. відбулися загальні збори засновників товариства взаємного страхування життя і пенсій «Карпатія», на яких було обрано керівні органи.

Товариство почало свою роботу 27 серпня 1911 р. у Чернівцях, активно шукаючи реальних можливостей поліпшення і подальшого розвитку товариства, вирішили перенести його центральні

органи з Чернівців до Львова – найбільшого господарського центру східного регіону Австро-Угорської імперії. Це й було зроблено восени 1913 р.

Наприкінці Першої світової війни в Україні почалася активна реорганізація кооперативного страхування. Було визнано, що багато приватних страхових організацій, які діяли на страховому ринку, дуже несолідно обслуговували кооперативи, зловживаючи їхньою довірою. Довоєнна система земського страхування була в стані занепаду, а тому виявилася дуже обмеженою у своїх фінансових можливостях.

Щоб ширше охопити справу кооперативного страхування, український «Коопцентр» за домовленістю з усіма центральними спілками створив статут загальноукраїнської страхової організації – Української кооперативної страхової спілки. Статут цієї організації обговорювали ще з осені 1918 р. За статутом, Українська кооперативна страхова спілка мала стати не звичайною асоціацією страхових організацій, а самостійно діючою страховою компанією.

Статутом були передбачені різноманітні галузі страхування:

- страхування від вогню рухомого та нерухомого майна кооперативів;
- страхування життя співробітників-членів кооперативів на випадок смерті чи втрати ними працездатності;
- страхування транспорту;
- страхування рухомого майна на випадок крадіжки зі зломом;
- страхування врожаю різних сільськогосподарських культур від граду;
- страхування тварин, а також інших видів майна, якщо у цьому є потреба.

Членами спілки могли стати різні кооперативи та їхні об'єднання. Обов'язкова кількість паїв для кожного члена мала дорівнювати сумі, що становила б не менш як половину його річної премії. Відповідальність членів становила подвійну суму від сплачених ними премій. Унесені паї давали право на дивіденди, які не могли перевищувати 8 % від суми паю. Отже, як сфера діяльності спілки, так і умови участі в ній у фінансовому плані були досить привабливими й зацікавили навіть керівництво «Дністра» та «Карпатії».

У фаховій літературі питанням з'ясування поняття страхування також приділено значну увагу. Формування страхування як окремої галузі дослідження відбувалося протягом тривалого періоду. Полеміка в економічній літературі навколо терміна «страхування» поширена і різноманітна.

Вагомий внесок у дослідження теоретико-методологічних засад страхової діяльності та визначення понятійного апарату страхування зробили такі вчені, як В. Д. Базилевич, О. І. Барановський, Н. М. Внукова, К. Г. Воблий, О. О. Гаманкова, Т. Є. Гварліані, О. А. Гвозденко, В. Б. Гомелля, Н. Б. Грищенко, О. Д. Заруба, О. М. Зубець, М. С. Клапків, В. В. Корнєєв, Л. А. Орланюк-Малицька, С. С. Осадець, В. К. Райхер, Л. І. Рейтман, Т. А. Ротова, А. С. Руденко, К. Є. Турбіна, Т. А. Федорова, В. В. Шахов, Я. П. Шумелда та інші.

У літературі висловлюються різні позиції щодо змісту поняття «страхування». Так енциклопедичний словник «Економіка і страхування» визначає страхування: як економічну категорію, сукупність форм і методів формування цільових грошових фондів і їх використання для відшкодування збитків, завданих різноманітними небажаними подіями (страховими випадками), а також для надання допомоги громадянам та (чи) їх сім'ям внаслідок настання певних подій в їхньому житті (дожиття, травми, інвалідності), та як форму забезпечення зобов'язань у господарському і цивільно-правовому обігу, що візується через систему фінансової компенсації на випадок несприятливих обставин в обмін на переважно регулярну сплату невеликих грошових сум (страхових премій), які формують страховий фонд, який включається уповноваженою на те особою (страховиком) у прибуткові активи. При цьому цілеспрямована господарська діяльність страховика здійснюється у формі фінансового посередництва, що ґрунтується на глибоких знаннях вірогідності настання страхового випадку [2, С. 22].

В Україні правові норми, що регулюють відносини в галузі страхової діяльності, містяться насамперед як у загальних, так і в спеціальних, присвячених регулюванню тільки страхових відносин, нормативних актах. До основних належать: Конституція України, Закон України «Про страхування», відповідні постанови Кабінету Міністрів України.

Страхування, відповідно до закону України «Про страхування», є одним із видів цивільно-правових відносин, пов'язаних із захистом майнових інтересів громадян та юридичних осіб у разі настання певних подій (страхових випадків), визначених договором страхування або чинним законодавством, за рахунок грошових фондів, що формуються шляхом сплати громадянами та юридичними особами (страхувальниками) страхових внесків [3, С. 5].

Загальний теоретичний огляд сутності страхування показав, що поняття це не нове і зна-

ходиться в науковому обороті понад 200 років, причому його економічна сутність трактується постійно з різних точок зору.

В роботі «Дослідження про природу і причини багатства народу» А. Сміт наголошує, що на розмір прибутку торговця впливає не тільки «коливання ціни товарів, якими він торгує, але й успіх й невдачі його конкурентів та споживачів, а також тисячі інших випадковостей, яким підвернені його товари при перевезенні морем, або сушею, або навіть на складі» [4, С. 154]. Також А. Сміт відзначав, що невпевненість у поверненні своїх грошей спонукає кредитора встановлювати такий же високий процент, який зазвичай встановлюється банкрутам. Крім того, він вважав, що мінімальна звичайна норма прибутку повинна завжди бути декілька більша того, щоб була достатньою для відшкодування випадкових збитків, що можливі при будь-якому розміщенні капіталу та достатньою для відшкодування випадкових збитків, що можливі при наданні грошей у борг навіть при дотриманні обережності [4, С. 160]. У зазначеній праці А. Сміт навіть називає розмір проценту по кредитах та страхового тарифу. Так він зазначає: «У країні, де звичайна норма чистого прибутку доходить до восьми або десяти на сто, можна визнати справедливим, якщо половина його доводиться на оплату відсотка в тих випадках, коли підприємство використовує чужі гроші. Ризик за долю капіталу лягає на боржника, який як би бере його на страх у кредитора; і чотири або п'ять відсотків в більшості галузей промисловості можуть бути визнані і достатнім прибутком за ризик такого страхування, і достатньою винагородою за клопіт, пов'язаний з виробничим використанням капіталу» [4, С. 162].

Крім того, у вищезгаданій праці А. Сміт говорить: «про те, що шанси втрати часто недооцінюються і майже ніколи не переоцінюються, може засвідчити нам вельми помірний відсоток, що стягується при страхуванні. При страхуванні якого-небудь підприємства від вогню або ризиків на морі необхідно, аби загальна премія страхування була достатня для покриття всіх втрат, для оплати витрат по управлінню і для здобуття прибутку, яка може бути отримана з капіталу відповідних розмірів, вкладеного в будь-яку галузь торгівлі або промисловості. Особа, що сплачує не більш за це, оплачує, вочевидь, лише дійсну вартість ризику або нижчу ціну, по якій вона може розумно застрахувати його. Але хоча багато хто з тих, хто займався

страховою справою, нажив небагато, дуже небагато отримали крупні статки; з одного цього факту представляється сповна очевидним, що звичайний баланс прибутків і збитків в цій справі не сприятливіший, ніж у всякій іншій галузі торгівлі, в якій люди нажили статку. Але як ні помірна звичайно страхова премія, багато хто дуже зневажливо відноситься до ризику, аби поклопотатися сплатити цю премію. Беручи в середньому все королівство, ми побачимо, що дев'ятнадцять будинків з двадцяти або, швидше, дев'яносто дев'ять із ста не застраховані на випадок вогню. Ризик на морі більшості людей вселяє більше побоювань, і тому відношення числа застрахованих судів до незастрахованих набагато вище. Проте багато хто пускається в плавання у будь-який час року і навіть під час війни без всякої страховки. Можливо, що інколи в цьому не можна бачити необережності. У тому випадку, коли крупна компанія або навіть крупний купець має на морі двадцять або тридцять судів, вони можуть як би страхувати одне судно іншим судном. Економія на премії за всі ці судна може з лишком покрити ті втрати, яким вони піддаються при звичайному перебігу подій. Але зверхне відношення до страхування судів, як і будинків, в більшості випадків обумовлено не такими точними обчисленнями, а чисто безтурботною легковажністю і самовпевненним презирством до ризику» [4, С. 171].

Як бачимо, автор визначає не тільки розміри страхових тарифів, але й норму прибутковості у страховій діяльності. Називає причини нехтування страхуванням майна. Крім того, цікавим є те, що А. Сміт використовує термінологію страховій діяльності, яка використовується й сучасними дослідниками страхування, а саме ризик, премія, ймовірність ризику тощо.

Існує група визначень, які на перший план висувають статистичні закони, які обумовлюють необхідність страхування. На думку одного з теоретиків науки страхування К. Г. Воблого, немає сенсу вважати наукову організацію основною ознакою страхування, тому що існують багато різних видів страхування на підприємстві, як наприклад, страхування від крадіжки, страхування скла та інше, які не спираються на статистичні закони [5, С. 16].

У роботі К. Г. Воблого підкреслюється економічне значення страхування як для суб'єктів господарювання, так і для фізичних осіб: «людство для того, щоб захистити себе від пагубно-

го впливу небезпек в економічному відношенні, створило особливий прийом боротьби з небезпеками, відомий під назвою «страхування».

Автор стверджує, що страхування це особливий вид господарської діяльності на основі солідарності і зворотності, метою якого виступає покриття майбутніх потреб, що виникають при настанні випадкової статистично вимірюваної події. [5, С. 10]

Аналіз поняття, сутності та змісту страхування, який провів відомий фахівець у цій галузі С. С. Осадець показав, що страхування є насамперед системою економічних відносин між конкретними суб'єктами господарювання, де з одного боку виступають страхувальники, а з іншого страховики. Крім того, важливою передумовою застосування страхування є майнова самостійність суб'єктів господарювання й їхня зацікавленість у переданні відповідальності за наслідки ризику спеціалізованим формуванням.

С. С. Осадець сформулював своє особисте визначення поняття «страхування». На його думку «страхування» – це економічні відносини, за яких страхувальник сплатою грошового внеску забезпечує собі чи третій особі в разі настання події, обумовленої договором або законом, суму виплати страховиком, який утримує певний обсяг відповідальності і для її забезпечення поповнює та ефективно розміщує резерви, здійснює превентивні заходи щодо зменшення ризику [6, С. 19].

З юридичної точки зору страхування розуміють як договір. К. Шершеневич під торговим страхуванням розуміє договір, в силу якого одна сторона (страховик) за певну винагороду зобов'язується відшкодувати шкоду, яка може бути завдана майну іншої особи (страхувальника) внаслідок заздалегідь передбаченого нещасного випадку.

Сучасні юристи визначають соціально-економічну суть страхування тим, що за рахунок внесків, здійснюваних юридичними особами та громадянами створюються страхові фонди, що використовуються для компенсації особам, які постраждали в наслідок стихійних лих, нещасних випадків або інших передбачених у законі подій [7, С. 120].

Дослідники В. Д. Базилевич і К. С. Базилевич вважають, що страхування – спосіб захисту майнових інтересів громадян в умовах ринкової економіки. Вони стверджують, що необхідність страхового захисту має кілька аспектів: природний, економічний, соціальний, юридичний, міжнародний.

Теоретичний огляд трансформації поняття «страхування»

Поняття страхування	Автор/Джерело	Ключові параметри поняття
1	2	3
Страховання – це заощадження, призначене для ліквідації відхилень через руйнування цінностей випадковими нещастями	И. И. Степанов (1875 г.) в работе Л. А. Мотылева и др. Справочник по государственному страхованию. – М.: Финансы, 1978. – 204 с. – С. 15.	Страховання – заощадження
«Ось це відкладання премії за ризик з метою відшкодування дійсних втрат, що надійшло, і є страхування; у ньому та цінність, яка спочатку була премією за ризик, перетворюється в премію страхову»	П. А. Никольский. Основные вопросы страхования. – Казань, 1895. – 160 с.	Страховання – відкладання премії за ризик
Страховання – вид торговельної чи кредитної угоди, «при страховій угоді обмінюється страхова премія на право отримання у майбутньому, при появі відомих умов, більш великої страхової суми – подібно тому, як при кредиті обмінюється надання на час капіталу (послуг) за відому винагороду (проценти) у майбутньому. Страхувальник аналогічний кредитову, страховик – боржнику»	М. И. Туган-Барановский. Основы политической экономии: 5-е изд. – Г.: Право, 1918. – 540 с.	Страховання – вид торговельної чи кредитної угоди
Страховання є одним з методів створення централізованого страхового фонду для відшкодування за рахунок страхових внесків збитків у народному господарстві від стихійних лих і нещасних випадків, а також для виплати відповідних сум у зв'язку з наростанням визначних подій, пов'язаних із життям і працездатністю застрахованих	Ф. В. Коньшин. Государственное страхование в СССР. – М.: Госфиниздат, 1947. – 332 с.	Страховання – метод створення централізованого страхового фонду
Страховання – форма організації централізованого в тому чи іншому масштабі страхового фонду за рахунок децентралізованих джерел: з внесків в цей фонд, які здійснюють його учасники	В. К. Райхер. Общественно-исторические уровни страхования. – М.: Изд-во АН СССР, 1947. – 282 с.	Страховання – форма організації Страхового фонду
Страховання – це сукупність фінансово-економічних відносин, за допомогою яких перерозподіляється частина національного доходу в інтересах зміцнення економіки суспільного виробництва і матеріального благополуччя трудящих, шляхом особливого фонду грошових коштів за рахунок внесків підприємств і організацій, а також населення для строго цільового їх використання – відшкодування учасникам створення фонду збитків у зв'язку зі стихійними лихами, нещасними випадками тощо і наданням додаткової допомоги громадянам у випадку настання визначених подій, пов'язаних з їх життям і здоров'ям	Л. А. Мотылев. Государственное страхование в СССР и проблемы его развития. – М.: Финансы, 1972. – 264 с.	Страховання – фінансово-економічні відносини з перерозподілу національного доходу

Таблиця 1 (продовження)

1	2	3
Страховання – це економічні відносини, які виникають у зв'язку з формуванням (за рахунок володарів майна) і використанням страхового фонду, що створюються спеціальною організацією (страховиком) для відшкодування учасникам страхового фонду (страхувальникам) збитків від стихійних лих і інших непередбачених подій	М. К. Шерменев. Финансовые резервы в расширенном воспроизводстве. – М.: Финансы, 1973. – 207 с.	Страховання – економічні відносини з приводу формування і використання страхового фонду
Страховання – мультирегулятор розвитку економіки країни, на який впливають несприятливі події – стихійні лиха і нещасні випадки	А. И. Банасинский. Теория страхования при социализме. Экономико-кибернетический аспект / Пер. с пол. – М.: Финансы, 1980. – 114 с.	Страховання – мультирегулятор розвитку економіки країни
Страховання – це заснована на добровільних чи обов'язкових принципах форма колективного створення особами або їх групами фінансових ресурсів для покриття майбутніх потреб, що виникають в результаті випадкових подій	В. А. Бадер. Социалистический продукт как экономическая категория : автореф. дис. ... канд. экон. Наук. – Ростов-на-Дону, 1972. – 40 с.	Страховання – форма колективного створення фінансових ресурсів
Страховання є особливим методом формування грошової частини страхового фонду і показує сферу його застосування	Экономическая эффективность государственного страхования / под ред. А. П. Плешкова. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 220 с.	Страховання – метод формування страхового фонду
Страховання – система економічних відносин, яка включає в себе утворення за рахунок підприємств, організацій та населення спеціального фонду коштів та його використання для відшкодування збитків у майні від стихійних лих та інших несприятливих випадкових явищ, а також для надання громадянам або їх сім'ям допомоги при настанні різноманітних подій в їх житті	Словарь страховых терминов / под. ред. Е. В. Коломина. – М.: Финансы и статистика, 1991. – 336с.	Створення визначеного страхового фонду
Страховання – відносини з захисту майнових інтересів фізичних інтересів фізичних і юридичних осіб при настанні визначених подій (страхових випадків) за рахунок грошових фондів, які створюються з страхових внесків (страхових премій), що сплачуються	Федеральный закон РФ «О страховании», ст. 2 от 7.11.1992 г. № 4015-1	Страховання – відносини із захисту інтересів
Страховання – сукупність особливих замкнених перерозподільних відносин між його учасниками з приводу формування за рахунок грошових внесків цільового страхового фонду, що призначений для відшкодування можливих надзвичайних та інших збитків підприємств та організацій або для надання грошової допомоги громадянам	Страховое дело : учебник / под ред. Л. И. Рейтмана. – М.: Рост, 1992. – 530 с.	Страховання – сукупність перерозподільних відносин щодо формування страхового фонду

Таблиця 1 (закінчення)

1	2	3
Страховання – особливий вид господарської діяльності на основі солідарності та поворотності, який має своєю метою покриття майбутніх потреб, випадкової статистично-вимірjuвальної події	К. Г. Вобльй. Основы экономики страхования. – М.: Изд-во «Анкил», 1993. – 226 с.	Страховання – вид підприємництва, бізнесу
Страховання – вид підприємницької діяльності, який обумовлений протиріччями, що існують як між людиною та природою в цілому, так і людьми зокрема, який ґрунтується на акумулюванні фінансових та матеріальних ресурсів юридичних та фізичних осіб з метою відшкодування їм збитків, завданих стихійними лихами, нещасними випадками, ризиком загибелі, некомпетентною діяльністю працівників підприємств, державних структур та підприємств	Н. Н. Внукова. Практика страхового бизнеса. – К.: Либра, 1994. – 81 с.	Страховання – вид підприємницької діяльності
Страховання – надто специфічний продукт фінансово-кредитної системи, який може нормально розвиватися і давати великі прибутки державі лише за умов економічної і законодавчої стабільності	Л. Ф. Ларіонова. Страховий ринок в Україні. Яким йому бути? // Фінанси України. – 1996. – № 8.	Страховання – продукт фінансово-кредитної системи
Страховання – різновид цивільно-правових відносин щодо захисту майнових інтересів громадян та юридичних осіб у разі настання певних подій (страхових випадків), визначених договором або страховим законодавством за рахунок фондів, що формуються шляхом сплати громадянами та юридичними особами страхових платежів, страхових внесків, страхових премій	Закон України «Про страхування» // Голос України. – 1996. – № 68 (1318).	Страховання – різновид цивільно-правових відносин щодо захисту майнових інтересів
Страховання – це засіб відшкодування збитків, отриманих однією особою за рахунок їх розподілу між багатьма особами	С. Л. Ефимов. Деловая практика страхового агента и брокера. – М.: Страховой полис. ЮНИТИ, 1996. – 416 с.	Страховання – це засіб відшкодування збитків

Висновки

Аналіз літературних джерел щодо сутності страхування дозволяє зробити висновок, що економічна зумовленість страхового захисту пояснюється необхідністю створення такого різновиду людської діяльності, який ґрунтується на акумуляції фінансових ресурсів з метою відшкодування збитків, спричинених настанням шкідливих для здоров'я та (або) матеріального благополуччя подій, як фізичним, так і юридичним особам, що створює сприятливі умови для безперебійного процесу суспільного відтворення.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Плиса, В. Й. Страхування [Текст] : навч. посібник / В. Й. Плиса. – К.: Каравела, 2005. – 392 с.
- Ефимов, С. Л. Организация управления страховой компанией: теория, практика, зарубежный

- опыт [Текст] / С. Л. Ефимов. – М.: Рос. юридич. издат. дом, 2004. – 147 с.
- Про страхування [Текст] : Закон України від 07.03.1996 р. № 86/96-ВР / Законодавство України про страхування. – К., 1999. – С. 18-39.
- Столяров, И. А. Антология экономической классики [Текст] / И. А. Столяров. – М.: МП «ЭКО-НОВ», 1991. – 473 с.
- Вобльй, К. Г. Основы экономики страхования [Текст] / К. Г. Вобльй. – Т.: Економічна думка, 2001. – 239 с.
- Осадець, С. С. Напрямки корегування фінансової політики держави у галузі страхування [Текст] / С. С. Осадець // Наук. вісник БДФЕІ. – 2001. – Вип. 2. – С. 44-52.
- Александров, А. А. Страхование [Текст] / А. А. Александров. – М.: Приор, 2006. – 186 с.

Надійшла до редколегії 15.03.2011.

Прийнята до друку 21.03.2011.

Наукове видання

В І С Н И К

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Випуск 38

(українською, російською та англійською мовами)

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

Відповідальний за випуск *І. П. Корженевич*
Комп'ютерне верстання *В. В. Кузьменко*

Статті в збірнику друкуються в авторській редакції

Формат 60 × 84 ¹/₈. Ум.друк.арк. 35,46. Тираж 100 пр. Зам. № 1307.

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

Адреса редакції, видавця та ділянки оперативної поліграфії:

вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ-10, 49010, Україна

Тел.: +38 (0562) 33-58-96, факс: +38 (0562) 33-58-97

<http://www.diitrvv.dp.ua>

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003.